



Alüminyum ve çelik malzemelerin TIG kaynak ve sert lehimleme yöntemleriyle kaynak edilebilirliğinin incelenmesi

Investigations of weldability with TIG welding and brazing of aluminium and steel

Aydın Kan¹ , İbrahim Çayiroğlu^{2,*} 

¹ Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 78050, Karabük, Türkiye

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye

Öz

Farklı iki metalin kaynaklı birleştirilmesi oldukça zor bir işlemdir. Bununla beraber günümüz endüstrisinde parça ve yapı ağırlığını azaltabilmek için farklı metallerin aynı yapıda kullanılması ve dolayısıyla birleştirilmesi çok önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada, (6061-T6) alüminyum alaşımı ile (St-37) düşük karbonlu çelik TIG ve sert lehim kaynak yöntemleriyle birleştirilmiş, mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Kaynak uygulamaları 2 mm, 5 mm ve 10 mm kalınlıklara sahip numuneler ile gerçekleştirilmiştir. Elde ettiğimiz numunelerin kaynak bölgelerinin karakteristik özelliklerini tespit etmek ve dayanımlarını incelemek amacıyla sertlik testi ve çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca SEM görüntü analizi ile de mikroyapıda meydana gelen değişiklikler gözlemlenmiştir. Alınan sonuçlara göre 2 mm ve 5 mm sacların birleştirilmesi sert lehimleme, 10 mm ve daha kalın malzemelerin birleştirilmesi TIG kaynak ile yapılması uygun bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Çelik, TIG kaynağı, Sert lehimleme, Mekanik özellikler

1 Giriş

Gelişen teknoloji ile günümüz endüstrisinde kullanılmakta olan malzeme çeşitliliğinde artış görülmektedir. Malzeme ve üretim yöntemlerindeki bu artış, farklı özelliklere sahip olan malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Belirli şartlar altında bu malzemeler farklı kaynak yöntemleri kullanılarak kaynatılabilmekte ve yeni ürünler elde edilebilmektedir [1].

Bu deneysel çalışmada, alüminyum ve çelik malzemelerin birleştirilmesi işleminde TIG (Tungsten Inert Gas) ve sert lehimleme yöntemleri kullanılmıştır. TIG kaynak yöntemi, kaliteli bir kaynak metali elde etmek için uygulanan ark kaynağı çeşididir [2-4]. Diğer kaynak yöntemlerine kıyasla TIG ile oluşturulan kaynaklarda daha üstün özellikte dikişler elde edilmektedir. Bu kaynak çeşidinde tükenmeyen tungsten elektrot ile kaynak metali arasında elektrik arkı oluşmaktadır. Isı enerjisi bu elektrik arkından sağlanmaktadır. Bu kaynakta ark soy gazlar tarafından korunmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon (Ar), helyum (He) veya bunların karışımları kullanılmaktadır. Bu

Abstract

Welding of two dissimilar metals is a very difficult process. However, in today's industry, it has become very important to use different metals in the same structure and therefore combine them in order to reduce the weight of parts and structures. In this study, (6061-T6) aluminum alloy and (St-37) low carbon steel were joined by TIG and brazing welding methods, and their mechanical and microstructural properties were examined. Welding applications were carried out with samples with thicknesses of 2 mm, 5 mm and 10 mm. Hardness tests and tensile tests were applied to determine the characteristics of the weld areas of the samples we obtained and to examine their strength. In addition, changes in the microstructure were observed by SEM image analysis. According to the results, it was found appropriate to join 2 mm and 5 mm sheets by brazing, and to join 10 mm and thicker materials by TIG welding.

Keywords: Aluminum, Steel, TIG welding, Brazing joining, Mechanical properties

yöntem düşük yığıma hızı nedeniyle ince ve hassas parçaların kaynağı ve tamirinde kaynak yapan kişiye büyük kolaylıklar sağlamaktadır [5,6]. TIG kaynak yöntemi çok geniş bir kullanım ve uygulama alanına sahiptir. Kaynatılabilirliği zor olan paslanmaz çelikler, bakır (Cu) ve alaşımları, Al ve alaşımları, magnezyum ve diğer birçok demir dışı metallerin birleştirilmesi işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır [7-10].

TIG kaynağından sonra çalışmada kullanılan bir diğer yöntem ise sert lehimlemedir. Sert lehim ile birleştirme yöntemi iki metalin bir üçüncü dolgu metalle birbirlerine birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Birleştirilecek olan ana malzemelerin arasında küçük bir açıklık bulunmaktadır. Bu açıklık ilave dolgu metali adı verilen lehim alaşımının ergimesi ve kapiler etkiyle ana iki malzemenin arasında bulunan küçük boşlukları doldurması esasına dayanmaktadır [11-13].

