



**TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMİŞ 2024 ALUMİNYUM
ALAŞIMININ KAYNAK BÖLGESİNİN ÇÖKELME SERTLEŞMESİ
BAKIMINDAN İNCELENMESİ**

*(AN INVESTIGATION ON THE PRECIPITATION HARDENING
OF TIG WELDED 2024 ALUMINUM ALLOY)*

Enver ATİK*, Cevdet MERİÇ*, Atilla ŞAHAN**

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada levha şeklinde üretilmiş olan 2024 alüminyum işlem alaşımı 60⁰'lik V kaynak ağızı açılarak TIG kaynak yöntemi ile argon gazı altında ER4043 elektrot kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklanmış örnekler 492±3 ⁰C'de çözeltiyeye alınmış ve oda sıcaklığında su verilmiştir, daha sonra bir kısmı doğal yaşlandırılırken bir kısmı da 125 ⁰C'de 22 saat ve 190 ⁰C'de 8.5 saat yapay yaşlandırılmıştır. Kaynaklı örnekler çekme ve çentik darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Kaynaklı bölgenin mikrosertliği ölçülüp içyapısı incelenmiştir.

In this study, 2024 aluminum wrought alloy manufactured in the form of plates has been welded with TIG welding method under protecting argon gas by using ER4043 electrode as filler metal. The welding geometry is with 60⁰ groove type. The specimens were solution heat-treated under 492±3 ⁰C and quenched in water at room temperature. Then, they were aged naturally and artificially. Artificial aging was performed at 125 ⁰C for 22 hours and at 190 ⁰C for 8,5 hours. Natural aging was performed at room temperature for one week. All welding specimens were subjected to tension and Charpy tests. Microhardness and microstructure of the welded specimens were determined.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

TIG kaynağı, 2024 alüminyum işlem alaşımı, Çökeltme sertleşmesi, Mekanik özellikler, İçyapı
TIG welding, 2024 aluminum wrought alloy, Precipitation hardening, Mechanical properties, Microstructure

*Celal Bayar Üniversitesi, Müh. Fak., Makine Müh. Böl., MANİSA

**Celal Bayar Üniversitesi, FBE, Makine Müh. Anabilim Dalı, MANİSA

1. GİRİŞ

Duralümin olarak da bilinen 2024 alüminyum alaşımı bakırlı bir işlem alaşımı olup alüminyum alaşımları arasında en sert, elastisite modülü ve mukavemet değerleri en yüksek olanlarından biridir. Spesifik mukavemet (Akma gerilmesi/yoğunluk) ve/veya spesifik elastisite modülünün (Elastisite modülü/yoğunluk) önemli olduğu yerlerde, uçak gövde ve kanatlarında, ortopedik taban, perçin ve çekici tekerlekleri yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Meriç, 1989; Sanders vd., 1983). Çözeltiye alma ısıl işleminden sonra oda sıcaklığında doğal veya yapay olarak yaşlanır (Dündar vd., 1985; Karabulut vd., 1985; Yılmaz, 1985). İçinde Mg bulunması nedeni ile üretimi özel yöntemler ile mümkün olmasına rağmen diğer ısıl işleme tabi tutulabilen alüminyum alaşımlarına göre şekillendirilebilme yeteneği iyidir (Ertürk vd., 1982; Meriç vd., 1993). Bu alaşımın iyi olan fiziksel ve mekanik özelliklerine karşılık korozyona karşı olan dayanımı zayıftır. Talaşlı üretim kabiliyeti iyidir. Direnç kaynağı hariç kaynak edilebilme kabiliyeti ortadır.

