

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**SOĞUK METAL TRANSFERİ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ  
6061 VE 5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK SONRASI  
ISIL İŞLEMİ**

**Melis TÜRKÖZ ALICI**

**Danışman**

**Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**



**MANİSA-2019**

**Melis  
TÜRKÖZ  
ALICI**

**SOĞUK METAL TRANSFERİ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ 6061 VE  
5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK SONRASI ISIL İŞLEMİ**

**2019**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Melis TÜRKÖZ ALICI**



## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLO DİZİNİ .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1.GİRİŞ .....	1
2.ALÜMİNYUM .....	4
2.1.Alüminyum ve Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	5
2.2.Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler .....	7
2.2.1.Çökelme Sertleşmesi.....	8
3. KAYNAK .....	14
3.1. Cold Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi) Yöntemi .....	17
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	20
4.1. Soğuk Kaynak Transferi (CMT) Kaynağı Uygulaması .....	20
4.2. Çözeltiliye Alma ve Yaşlandırma Isıl İşlemi .....	20
4.3. Metalografik İnceleme .....	22
4.4.Mikroyapı İncelemesi .....	23
4.5. Mikrosertlik.....	24
4.6. Çekme Testi .....	24
4.7. SEM-EDS.....	25
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	28
6. SONUÇLAR .....	38
7. KAYNAKÇA.....	39

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>I</b>	Akım
<b>V</b>	Voltaj
<b>Al</b>	Alüminyum
<b>YMK</b>	Yüzey Merkezli Kübik
<b>ITAB</b>	Isı Tesiri Altındaki Bölge
<b>TIG</b>	Tungsten İnerit Gaz
<b>MIG</b>	Metal İnerit Gaz
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
<b>CMT</b>	Cold Metal Transfer (Soğuk Metal transferi)
<b>SKK</b>	Sürtünme Karıştırma Kaynağı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çekirdeklenmiş bir katı çözeltide bileşimin farklılık göstermesi .....	9
Şekil 2.2. Difüzyon sırasında atomların hareketi .....	10
Şekil 2.3. Alüminyumun içerisinde bakırın sıcaklığa bağlı olarak çözünebilirliği....	10
Şekil 2.4. Çökelme sertleşmesi sırasında ortaya çıkan mikro yapısal değişimler.....	11
Şekil 3.1. CMT kaynağı aşamaları [36]. .....	18
Şekil 4.1. a) CMT-0886 no'lu numune b) CMT-1207 no'lu numune c) CMT-0717 no'lu numune d) CMT-1107 no'lu numune e) CMT-1128 no'lu numune .....	21
Şekil 4.2. 530 °C'de çözeltiye alma işleminin yapıldığı fırın .....	21
Şekil 4.3. CMT ile birleştirilmiş numunelerin 160 °C'de 18 saat yaşlandırma ısı işlemi.....	22
Şekil 4.4. Zımparalama ve parlatma cihazı.....	22
Şekil 4.5. a) Weck's çözeltisi b) Keller çözeltisi .....	23
Şekil 4.6. Nikon Eclipse LV150 N marka optik mikroskop .....	23
Şekil 4.7. Future-Tech FM-700 mikrosertlik cihazı.....	24
Şekil 4.8. Yaşlandırma işlemi uygulanmış çekme deneyi numuneleri .....	24
Şekil 4.9. Çekme deneyinin uygulanışı.....	25
Şekil 4.10. Numunelerin SEM için hazırlanması.....	25
Şekil 4.11. SEM cihazı.....	26
Şekil 4.12. CMT-0886 no'lu numunenin ITAB bölgesinde EDS analizi yapılan alanlar.....	26
Şekil 4.13. CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesinde EDS analizi yapılan alanlar.....	27
Şekil 5.1. a) CMT-1128 no'lu numunenin AA5754 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-1128 no'lu numunenin 200X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT- 1128 no'lu numunenin AA6061 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi.....	28
Şekil 5.2. a) CMT-1107 no'lu numunenin AA5754 kısmı 200X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-1107 no'lu numunenin 100X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT- 1107 no'lu numunenin AA6061 kısmı 100x büyütmedeki ITAB bölgesi.....	28
Şekil 5.3. a) CMT-0717 no'lu numunenin AA5754 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-0717 no'lu numunenin 100X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT- 0717 no'lu numunenin AA6061 kısmı 200X büyütmedeki ITAB bölgesi .....	29
Şekil 5.4. a) CMT-1207 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-1207 no'lu numunenin 100X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT-1207 no'lu numunenin AA6061 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi .....	29
Şekil 5.5. a) CMT-0886 no'lu numunenin AA5754 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-0886 no'lu numunenin 200X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT- 0886 no'lu numunenin AA6061 kısmı 200X büyütmedeki ITAB bölgesi .....	30
Şekil 5.6. Mikrosertlik değerleri ortalaması.....	31
Şekil 5.7. Gerilme - %e grafiği .....	31
Şekil 5.8. a) CMT-1107 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-1107 no'lu numunenin kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki	