Durmuş vd. [14], AA6061 Al ve galvanizli çelik sacları soğuk metal transfer kaynağıyla birleştirmiş ve mikroyapı incelemeleri sonucu Al-Çelik kaynaklı parçalarında

intermetalik ara tabakanın Al metaline doğru yönelim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu durumun difüzyon mekanizmaları ile yani Al ve Fe'in difüzyon katsayıları ile açıklanabileceğini savunmuşlardır. Hussein vd. [15], sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilen Al ve çeliğin karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Kaynak sırasında kullanılan sıcaklık ve sürenin intermetalik ara tabaka oluşumuna etki eden iki ana faktör olduğunu belirtmişlerdir. Taban vd. [16], Al ve çelik malzemeleri sürtünme kaynağıyla birleştirmişler ve mikroyapı karakteristikleri hakkında çalışma yapmışlardır. Mikroskopi sonuçlarına göre bağlantının Al tarafına doğru yönelen ince, kesintili bir ara tabaka oluştuğu sonucuna varmışlardır. Zhang vd. [17], Al ve paslanmaz çeliğin TIG-MIG çift kenarlı kaynaklama-lehimleme çalışmasını yapmışlar; bağlantıların her iki tarafında düşük ve düzgün ısı girişi sağlandığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla ara kaynak tabakasının sınır boyunca hemen hemen eşit kalınlıkta bir çizgi halinde ve aynı desene sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Kotari vd. [18], Mg alaşım ve paslanmaz çelik metallerine TIG kaynak-lehimleme yöntemi uygulamışlardır. Birleştirme işleminin ardından yapılan sertlik testleri neticesinde sertliğin paslanmaz çelik metaline doğru hızla yükseldiği ve en yüksek sertlik değerinin paslanmaz çelik tarafında intermetalik arayüz formunda olduğu gözlemlenmiştir.

Durgutlu vd. [8], tarafından düşük C'lu çelik ile Cu levhalar örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilerek oluşan yeni yapının mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. Cu ve Al yumuşak karakterli metaller olduğu için TIG kaynak yönteminde kaynak dikiş bölgesinde sertliğin çelik malzemeden düşük, Cu'dan ise daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Meriç vd. [19], birbirinden farklı malzemeleri sürtünme kaynağı ile birleştirmiş ve kaynak bölgesi özelliklerini incelemişlerdir. (AISI-304) paslanmaz çelik ve (ETIAL-F1) Al malzemelerin kaynağında Al tarafından kaynak bölgesine doğru sertliğin arttığını belirtmişlerdir. Al malzemede paslanmaz çeliğe oranla plastik deformasyonunun daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Yine aynı çalışmada (SAE-1040) çelik ile (ETIAL-F1) Al'u birleştirmişler ve AISI-304 paslanmaz çelik ile benzer sonuçlar bulmuşlardır. Ayrıca her iki malzemede ısı etkisinde kalan bölgede sertleşmeye rastlamışlardır.

Xue vd. [20], 6061 alüminyum alaşımı ve 304 paslanmaz çeliği lazer - MIG hibrit kaynak yöntemi ile birleştirilerek mikroyapısı ve özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın kaynak bölgesinde Fe-Al intermetalik tabaka oluşmasıyla kaynak dikişindeki sertliğin çelik tarafına göre daha düşük, alüminyum metalinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Al Zamzami vd. [21] tarafından, alüminyum ve çeliğin sert lehim-kaynaklı bağlantısının statik dayanım ve tasarımının yapıldığı bir çalışmada, statik kopmanın alüminyum ana metalinin ısıdan etkilenen bölgesinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kotari vd. [18] tarafından, Mg alaşım ve paslanmaz çelik metallerine TIG kaynak-lehimleme yöntemi uygulanmış, çekme deneyi sonucunda kopmanın, zayıf metal olan Mg'un ısıdan etkilenen

bölgesinde ve paslanmaz çeliğin kaynak dikişi ara tabakası boyunca meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Sun vd. [22], 16 Mn yüksek sertlikte çelik ve 6063-T6 serisi Al'u direnç nokta kaynağı ile farklı elektrotlar ve kaynak parametreleri kullanarak birleştirmiş, uygun elektrod seçiminin daha verimli sonuçlar verdiği, kaynağın akım değeri ve kaynak zamanının da bağlantı noktası üzerinde oluşan gerilmeyi etkilediğini belirtmişlerdir. Taban vd. 2010, yapmış oldukları çalışmada; benzer olmayan 6061-T6 serisi Al ve AISI-1018 standartlarındaki çeliğin sürtünme kaynağı ile birleştirmişler ve plastik deformasyonun bağlantının Al tarafında oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Zhang vd. [17], paslanmaz çelik ve Al'un TIG-MIG ile çift kenarlı kaynatma çalışmasını gerçekleştirmişler ve çekme testi sonunda kırılarak kopmanın malzemenin Al tarafında olduğu sonucuna varmışlardır.

Teknolojinin gelişmesi ile tüm mekanik yapılarda sağlamlıkla beraber hafiflik arayışına da gidilmiş ve nasıl geliştirilebilir sorusu üzerine yeni teknikler ve değişik çözümler bulabilmek için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, şase ve konstrüksiyon gibi yapısal tasarımlar için kullanılacak bir yöntemi bulmak esas alınmıştır. Hafiflik özelliği bakımından alüminyum (Al) ve dayanıklılık özelliği bakımından çelik malzeme tercih edilmiştir. TIG ve sert lehimleme gibi iki farklı kaynak yöntemi uygulanmıştır. Böylece hangi kaynak yönteminin daha iyi sonuç verdiği araştırılmıştır. Kaynatılan metal çiftler, mekanik özellik ve kaynak dikişi kalitesini belirlemek amacıyla sertlik ve çekme testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar SEM görüntüleme ve elementel analiz ile incelenmiştir.