Çökeltme sertleşmesi uygulanmış malzemelerde, içyapıya homojen dağılarak özellikleri belirleyen çok ince çökeltiler, kaynak sırasında ısı etkisiyle Isının Tesiri Altındaki Bölgede (ITAB) ki bazı bölgelerde çözünür ve soğuma sırasında kısmen tekrar çökeltirler (Anık vd., 1989; Jeffries vd., 1968). Ancak bu arada yeni çökeltilerin büyüklük biçim ve dağılımları değişir, başta tokluk olmak üzere mekanik özellik değerleri önemli oranda azalır (Eryürek vd., 1996). İri çökeltiler nedeniyle korozyon dayanımı çok düşer. Çökeltmelerin tane sınırlarında olması çoğunlukla çatlamaya neden olur (Starke, 1970). Dolayısıyla alaşım türüne ve uygulanan yöntemle bağlı olarak, kaynaktan sonra sertleştirme işleminin tümüyle tekrarlanması yoluna gidilebilir veya sadece yaşlandırma ile yetinilir. Bu malzemelerin kaynağı çözeltiye alma ısıl işleminden hemen sonra yani şekil değiştirme kabiliyetlerinin daha iyi olduğu durumlarda yapılabilir. Kaynağın yumuşak durumda yapılması çatlama tehlikesini azaltır (Güleç vd., 1985; Şahan, 2000).

Bu çalışmada levha şeklinde üretilmiş olan 2024 alüminyum işlem alaşımı 60⁰'lik V kaynak ağzı açılarak TIG kaynak yöntemi ile argon gazı altında ER4043 elektrot kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklanmış örnekler 492±3⁰C'de çözeltiye alınmış ve oda sıcaklığında su verilmiştir daha sonra bir kısmı doğal yaşlandırılırken bir kısmı da 125⁰C'de 22 saat ve 190⁰C'de 8.5 saat yapay yaşlandırılmıştır. Kaynaklı örnekler çekme ve çentik darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Kaynaklı bölgenin mikrosertliği ölçülüp içyapısı incelenmiştir.

2. MALZEME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneylerde kullanılan örnekler endüstride yaygın olarak kullanılan 2024 alüminyum işlem alaşımı olup 6.3 mm (1/4 inç) kalınlığındaki sac levhadan Şekil 1'deki ölçülere uygun olarak hazırlanmıştır. 2024'ün değişik standartlardaki karşılıkları Çizelge 1'de, mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca esas metal ve kaynak elektrotunun kimyasal analizleri de Çizelge 3'de görülmektedir. Kaynak işleminden önce malzemenin üretiminden gelen veya eskiden varolan doğal yaşlanmanın etkilerin yok etmek için örneklerin tamamı 415⁰C'de 3 saat fırında tutulmuş ve havada soğutulmuştur.

2024 alüminyum alaşımından yapılmış sac levhadan haddeleme yönüne dikkat edilerek kesilmiş örnekler 60⁰'lik V kaynak ağzı açılmıştır (Şekil 1). Kaynak yapılırken çarpılmayı önlemek için özel bağlama kalıbı hazırlanmıştır. Kaynaktan önce asetona kaynak ağzı temizlenmiştir. Kaynak Çizelge 1'de standartları verilen elektrotla Çizelge 4'te verilen kaynak parametrelerine uygun olarak malzeme soğumadan art arda iki paso da tatbik edilmiştir.

Çizelge 1. 2024 Alüminyum işlem alaşımının ve elektrotun değişik standartlardaki karşılıkları

Malzeme	Türkiye	Etibank	ABD	Almanya	Fransa	İtalya	ISO	İngiltere
	TSE	ETİNORM	SAE/AISI	DIN	AFNOR			BS
2024	AlCuMg2	ETİAL 24	AA 2024	AlCuMg2	A-U4G1	P-AlCu4.5MgMn	AlCu4Mg1	L 97
ER4043	EL-AlSi5	--	ER4043	SG-AlSi5				

Çizelge 2. 2024 Alüminyum işlem alaşımının ve elektrotun mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (BSD)
2024-T0	109	220	12	47
2024-T4	290	393	12	120
ER4043	49	147	10	--

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan esas metal (2024) ve elektrotun (ER4043) kimyasal analizi (%Ağ)

Malzeme	Si	Mn	Fe	Mg	Ti	Cu	Zn	Al
2024	0.141	0.547	0.318	1.38	0.054	4,38	0.124	Geri kalan
ER4043	5.000	0.500	0.800	0.05	0.200	0.30	0.100	Geri kalan

Örneklerinin kaynaklanmasında alüminyum ve alaşımları için yaygın olarak kullanılan ER4043 (SG-AlSi5) kaynak elektrotu seçilmiştir. Söz konusu elektrotun çatlamaya karşı direnci yüksek olup orta derecede akışkanlığa sahiptir. Kaynak işleminde 1.6 mm çapında elektrot kullanılmıştır.