SEM görüntüsü c) CMT-1107 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM görüntüsü.....	32
Şekil 5.9. a) CMT-1128no'lu AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-1128no'lu numunenin Kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-1128no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM görüntüsü.....	32
Şekil 5.10. a) CMT-0717 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-0717 no'lu numunenin kaynak bölgesinin100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-0717 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM görüntüsü.....	33
Şekil 5.11. a) CMT-1207 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-1207 no'lu numunenin kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-1207 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM görüntüsü.....	33
Şekil 5.12. a) CMT-0886 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-0886 no'lu numunenin kaynak bölgesinin100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-0886 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM görüntüsü.....	34

## TABLO DİZİNİ

Tablo 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri .....	4
Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması .....	5
Tablo 2.3. AA5754 alaşımlı alüminyumun kimyasal-bileşimi .....	6
Tablo 2.4. AA6061 alüminyum alaşımının kimyasal-bileşimi .....	6
Tablo 2.5. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanları.....	7
Tablo 2.6. T temper kodları.....	8
Tablo 2.7. H temper kodları .....	8
Tablo 4.1. Kaynak parametreleri.....	20
Tablo 5.1. CMT-0886 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 1. alanın EDS analizi .	35
Tablo 5.2. CMT-0886 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 2. alanın EDS analizi .	35
Tablo 5.3. CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 1. alanın EDS analizi .	36
Tablo 5.4. CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 1. noktanın EDS analizi .....	36
Tablo 5.5. CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 2. alanın EDS analizi .	37



## TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında her yönden yardımcı olan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendilerini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hülya DURMUŞ'a ve sevgili hocam Sayın Araő. Gör. Dr. Nilay ÇÖMEZ'e, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Melis TÜRKÖZ ALICI  
Manisa, 2019



# ÖZET

## Yüksek Lisans Tezi

### Soğuk Metal Transferi Kaynağı İle Birleştirilmiş 6061 ve 5754 Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Sonrası Isıl İşlemi

Melis TÜRKÖZ ALICI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

CMT kaynağı, geleneksel MIG/MAG kaynağına göre soğuk olan prosestir. Bu yöntem ile düşük ısı girdisi sayesinde diğer yöntemler ile kaynak edilmesi zor olan demir dışı metallerin kaynağı mümkün olmaktadır. Sürekli bir ısı girdisine karşı bazı metallerin kaynağında uygulamada kaynak banyosunda sıçranta, yetersiz kaynak bağlantısı ve çukurlaşma gibi hatalardan kaçınmak için düşük sıcaklıklar gerekmektedir. Buna karşın CMT yönteminin düşük ısı girdisi sağlaması ile bu tür sorunlardan kaçınmak mümkündür.

Bu çalışmada AA 5754 ve AA 6061 malzemeleri farklı CMT kaynak parametreleri ile birleştirilmiştir. Farklı CMT kaynak parametreleri ile birleştirilen malzemelerin çekme testi, mikrosertlik, SEM-EDS ve mikroyapı görüntüleri incelenmiştir.

Çalışmada 1. bölümde giriş yapılmıştır. 2. bölümde alüminyumun özellikleri, sınıflandırılması, alüminyuma uygulanan ısıl işlemler ve çökeltme sertleşmesinden anlatılmıştır. 3. bölümde başlıca kaynak yöntemleri anlatılmıştır. 4. bölümde alüminyum alaşımlarının kaynağı ve CMT kaynak prosesi izah edilmiştir. 5. bölümde deneysel çalışmalara yer verilmiştir. 6. bölümde ise değerlendirme ve sonuç kısmı bulunmaktadır.

Bu çalışmanın sonucunda AA 5754 ve AA6061 malzeme çiftinin farklı CMT kaynak parametreleri ile birleştirildiği ve farklı mikroyapı özellikleri gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca en iyi çekme dayanımı CMT-1128 no'lu numunede gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** CMT, MIG/MAG, AA5754, AA6061, SEM, EDS

**2019, 43 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **Post-Welding Heat Treatment of 6061 and 5754 Aluminum Alloys Combined with Cold Metal Transfer Welding**

**Melis TÜRKÖZ ALICI**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hülya DURMUŞ**

The CMT welding is the cold process according to the conventional MIG / MAG welding. By this method, it is possible to supply non-iron metals which are difficult to weld by other methods due to low heat input. In the application of some metals against a continuous heat input, low temperatures are required to avoid errors such as sputtering, insufficient welding connection and pitting in the welding bath. However, it is possible to avoid such problems by the low heat input of the CMT method.