2 Materyal ve metot

Yapılan çalışmada, 1.0037 (St-37) kalite yapı çeliği kullanılmıştır. Al numuneler için kaynak edilebilirliği yüksek ve hedeflenen kullanım alanına uygun 6061-T6 serisi malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin ebatları her iki metal için 2x60x100 mm, 5x60x100 mm, 10x60x100 mm ebatlarında olmak üzere 2, 5 ve 10 mm kalınlıklarında temin edilmiştir. Kaynak metallerin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kaynakla birleştirilecek malzemelerin kimyasal bileşimleri (% Ağırlık)

Kimyasal Bileşim	Çelik (St-37)	Alüminyum (6061-T6)
Al	0.017	Kalan
C	0.217	-
Cr	0.064	0.1
Cu	0.001	0.6-1.1
Fe	Kalan	0.5
Mg	0.0001	0.8-1.2
Mn	0.426	0.2-0.8
Mo	0.001	-
Ni	0.001	-
P	0.026	-
S	0.022	-
Si	0.001	0.6-1.0
T	-	0.1
V	0.001	-
W	0.003	-
Zn	-	0.25
Diğer	-	0.15

TIG kaynak ve sert lehimleme usullerine göre birleştirilen numuneler frezede istenilen boyutlara getirilmiştir. Tahribatlı ve tahribatsız testlere tabi tutulmuştur. Alınan sonuçlar incelenip analiz edilerek en yüksek mekaniksel özelliklerin hangi kaynak türünde ve hangi kalınlıklarda olduğu tespit edilmiştir.

TIG kaynağı için her biri 3/32" x 16" (2.4 mm x 405 mm) çap ve boy ölçülerine sahip Alumasteel #1 ve Alumasteel #2 ilave metalleri kullanılmıştır. Öncelikle #1 numaralı elektrod ile sadece çelik parçanın kaynak ağzı açılan bölgesi DC akımda, 160 Amper akım şiddetinde, koruyucu Argon gazı kullanılarak kaynatılmıştır. Ardından çelik ve Al parça ağız ağıza getirilerek #2 nolu elektrod ile kaynak uygulaması yapılmıştır. Kaynak işlemi "Miller-Dynasty 350" marka TIG kaynak makinesiyle gerçekleştirilmiştir.

Sert lehimleme yönteminde EN-ISO-18273 standartlarında Si-Al-4047 Al kaynak teli kullanılmıştır. Kullanılan kaynak telinin kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Malzemelerin birleştirilmesi oksiasetilen kaynak usullerine göre sağlanmıştır. Uygulama sırasında çelik malzeme, Al ile etkileşebilir bir forma dönüştürülmüştür. Çelik malzeme yüzeyi asit ile temizlenmiş ve daha sonra şaloma yardımıyla saf çubuk Kalay (Sn) eritilerek nüfuz etmesi sağlanmıştır. "OK-Tigrod-4047" marka Al kaynak teli ile "Al-Flux-726" marka dekapan yardımıyla ağız ağıza getirilen Al ve çelik malzeme kaynatılmıştır. Dekapan kullanarak, kaynak sırasında Al parça üzerinde oksit tabaka oluşmasının önüne geçilmiştir.

Tablo 2. "Si-Al-4047" Al kaynak telinin kimyasal ve mekanik özellikleri

Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi (%)				
Si	Mn	Cu	Zn	Fe
12	0.15	0.30	0.20	0.8
Kaynak Telinin Mekanik Özellikleri				
Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)		
55	124	min. 12		

Farklı kalınlıklarda temin edilen, TIG ve sert lehimleme yöntemleriyle birleştirilmiş deney numuneleri mikroyapı fotoğraflarının çekimi ve elementel kompozisyonunu belirlemek için "Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem" marka 50x-2000x büyütme özelliğine sahip SEM (taramalı elektron mikroskobu) kullanılmıştır.

Metalografik inceleme için hazırlanmış olduğumuz numunelere, QNESS+Q10 A marka sertlik ölçme cihazı yardımıyla ASTM E92 (Metalik Materyaller için Vickers Sertlik Ölçme Standardı) standartlarına göre Vickers (HV 0.5) sertlik testi uygulanmıştır. Test esnasında kare tabanlı elmas uç kullanılarak 500 gr deney yükü uygulaması ile esas metallerin yüzeyleri ve kaynak bölgesi baz alınarak oda sıcaklığında veriler toplanmıştır. Numune yüzeyinde oluşan izler optik olarak ölçülerek sertlik değerlerine ulaşılmıştır.

Numuneler, çekme testinin yapılabilmesi için takım tezgâhlarında işlenerek kaynak dikişi tam ortada kalacak şekilde uygun ölçülere getirilmiştir. Düz lama haline getirilen t=2 mm, t=5 mm ve t=10 mm kalınlıklara sahip numuneler "MTS Landmark" marka servo hidrolik dinamik

test cihazı ile 0.067 mm/sn hızla oda sıcaklığında çekme deneyine tabi tutulmuştur.