Kaynaklanmış örnekler 492±3 °C'de çözeltiye alınmış ve oda sıcaklığında su verilmiştir. Daha sonra bir kısmı doğal yaşlandırılırken bir kısmı da yapay yaşlandırılmıştır. Örneklerle uygulanan ısıl işlemler Çizelge 5'de özet olarak belirtilmiştir.

Doğal ve yapay yaşlandırmadaki optimum süre ve sıcaklığı belirlemek için çözeltiye alınmış 2024 alüminyum işlem alaşımı 125 °C ve 190 °C sıcaklıklarda farklı sürelerde yapay yaşlandırılarak sertlik değişimi incelenmiştir.

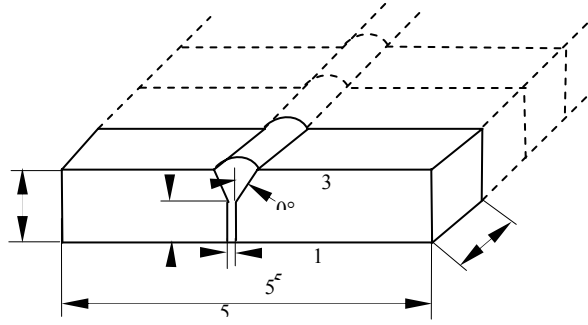
Kaynaklı malzemelerden TS 5789'a göre hazırlanan örnekler, Instron 1114 marka çekme cihazında oda sıcaklığında çekme deneyine tabi tutulmuştur, deneylerin tamamında çene hızı 0.5 cm/dakika olarak alınmıştır.

Çentik darbe (Charpy) deneyleri TS 269'a uygun olarak hazırlanmış olup deneyler Kögel-Leipzig marka çentik darbe cihazında yapılmıştır. Deney örnekleri üzerinde üst ve alt erime bölgeleri ile üst ve alt ITAB bölgelerinde çentik açılmıştır. Deney örneklerine açılan çentiklerin yerleri Şekil 2'de görülmektedir.

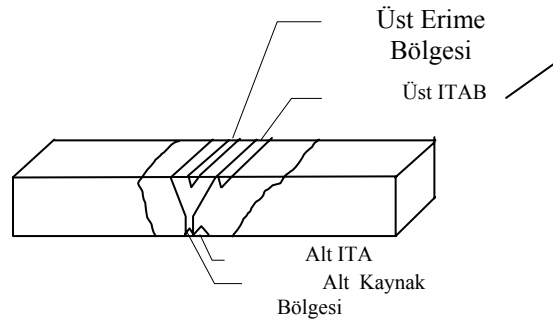
Kaynaklı bölgenin mikrosertlik dağılımını incelemek için TS 207'e göre hazırlanan deney numuneleri Matsuzawa MHT-2 marka mikrosertlik ölçme cihazında test edilmiştir. Yüzeyleri N10 kalitesinde parlatılmış ve Keller Reaktif ile dağlanmış örneklerin üst yüzeyinden 2.5 mm altından ve 0,5 mm ara ile kaynaklı bölge boyunca mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Cihaz ölçüm yapılırken otomatik olarak 100 gram yükü yüklenmiştir.

Kaynaklı bölgenin iç yapısını incelemek için plastiğe alınmış olan örneklerin yüzeyleri zımpara ile aşındırılmış, son aşamada Al₂O₃ pasta kullanılarak yüzeyleri keçe ile parlatılmıştır. Keller reaktif ile 12-13 saniye dağlanmıştır. Dağlamada kullanılan Keller reaktifinin bileşimi şöyledir.