In this study, AA 5754 and AA 6061 materials are combined with different CMT welding parameters. The tensile test, microhardness, EDS analysis, SEM and microstructure images of the materials combined with different CMT welding parameters were examined.

In the study, chapter 1 was introduced. In chapter 2, properties of aluminum, classification, heat treatment applied to aluminum and precipitation hardening are described. Part 3 describes the main welding methods. Section 4 describes the source of aluminum alloys and the CMT welding process. Experimental studies are given in section 5. In section 6, there is an evaluation and conclusion section.

As a result of this study, it was understood that AA 5754 and AA6061 material pair was combined with different CMT welding parameters and showed different microstructure properties. In addition, the best tensile strength was observed in the sample CMT-1128.

**Keywords:** CMT, MIG/MAG, AA 5754, AA6061, EDS, SEM

**2019, 43 pages**

## 1. GİRİŞ

Alüminyum, yer kabuğunda sıklıkla bulunan birinci metal elementtir ve geri dönüşüm işlemi ile yeniden geri kazanım sağlanmaktadır. Alüminyumun ergitilebilmesi ham maddeden üretim için gerekli enerjinin %5'i kadardır ve yeni ürünler için kullanılabilir [1].

Alüminyum ve Alaşımları, günlük hayatta kullanımı en fazla olan endüstriyel alan malzemeleridir. Demir esaslı alaşımlardan sonra alüminyum ve alaşımları ileri teknoloji gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Alüminyum esaslı malzemelerin birçok iyi özelliği olmasına rağmen mukavemet değerlerinin düşük olduğu için kullanım alanları kısıtlıdır. Saf alüminyumun düşük mukavemet değerleri, alaşımlandırma ile fazlaştırılabilir. Mangan, bakır, magnezyum, silisyum ve çinko alüminyuma katılan alaşım elementlerinin en önemlileridir. Alüminyuma eklenen alaşım elementleri ile ilgili olarak, alüminyum alaşımları ısıl işlem uygulanabilen ve ısıl işlem uygulanamayan alaşımlar olarak iki'ye ayrılmaktadır.

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları, dayanım ve sertlik yaşlandırma işlemi ile ciddi oranda arttırılabilmektedir. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımlarında ise dayanımlarının pekleşme, katı eriyik sertleşmesi ve dispersiyon sertleşmesi ile arttırılmaktadır [2].

Alüminyumun ekonomik ve her anlamda en uygun malzeme olmasına ve kullanım alanının yaygın olmasına neden olan önemli özelliklerin başında; uygun mekanik özelliklerinin yanı sıra ağırlığının minimum seviyede düşük olması, kolay işlenebilir olması, şekillendirilebilmesi ve geri dönüştürülebilir olması, ve yüksek ısı iletkenliği ve elektrik iletkenliği, magnetik olmaması gibi özelliklerdir [3-4].

Bakıra göre alüminyumun ısı ve elektrik iletkenliği, oldukça azdır. Ancak spesifik elektrik iletkenliği ve spesifik ısı iletkenliği değerleri göz önünde bulundurulduğunda bakırdan çok daha iyi olduğu görülmektedir. Bundan dolayı, alüminyum alaşımları hava elektrik hatlarında kullanılmaktadır. Aynı zamanda alüminyumun fiyatı bakıra göre daha düşüktür. Korozif ortamlarda alüminyumun yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplanır ve böylece korozyona dayanıklılığını sağlar.

Bu nedenle alüminyum birçok korozif ortamda kullanılabilir. Korozyon açısından alüminyumun mümkün olduğu kadar saf olarak kullanılması gerekmektedir. Çünkü alüminyum alaşımlarının içindeki diğer elementler alüminyum ile galvanik pil oluşturmaya uygundur. Ancak mekanik özelliklerindeki dayanım düşük olması nedeniyle uygulamalarda saf alüminyum kullanılması tercih edilmez [5].

Şekil verme kabiliyeti düşük olan malzemelerden karmaşık şekilli parçaların üretimini sağlayan imalat yöntemine kaynak denir. Bu durumlarda, ürün çok parçalı üretildikten sonra uygun bir kaynak yöntemi kullanılarak bu parçaların birleştirilmesi suretiyle üretim gerçekleştirilir. Ayrıca kaynak, genel olarak kaynak tamamlayıcı bir prosedir, diğer üretim yöntemlerine alternatif değildir. Bu nedenle kaynak edilebilirlik, yeni geliştirilen malzemelerin uygulama alanlarının genişlemesinde en önemli faktörlerden biridir. Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde birçok endüstri kolunda tekparça olarak üretimi mümkün olmayan veya ekonomik olmayan karmaşık şekilli parçalara duyulan gereksinim artmıştır [5].