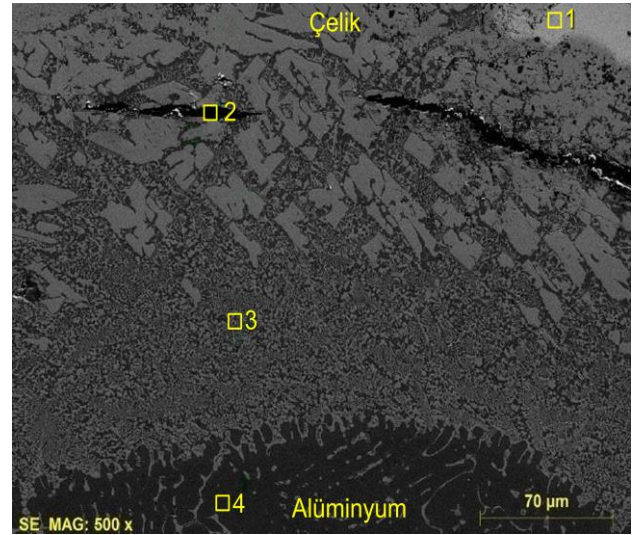
3 Bulgular ve tartışma

Yapılan bu çalışma ile alüminyum ve düşük karbonlu çelik malzemeler, piyasada yaygın olarak uygulanan TIG ve sert lehimleme yöntemleri kullanılarak kaynatılmış ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

3.1 TIG kaynağı uygulamasının sonuçları

2 mm kalınlığa sahip metal çiftleri TIG kaynağıyla birleştirilmiş fakat kaynak bölgesi temizlenirken kırılma meydana gelmiştir. Bu nedenle TIG kaynak yapılan 2 mm numuneler araştırmadan çıkarılmıştır.

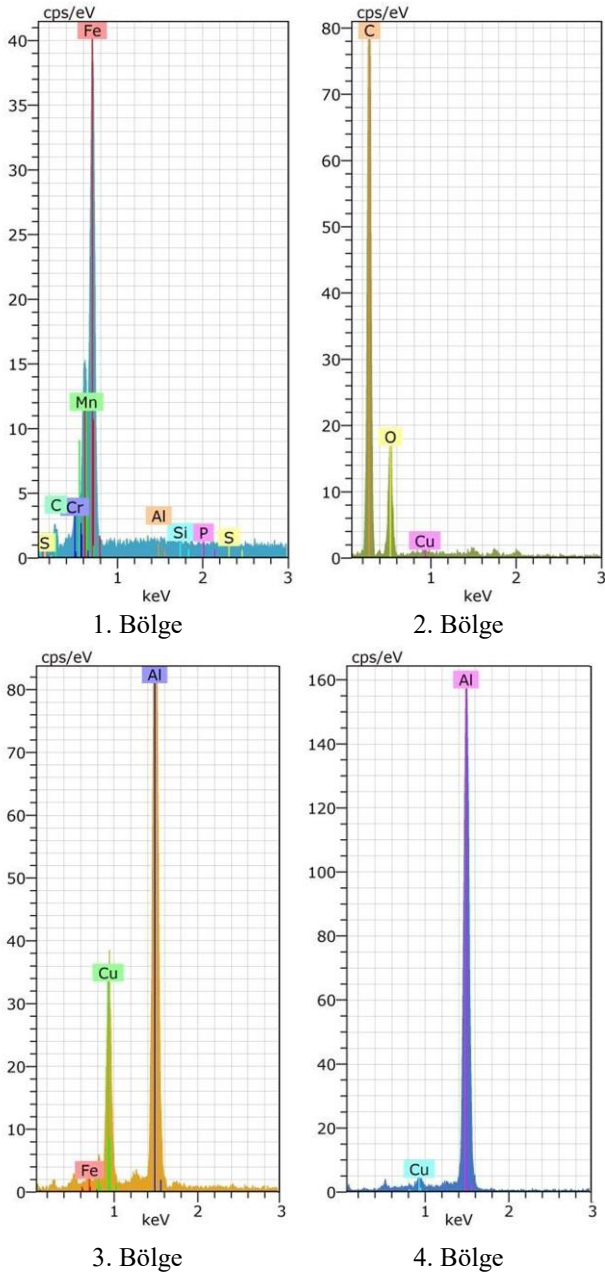
5 mm kalınlığa sahip deney numunelerinin TIG kaynağıyla birleştirme işleminde başarı sağlanmıştır. Görüntü verilerinin analizi için 500 kez yakınlaştırma yeterli görülmüş ve numaralandırmalar yapılarak kaynak bölgeleri detaylandırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. TIG kaynağıyla birleştirilmiş 5 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x)

1 numara; deney malzemesinin çelik tarafını ifade etmektedir. Ana metal ile kaynak metali homojen bir yapı oluşturarak nüfuziyet sağlamıştır. 2 numara; kaynak bölgesinin çelik tarafını belirtmektedir. Yoğunluklu olarak kaynak metali içeren bu bölgede homojen yapı korunmuş ve kaynak bölgesi ile çelik geçiş bölgesi arasında kısmen çatlak oluşturma eğilimi gözlenmiştir. 3 numara; kaynağın Al tarafında geçiş bölgesini ifade etmektedir. Kaynak malzemesi Al ana metale doğru yönelim göstermiş ve homojen birleşim burada da korunmuştur. Bu bölgede çatlak oluşumu gibi kaynak sorunlarına rastlanılmamıştır. 4 numara Al tarafını göstermektedir. Bu bölgede az da olsa kaynak metaline rastlanmaktadır.

Şekil 1'de kare ile gösterilen noktalar elementel analiz için incelenen noktaları göstermektedir. Şekil 2'de verilen elementel analiz grafikleri, malzemelerin atomik karakteristikleri bu noktaların temsil ettiği bölgeleri doğrulamaktadır.



Şekil 2. İncelenen bölgelerin elementel analiz sonuçları

1 numaralı bölge, farklı elementlerden oluşan bir kimyasal kompozisyona sahiptir. Bu durum çelik metalinin tek elementli bir yapıya sahip olmamasıyla ifade edilebilir.