2 ml HF (%48) + 3 ml HCl (konsantre) + 5 ml HNO₃ (konsantre) + 190 ml Su (saf) Dağlanan örneklerin Hunt Wetzlar marka optik mikroskop ile iç yapılarının fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 1. Deneysel olarak kullanılan kaynaklı örnekler



Şekil 2. Örnekler üzerine çentik açılan bölgeler

Çizelge 4. Deneysel olarak kullanılan kaynak parametreleri

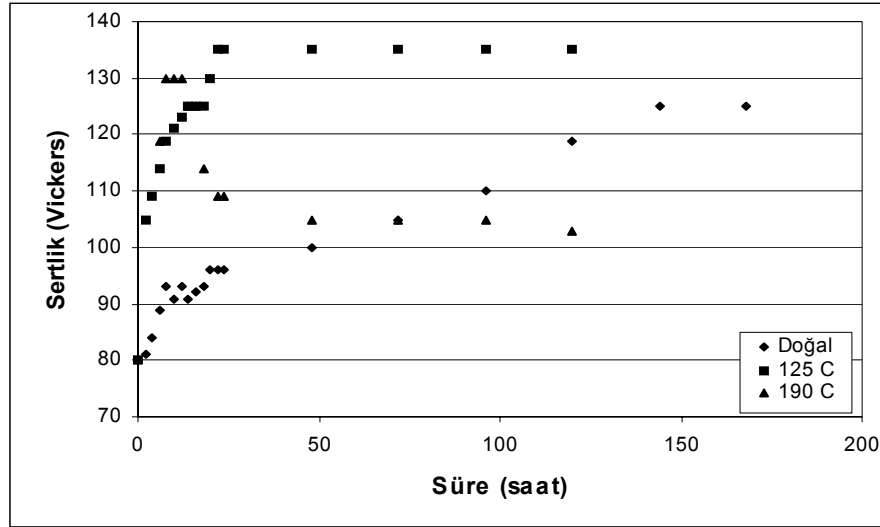
Esas Metal	2024
Kaynak işlemi	TIG
Elektrot	SG-ALSi5 (ER4043)
Koruyucu gaz	Argon
Koruyucu gaz debisi	15 dm ³ /dakika
Kaynak ağzı	V (60 ⁰)
Elektrot çapı	1.6 mm
Kaynak pozisyonu	Alın
Akım	250 A
Gerilim	22 V
Paso sayısı	2

Çizelge 5. Örnekler uygulanan ısı işlem sıcaklık ve süreleri

Malzeme	Çözeltiyeye alma sıcaklığı (°C)	Çözeltiyeye alma süresi (saat)	Soğutma ortamı	Yaşlandırma sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma süresi (saat)
2024-T4	492±3	3	Su	Oda sıcaklığı	Bir hafta
2024-T6	492±3	3	Su	125	22
2024-T6	492±3	3	Su	190	8.5

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

2024 alüminyum işlem alaşımının çözeltiye alınmış örneklerinin bir kısmı doğal, bir kısmı da 125 °C ve 190 °C sıcaklıklarda farklı sürelerde yapay yaşlandırılarak sertlik değişimi incelenmiş, yaşlandırma süresinin sertlik değerine etkisi Şekil 3’de gösterilmiştir. Katı çözeltiye alınmış durumda 80 Vickers olan sertlik değeri, oda sıcaklığında doğal yaşlandırma ile bir haftada 125 Vickers sertlik değerine, yapay yaşlandırma ile 125 °C’de 22 saatte 135 Vickers sertlik değerine, 190 °C’de ise 8.5 saatte 130 Vickers sertlik değerine ulaşılmıştır. Tespit edilen bu optimum yaşlandırma şartları deneylere esas alınmıştır.



Şekil 3: 2024 alüminyum işlem alaşımında yaşlandırma süresinin sertliğe etkisi

Çizelge 6. Örneklerle uygulanan ısı işlem sıcaklıklarına göre çekme deneyi sonuçları

Isıl işlem/mechanik özellikler	Akma gerilmesi (N/mm ²)*	Çekme gerilmesi (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)
Kaynak edilmemiş	102	210	23.0
Kaynaklı, işlem yapılmamış	68	154	5.0
2024-T4	141	226	3.5
2024-T6 (125 °C’de 22 saat)	152	250	4.0
2024-T6 (190 °C’de 8.5 saat)	195	313	3.0

*Akma gerilmesi çekme deneyinde elde edilen yük-uzama diyagramında %0.2 kalıcı uzamaya karşılık gelen gerilme olarak alınmıştır.