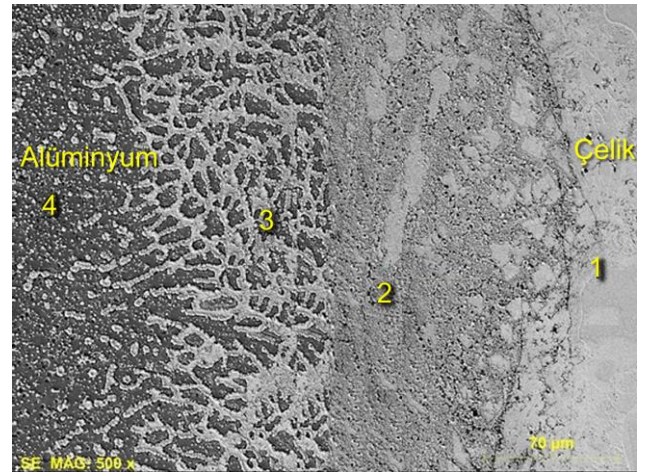
2 numaralı bölge, kaynak sırasında oluşan çatlak ifade etmektedir. Bu sebeple kaynak metallerine ait herhangi bir elemente rastlanmamıştır. Bunun yerine serbest halde karbon (C) ve oksijen (O) atomları tespit edilmiştir. Serbest halde C atomlarına rastlanması, çeliğin yapısal elementlerinden olması sebebiyle çatlamanın çelik tarafında oluştuğu sonucunu vermektedir.

3 numaralı bölge, kaynağın Al tarafında geçiş bölgesini ifade etmektedir. Belirgin miktarda bakır (Cu) elementi bulunması kaynak metalinin elementel kompozisyonu sebebiyledir.

4 numaralı bölge, kaynatma işlemi sonunda analiz için Al tarafında bulunan elementleri ve değerlerini ifade etmektedir. Bu bölgede yüksek miktarda Al bulunması yapmış olduğumuz elementel analizi desteklemektedir.

Bu analizler bize birleştirme işleminin hangi bölgelerinde hangi element atomlarının mevcut olduğunu, yoğunluklarını ve kaynağın hangi metale doğru yönelim gösterdiği hakkında bilgi vermektedir. Buna göre; kaynak eriyiğinin Al metaline doğru yönelim gösterdiği ve çelik metalinin sınırlı miktarda yönelime sahip olduğu, ancak nüfuziyeti kaynak metaliyle sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır.

10 mm kalınlığa sahip deney numuneleri başarıyla birleştirilmiştir. Benzer durumlar burada da geçerlidir. Çelik bölgesi ile geçiş bölgesi arasında kısmen daha az düzeyde çatlaklar gözlemlenmiştir. TIG kaynağında parça kalınlığı artıkça sonuçlar daha iyi gerçekleşmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. TIG kaynağıyla birleştirilmiş 10 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x)

3.2 Sert lehim uygulamasının sonuçları

Sert lehim uygulanırken çelik malzeme yüzeyine kalay (Sn) kaplama yapılmış, sonrasında her iki metal alüminyum kaynak teli ile birleştirilmiştir. Bu işleme ait mikroyapı görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir.

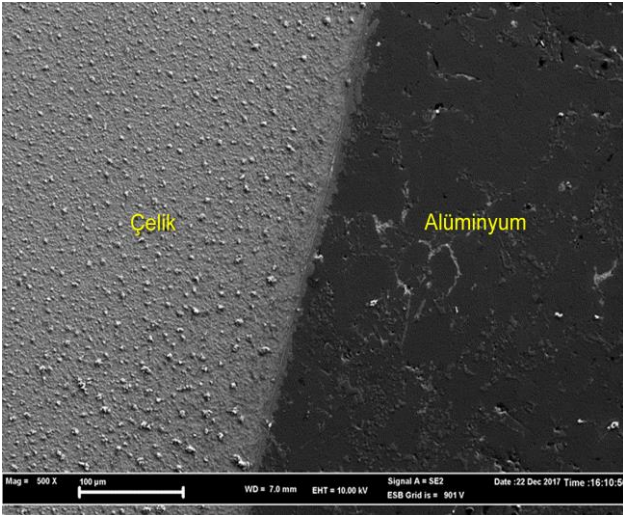
Uygulanan bu kaynak yönteminde 2 mm kalınlıktaki numunelerin kaynaklı birleşiminin mikroyapı görseli yan yüzeyden görüntü alınarak verilmiştir. İlave metal Al tarafına doğru yönelim göstermiştir. İki metal arasındaki ara tabaka belirgin ve düzgün bir çizgi halinde oluşum sergilemiştir.

Sert lehim uygulamasına ait 5 mm kalınlıktaki numunenin mikro yapısı incelendiğinde; ara tabakanın Al tarafına doğru kısıtlı da olsa yönelim gösterdiği ve çelik metalinin devamı gibi bir davranış sergilediği belirtilebilir. Ayrıca Al metal yüzeyinde de küçük çatlaklar ve çukurcuklar oluşmuştur (Şekil 5).