Çizelge 7. Örneklerle uygulanan ısı işlem şartlarına ve kaynak bölgelerine göre çentik darbe deneyi sonuçları (Joule)

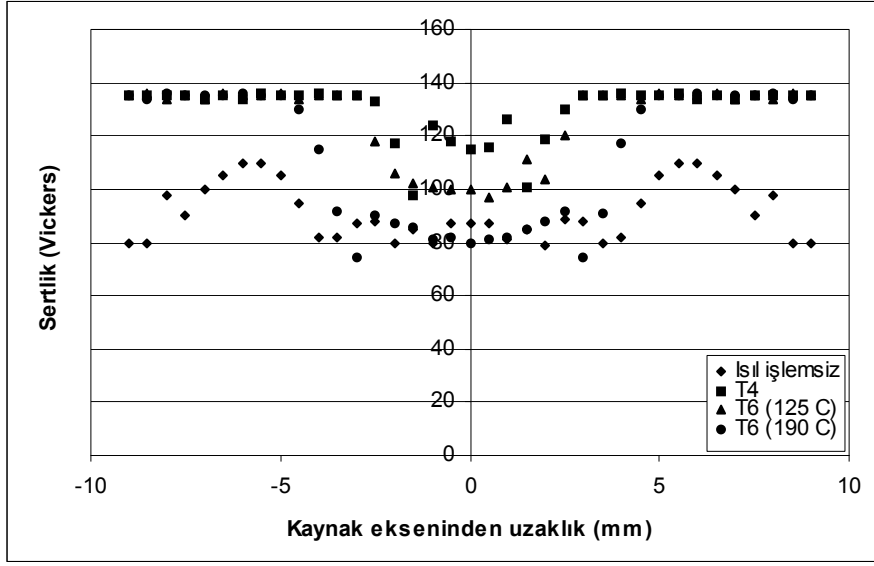
Isıl işlem/bölge	Üst erime bölgesi	Üst ITAB	Alt erime bölgesi	Alt ITAB
Kaynaklı, ısı işlem yapılmamış	3.70	2.32	0.81	2.71
2024-T4	1.72	2.35	0.85	1.00
2024-T6 (125 °C’de 22 saat)	1.52	3.20	1.25	1.17
2024-T6 (190 °C’de 8.5 saat)	0.72	1.90	0.75	0.80

Kaynak edilmemiş ve ısıl işlem yapılmamış örneğin çentik darbe direnci 3.10 Joule'dür. Çekme deneyi için TS 5789'a göre hazırlanan kaynaklı örnekler ile yapılan deneyin sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde kaynak edildikten sonra ısıl işlem uygulanmış örneklerin gerek akma gerilmesi gerekse çekme gerilmesi değerleri ısıl işlem uygulanmamış örneklerin değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Kaynak yapılırken ısı etkisiyle ITAB'daki bazı bölgelerde çökelti çözünüp ve soğuma sırasında uygun olmayan büyüklük, biçim ve dağılımda tekrar çökeldiklerinden akma ve çekme gerilmesi değerleri azalmıştır. Yeniden gerçekleştirilen uygun bir ısıl işlem ile aşırı yaşlanmanın etkileri yok edilmiştir.

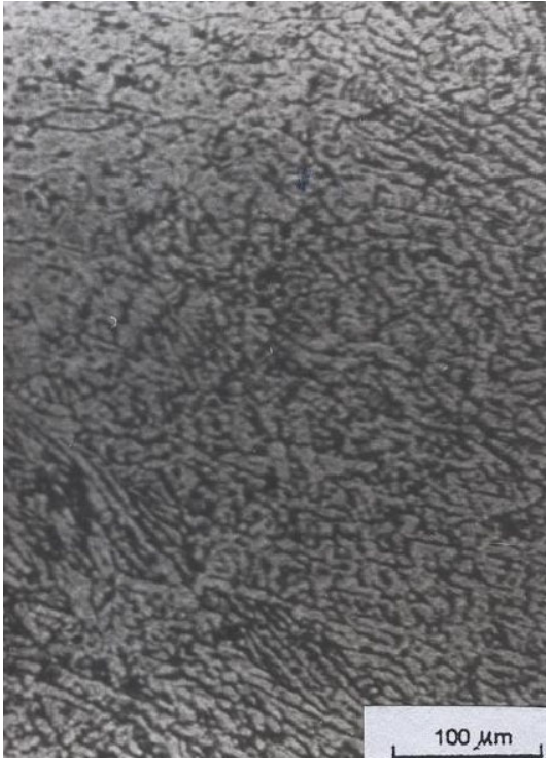
Çentik konumları Şekil 2'de belirtilmiş olan çentik darbe (Charpy) deneyi örneklerinin oda sıcaklığında gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Kaynak edilmemiş ve ısıl işlem yapılmamış örneğin çentik darbe direnci 3.10 Joule iken, kaynaklanmış fakat hiçbir ısıl işlem yapılmamış örneklerde üst erime bölgesinde bu değer 3.7 Joule'e yükselmiştir. Isıl işlem uygulanmış (190 °C'de 8.5 saat) kaynaklı örneklerde çentik darbe direnci azalarak 0.72 Joule'e düşmüştür. Kaynak sırasında ısının etkisiyle irileşen çökelti tokluğun artmasına neden olurken, uygulanan ısıl işlem ile çentik darbe direnci azalmıştır. Tane sınırlarındaki çökelti çoğunlukla çatlak oluşumuna neden olmaktadır. En düşük tokluk değerleri her ısıl işlem şartı için alt ve üst erime bölgesinde olmuştur. Bu da tokluğu azaltan nedenin kaynak elektrotundan, kaynağın iki pasoda yapılmış olmasından veya erime bölgesinin ortasındaki inklüzyonlardan ileri geldiği söylenebilir.

Mikrosertlik dağılımını incelemek üzere dağlanarak hazırlanmış örneklerin üst yüzeyinden 2.5 mm altında ve 0,5 mm ara ile kaynaklı bölge boyunca doğrusal olarak mikrosertlik değerleri ölçülerek mikrosertlik değerlerinin kaynak eksenine boyunca değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Kaynak ekseninin her iki yanındaki sertlik değerleri bütün ısıl işlem şartlarında da simetrik bir dağılım göstermişlerdir. Sadece kaynak yapılmış, ısıl işlem uygulanmamış örneğin mikrosertlik değerlerinin dağılımı düzenli değildir. Erime bölgesi, ITAB ve esas metal arasında belirgin bir geçiş olmamıştır. Kaynak yapılırken oluşan ısı kaynak bölgesinde içyapıyı bozmuştur (Şekil 5 a). Isıl işlem uygulanmış örneklerde düzenlenmiş içyapı ile bölgeler arasında anlamlı bir sertlik dağılımı görülmüştür. Hangi ısıl işlem uygulanmış olursa olsun esas metal bölgesinde 135 Vickers olan mikrosertlik değeri ITAB da azalmakta, kaynak metalinde ise düşmektedir. Kaynak metalinde en yüksek mikrosertlik değerleri doğal yaşlandırmaya aittir (115 Vickers), daha sonra sırası ile (125 °C'de 2 saat ve 190 °C'de 8.5 saat) yapay yaşlandırmalar gelmektedir. Kaynak metal, ITAB ve esas metal arasındaki mikrosertlik dağılımındaki farklılıklar ve ani sertlik değişimleri içyapı ve tokluk farklılıklarından meydana gelmektedir.