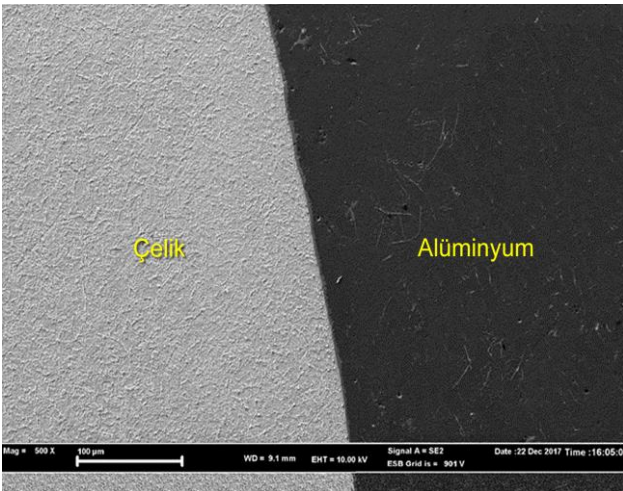
Mikro yapı görüntülemesi yapılan 10 mm kalınlığa sahip numune için de benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Kaynak ara tabakası, çelik devamı gibi davranarak Al yönüne doğru eğilim göstermiştir. Sert lehimde geçiş bölgesinde oluşan belirgin ve düzgün hat bu numunede de oluşmaktadır. Ayrıca birleştirme işlemi yapılan malzemelerin kalınlığı arttıkça ara tabaka kalınlığının azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 4. Sert lehim uygulaması yapılan 2 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x)



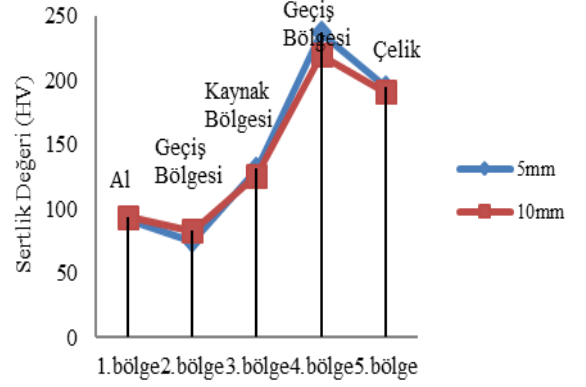
Şekil 5. Sert lehim uygulaması yapılan 5 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x)



Şekil 6. Sert lehim uygulaması yapılan 10 mm kalınlıktaki numunenin SEM görüntüsü (500x)

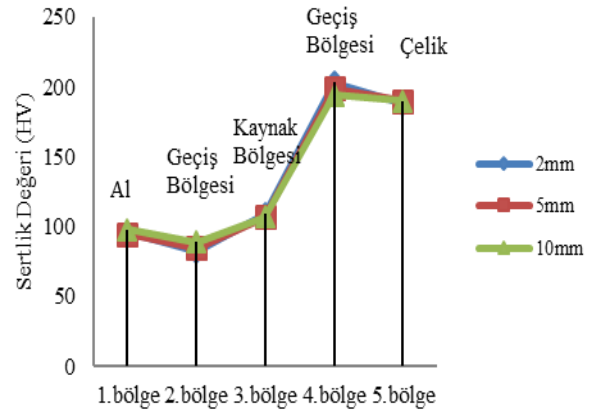
3.3 Sertlik testi sonuçları

Numuneler takım tezgâhlarında işlenip sertlik testi standartlarına uygun boyutlandırılarak testlere hazır hale getirilmiştir. Sertlik değerleri; Al ana metali, Al tarafında ısıdan etkilenen bölge (ITAB), kaynak dikişi, çelik tarafında ısıdan etkilenen bölge (ITAB) ve çelik ana metali olmak üzere beş noktadan alınmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin (5 mm, 10 mm) sertlik değerlerinin karşılaştırılması (TIG kaynak)

Kaynak öncesi ve sonrası ölçülen değerler karşılaştırıldığında, sert lehimleme için kalınlığa bağlı yüksek bir değişim görülmemektedir. TIG kaynak değerlerinde ise ısıdan etkilenen bölgedeki kalınlığa bağlı değişim daha yüksektir. Her iki kaynak yönteminde de Al tarafında ITAB bölgesinde sertlik değerlerinin düştüğü, çelik tarafında ITAB bölgesinde yükseldiği görülmektedir. Buna ek olarak ana metal sertliklerinde belirgin bir değişim bulunmamaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin (2 mm, 5 mm ve 10 mm) sertlik değerlerinin karşılaştırılması (Sert lehimleme)

Her iki kaynaklı birleştirme yöntemi için kaynak dikişi sertliğinin Al'dan yüksek, çelikten düşük olduğu belirlenmiştir. ITAB bölgesindeki sertlik değişimleri TIG kaynakta ve ince numunelerde en yüksek değerdedir.

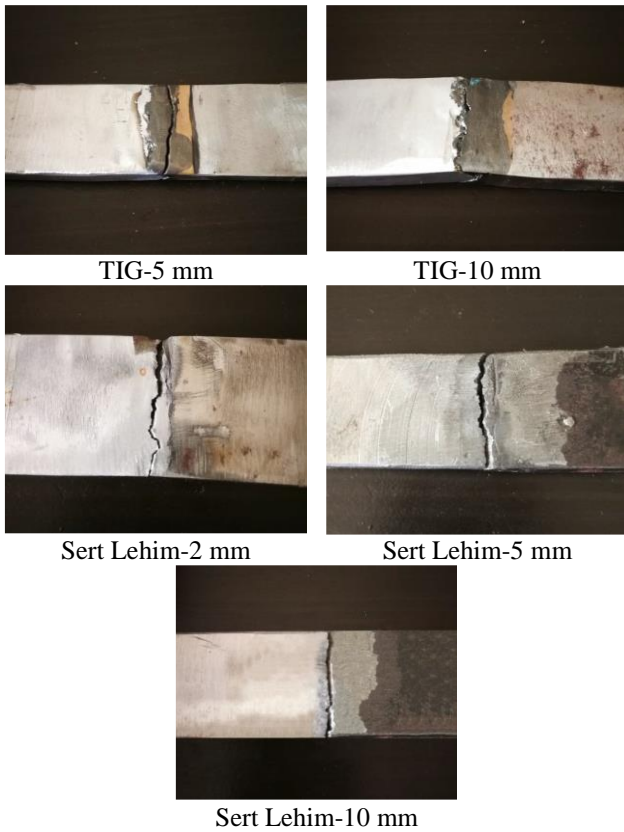
3.4 Çekme testi sonuçları

Deney malzemelerinin TIG ve sert lehim yöntemi ile farklı kalınlıktaki numunelerin çekme testi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çekme testi sonuçları

Numune Malzemesi ve Ölçüleri	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Çelik (St-37) (ISO 6892)	242	365	23
Alüminyum (6061-T6) (ISO 6892)	236	310	12
TIG Kaynağı (5 mm x 25 mm)	117	160.2	2.4
TIG Kaynağı (10 mm x 25 mm)	161.2	260.7	5.4
Sert Lehim (2 mm x 25 mm)	173.3	251	5.7
Sert Lehim (5 mm x 25 mm)	156.4	229.6	5.3
Sert Lehim (10 mm x 25 mm)	148	218.5	5.4

Yapılan çekme testleri sonucunda TIG-5mm numunesinde kaynak bölgesinden kopma meydana gelirken, diğer numunelerde kopma kaynak bölgesinin Al tarafında olmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Çekme testi sonunda kırılan deney numuneleri

Özellikle TIG kaynakta malzemenin inceliğine bağlı olarak yüksek ısı kaynak bölgesinde gerilmelere neden olmuş ve ayrılma bu bölgede gerçekleşmiştir. Zaten TIG-2 mm de numune teste hazırlanırken kopma gerçekleşmiş ve test edilememiştir. Diğer numuneler için kaynak sırasındaki ısı girdisi nedeniyle Al tarafında yeniden kristalleşme oluşması yumuşamaya sebebiyet vermiş ve dayanımı düşürmesinden ötürü kopma Al tarafında olduğu görülmüştür. Sert lehim yönteminde kalınlık arttıkça dayanım azalırken, TIG kaynak yönteminde çekme dayanımı kalınlıkla doğru orantılı bir şekilde artış göstermiştir.

4 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, alüminyum (6061-T6) ve çelik (St-37) malzemelerinin farklı kalınlıklarda (2 mm, 5 mm ve 10 mm) TIG kaynak ve sert lehimleme yöntemleriyle birleştirilip mekanik karakteristiklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Mekanik özelliklerini belirleyebilmek için sertlik testi ve çekme testi gerçekleştirilmiş ayrıca kaynak bölgesinden SEM ile elde edilen mikro yapı görüntülerinin detaylı olarak analizi yapılmıştır.

Mikro ve makro yapı incelemeleri sonucunda TIG kaynak ile yapılan birleştirme işleminde malzeme kalınlığı azaldıkça kaynak bölgesinde çatlama ve kırılma meydana geldiği, kalınlık artışıyla da etkisini yitirdiği tespit edilmiştir. TIG kaynağına göre daha düşük ısı girdisi sağlayan sert lehimleme için herhangi bir yapısal deformasyon söz konusu olmadığı ortaya konulmuştur.

Sertlik testlerine göre her iki kaynak yönteminde de en yüksek sertlik değerleri tüm numuneler için çelik tarafında ITAB'dan, en düşük değerler de alüminyum tarafında ITAB'dan ölçülmüştür.

Bu çalışmada sertliğin çelik metaline doğru hızla yükseldiği ve en yüksek sertlik değerinin çeliğin ısıdan etkilenen bölgesinde oluştuğu tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlarda da en sert bölge kaynağın çelik tarafıdır. Fakat ısı etkisine maruz kalan Al malzeme yumuşamıştır.

Elde edilen sonuçlara göre malzemenin çelik tarafındaki ITAB bölgesinde sertliğin en yüksek değerde olduğu, sertliğin en düşük olduğu yer ise Al tarafında ITAB bölgesi olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan kaynak yöntemlerinin her ikisinde de kaynak bölgesinin sertliği alüminyum kaynak metalinden daha yüksek, çelik ana metalinden daha düşük olduğu ortaya konulmuştur.

Çalışmada sert lehimleme için malzeme kalınlığına bağlı sertlik değerlerindeki değişimler göz ardı edilebilecek seviyededir ancak TIG kaynak yöntemi için yüksek ısı girdisi sebebiyle çelik ve Al metalin sertlik değerlerindeki artış ve azalış daha fazla miktarda olduğu savunulabilir. Tüm numunelerde kopma, kaynağın Al tarafında gerçekleşmiş fakat TIG-5mm ile ifade edilen numunede kaynak içi çatlak oluşumundan dolayı kopma burada meydana gelmiştir. TIG kaynak yönteminde kalınlık arttıkça çekme dayanımı artmış, sert lehim uygulamasında da kalınlık arttıkça çekme dayanımı azalmıştır.