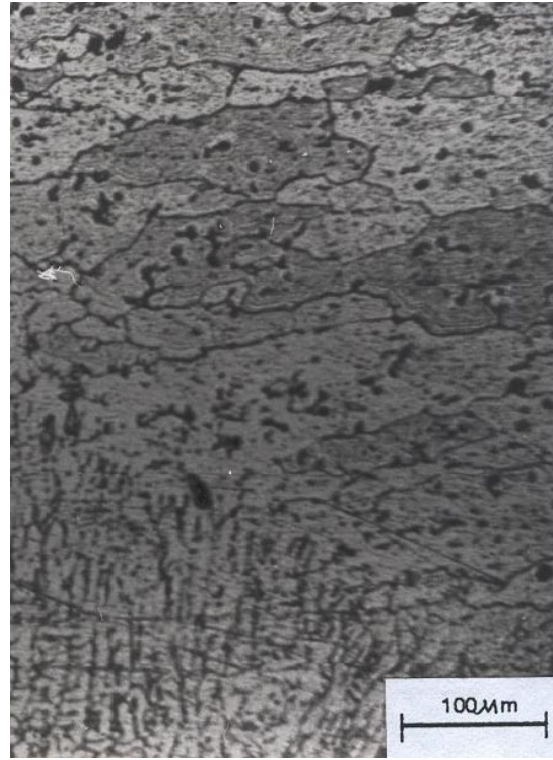
Kaynaklı bölgenin içyapısını incelemek için dağlanan örneklerin çekilen içyapı fotoğrafları Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 5 a'da kaynak yapıldıktan sonra ısıl işlem uygulanmamış örneğin içyapısı gösterilirken Şekil 5 b'de doğal yaşlandırılmış, Şekil 6 yapay yaşlandırılmış örneklerin kaynak bölgesine ait içyapı fotoğrafları gösterilmiştir. Fotoğraflarda kaynak metal, ITAB ve esas metalin içyapıları açıkça ayırt edilebilmektedir.



Şekil 4. 2024 alüminyum işlem alaşımının kaynaklı bölgesinde sertlik dağılımı

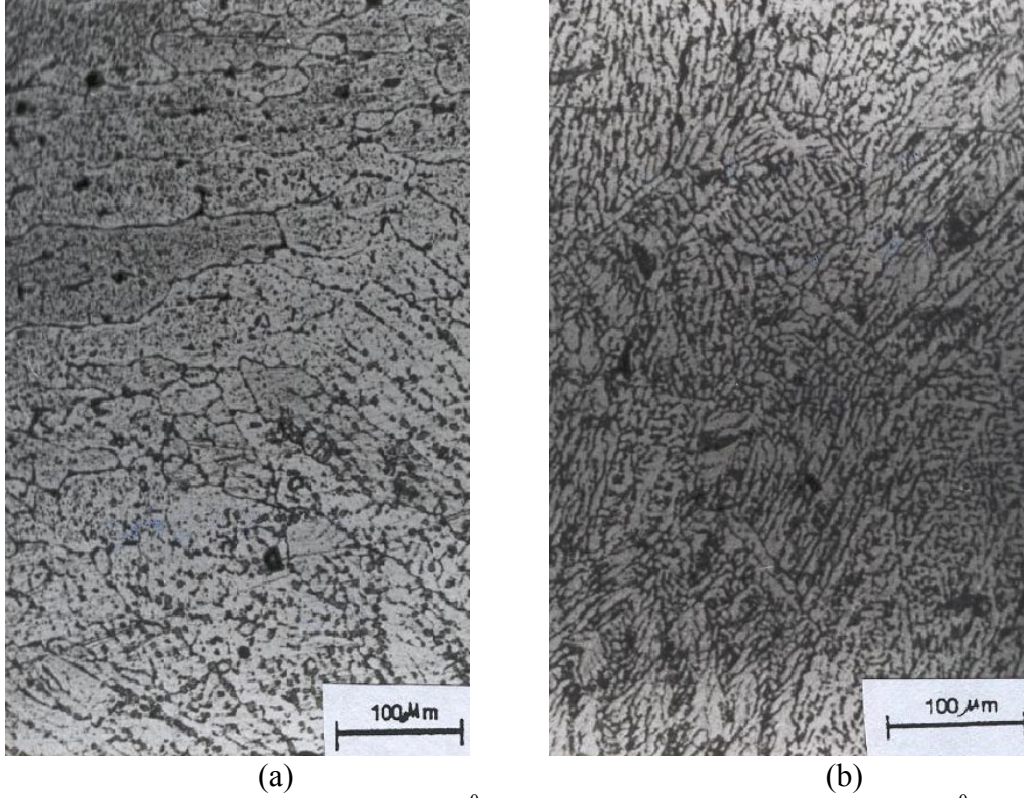


(a)



(b)

Şekil 5. Kaynak sonrası ısı (a) işlem uygulanmamış (b) doğal yaşlandırılmış



Şekil 6. Kaynak sonrası yapay (125 °C'de 22 saat)yaşlandırılmış (a) (190 °C'de 8.5 saat) yaşlandırılmış (b) örneğin içyapısı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada levha şeklinde üretilmiş olan 2024 alüminyum işlem alaşımı 60⁰'lik V kaynak ağızı açılarak TIG kaynak yöntemi ile argon gazı altında ER4043 elektrot kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklanmış örnekler 492±3 °C'de çözeltiye alınmış ve oda sıcaklığında su verilmiştir, daha sonra bir kısmı doğal yaşlandırılırken bir kısmı da 125 °C'de 22 saat ve 190 °C'de 8.5 saat yapay yaşlandırılmıştır. Kaynaklı örnekler çekme ve çentik darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Kaynaklı bölgenin mikrosertliği ölçülüp içyapısı incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-En yüksek akma ve çekme gerilmesi 190 °C'de 8.5 saat yapay yaşlandırma uygulanmış örneklerde görülmüştür.

2-Doğal yaşlandırılmış örnekler en yüksek çentik darbe direncine sahip olmalarına rağmen 190 °C'de 8.5 saat yapay yaşlandırılmış örnekler en düşük çentik darbe direncine sahip olmuşlardır.

3-Kaynak metali, ITAB ve esas metal arasındaki mikrosertlik değerleri arasında en az fark doğal yaşlandırılmış örneklerde görülmüştür.

4-Yaşlandırma süresinin artması ve yaşlandırma sıcaklığının azalması daha iyi bir içyapı oluşmasını sağlamış olup mikrosertlik dağılımları farkı azalmıştır.

KAYNAKLAR

- Anık S., Dorn L. (1989): "Metal Physical Processes During Welding of Aluminium and Aluminium Alloys", Schweissen-Schneiden, n5, p E84-86.
- Bargel H.J., Schulze G. (1985): "Malzeme Bilgisi", Cilt 1 TÜBİTAK Yayınları, Gebze.
- Dündar S., Tılmaz F. (1985): "İnklüzyonların Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi", 2. Ulusal Alüminyum Kongresi, Seydişehir, Konya. s. 311-322.
- Ertürk T., Kazazoğlu E. (1982): "Effect of Aging on Bulk Formability of Aluminum Alloys", Formability of Metallic Materials-2000 A.D., ASTM STP 753, J. R. Newby and B. A. Niemeier, Eds., American Society for Testing and Materials, p. 19-34.
- Gourd L.M. (1996): "Kaynak Teknolojisinin Esasları", Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Jeffries Z., Archer R.S. (1968): "The Basis of Age-Hardening, Precipitation Hardening", Ed. J. W. Martin, 87-100, Pergamon Press.
- Karabulut A., Aran A. (1985): "2024 Alüminyum Alaşımlarında Soğuma Hızı Duyarlılığı", 2.Ulusal Alüminyum Kongresi, Seydişehir, Konya. s. 292-304
- Meriç C. (1989): "Physical and Mechanical Properties of AlCu4LiXMg1 Alloy which Cast Under and without Vacuum", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE/MAK-89-AR-061, İzmir.
- Meriç C., Varol R. (1993): "AlCu4Ti Alüminyum Döküm Alaşımında Çökelme Isıl İşleminin Mekanik Özelliklerine Etkisi", AÜ Isparta Müh. Fak. Dergisi, sayı 7, s. 57-66.
- Sanders R.E., Sanders T.H., Staley I.T. (1983): "Relationships between Microstructure, Conductivity and Mechanical Properties of alloy 2024-T4 (1)", Aluminium, 59, Jarg. 13-17.
- Starke E.A. (1970): "The Causes and Effects of Denuded or Precipitates at Grain Boundaries in Aluminium Base Alloys", Journal of Metals, January, p.54-63.
- Şahan A. (2000): "2024 Alüminyum Alaşımının Kaynak Kabiliyeti", Yüksek Lisans Tezi, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Yüksel M. (1985): "Alüminyum-Azot ve Alüminyum-Hidrojen Alaşımları", 2. Ulusal Alüminyum Kongresi, Seydişehir, Konya. s. 283-291.