Bir numune hariç (TIG-5mm) çekme testi neticesinde kopmanın Al tarafında olması literatür ile paralellik

göstermiş olup yapılan deneyin sağlıklı olduğunu göstermektedir.

Elde edilen verilere göre, Al ve çeliğin kaynatılması işleminde 2mm ve 5mm kalınlıklara sahip malzemelerin kaynatılması için sert lehimleme yöntemi, daha kalın malzemelerin kaynatılması için de TIG kaynak yöntemi kullanılmasının bu tür farklı metalleri birleştirmek adına daha verimli olacağı görüşü ortaya çıkmıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %9

Kaynaklar

- [1] L. Jeffus, *Welding: Principles and Applications*. Cengage Learning, Boston, USA, 2015.
- [2] S. C. Juang and Y.S. Tarng, Process Parameter Selection for Optimizing the Weld Pool Geometry in the Tungsten Inert Gas Welding of Stainless Steel. *J. Mater. Process. Techn.*, 122 (1), 33-37, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00021-3)
- [3] S. Kou, *Welding Metallurgy*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 2003.
- [4] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials Processes and Systems*. John Wiley & Sons Inc., 2010.
- [5] H. Y. Huang, Effects of Shielding Gas Composition and Activating Flux on GTAW Weldments. *Materials & Design*. 30 (7), 2404-2409, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.10.024>
- [6] P. Kumar, K. P. Kolhe, S. J. Morey and C. K. Datta, Process Parameters Optimization of an Aluminum Alloy with Pulsed Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Using Gas Mixtures. *Materials Sciences and Applications*, 2 (4), 251-257, 2011. <http://dx.doi.org/10.4236/msa.2011.24032>
- [7] G. K. Hicken, R. D. Campbell, G. J. Daumeyer, R. B. Madigan, S. J. Marburger and B. Young, Gas Tungsten Arc Welding. *AWS Welding Handbook*, pp 190-194, 1993.
- [8] A. Durgutlu, N. Kahraman ve B. Gülenç, Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20 (2), 183-189, 2005.
- [9] Y. Kaya, AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25 (3), 549-557, 2010.
- [10] A. D. Althouse, C. H. Turnquist, W. A. Bowditch and K. E. Bowditch, *Modern Welding*. Goodheart-Willcox Co Inc, 2013.
- [11] B. Gülenç, Difüzyon Sert Lehimleme ile Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Makina Tas. İmalat Dergisi*, 5 (1), 22-28, 2003.
- [12] Y. L. Shabtay, M. Ainali and A. Lea, New Brazing Processes Using Anneal-Resistant Copper and Brass Alloys. *Materials & Design*, 25 (1), 83-39, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(03\)00162-6](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(03)00162-6)
- [13] R. W. Messler, *Joining of Materials and Structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology*. Butterworth-Heinemann, Burlington, USA, 2004.
- [14] H. Durmuş, N. Çömez ve M. Yurddaşkal, Soğuk Metal Transfer Kaynağı ile Birleştirilmiş AA6061-Galvanizli Çelik Sacların Karakterizasyonu. *Dicle Üniv. Müh. Fak. Mühendislik Dergisi*, 8 (4), 835-844, 2017.
- [15] S. A. Hussein, A. S. Tahir and A. B. Hadzley, Characteristics of Aluminum-to-Steel Joint Made by Friction Stirwelding: A Review. *Materials Today Communication*, 5, 32-49, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2015.09.004>
- [16] E. Taban, J. E. Gould and J. C. Lippold, Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminum and AISI 1018 Steel: Properties and Microstructural Characterization. *Materials & Design* 31, 2305-2311, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.12.010>
- [17] Y. Zhang, J. Huang, Z. Cheng, Z. Ye, H. Chi, L. Peng and S. Chen, Study on MIG TIG Double-Sided Arc Welding-Brazing of Aluminum and Stainless Steel. *Materials Letters*, 172, 146-148, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.02.146>
- [18] S. Kotari, E. Punna, S. M. Gangadhar, M. Cheepu, P. Sarkar and S. Venukumar, Dissimilar Metals TIG Welding-Brazing of AZ31 Magnesium Alloy to 304 Stainless Steel. *Materials Today Proceedings*, 39 (6), 1549-1552, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.553>
- [19] C. Meriç, N. S. Köksal, M. T. Erdoğan ve A. Okur, Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş farklı malzemelerin kaynak bölgesinin incelenmesi. *Celal Bayar Üniv. Fen Bil. Der.*, 4 (2), 135-144, 2008.
- [20] J. Y. Xue, Y. X. Li, H. Chen and Z. T. Zhu, Wettability, Microstructure and Properties of 6061 Aluminum Alloy/304 Stainless Steel Butt Joint Achieved by Laser-Metal Inert-Gas Hybrid Welding-Brazing. *Trans. Nonferrous Met. Soc. of China*, 28 (10), 1938-1946, 2018. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64839-3](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64839-3)
- [21] I. Al Zamzami, V. Di Cocco, J. B. Davison, F. Iacoviello and L. Susmel, Static Strength and Design of Aluminium-to-Steel Thin Welded Joints. *Welding in the World*, 62 (6), 1255-1272, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40194-018-0634-2>
- [22] D. Sun, Y. Zhang, Y. Liu, X. Gu and H. Li, Microstructures and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Joints of 16Mn Steel and 6063-T6 Aluminum Alloy with Different Electrodes. *Materials & Design*, 109, 596-608, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.07.076>