Alüminyumun bazı özellikleri ark kaynağı yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyetini azaltmaktadır. Bu özellikler, yüksek ısı iletkenlik, sıcak yırtılma riski, yüksek termal genişleme katsayısı sebebiyle kaynak dikişinde çarpılma ve çatlak oluşumu ve yüksek iç gerilmelerin oluşumu, alaşım yüzeyinde yüksek ergime sıcaklığına ve yalıtkanlığa sahip oksit tabakasının bulunması, olarak verilebilir. Bu özellikler nedeniyle ergitme kaynağı yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının kaynağını gerçekleştirmek zordur. Günümüzde, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımı birleştirmeleri elde etmek için sürtünme karıştırma kaynağı ve difüzyon kaynağı gibi katı hal kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, katı-hal kaynak yöntemlerinin özel konstrüktif birleştirmelerdeki yöntemlerin esnek olmayışı ve ek olarak difüzyon kaynağı için vakum sistemine ihtiyaç duyulması , yöntemlerin kullanımlarını kısıtlamaktadır. Konvansiyonel TIG ve MIG kaynağı uygulama kolaylıkları nedeniyle alüminyum alaşımlarının kaynağında çokça kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerle ince levhaların birleştirilmesinde nüfuziyetin kontrol edilememesi levhaların delinmesine ya da uygun birleştirmenin elde edilememesine neden olmaktadır [3]. Bu nedenle, özellikle ince levhaların kaynağında ısı girdisi daha düşük olacak şekilde kaynak işlemi yapılmaya çalışılmaktadır [6].

Günümüzde, ince sacların kaynağı için öncelikle soğuk metal transferi kaynağı, ve darbeli çift elektrot ark kaynağı gibi yöntemler önerilmektedir. CMT yöntemi, havacılık endüstrisinde ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü düşük ısı girdisi ile ince sacların estetik bir görünüme sahip olacak şekilde birleştirilmesini sağlamaktadır. CMT prosesi düşük akım, düşük voltaj ve düşük ısı girdisi ile analiz edilmektedir. Ayrıca CMT prosesi daldırma-dip transferi modunda çalışmaktadır. Bununla birlikte malzeme transferi, daldırma transfer modunda elektriksel olarak kontrol edilirken, CMT prosesinde mekanik olarak desteklenen yöntemin yanı sıra hem kısa devrenin başlatılması hem de süresi ile kontrol edilmektedir. CMT yönteminin geleneksel gaz metal ark kaynağından en önemli farkı kaynak işleminin tamamen dijital kontrollü olmasıdır.

Çeşitli kaynak yöntemleriyle birleştirilen AA5754 alaşımının mekanik özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Aynı zamanda AA5754 alaşımının kaynak işleminin sonrasındaki korozyon davranışı değişimi hakkında literatürde çok az sayıda bilgi bulunmaktadır. AA5754 alüminyum alaşımının korozyon özellikleri hakkındaki çalışmalar genellikle alaşımın kaynaklı duruma aittir. Örneğin, Halambek ve ark. (2013), inhibitör *Laurus nobilis* L. yağının, %3 NaCl solüsyonunda AA5754 alüminyum alaşımının korozyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Afseth ve ark. (2001), AA5754 alaşımının korozyon davranışı üzerine yüksek sıcaklıkta ısıtma işlemi ve yüzey iyileştirmenin etkisini incelemişlerdir. Kaynak işleminin, oluşan bağlantının korozyon davranışını etkilediği bilinmektedir [7].

Sierra vd. (2007), düşük karbonlu çelik ile 6016-T4 ve 6056-T4 alüminyum alaşımlarını lazer kaynağı ile birleştirmişlerdir. Çeliğin alüminyum üzerinde olduğu durumda Al-Fe bindirme kaynağında kusursuz kaynak dikişleri elde edilmiştir. Kaynak-alüminyum ara yüzeyleri,  $Fe_2Al_5$  ve  $FeAl_3$  fazlarından meydana geldiği görülmüş olup kalınlıkları 5 ila 20  $\mu m$  arasındadır. İrizalp vd. (2014), AA1050-galvanizli çelik sacın soğuk metal transferi kaynağı sonucunda oluşan intermetalik tabakanın kalınlığı 5  $\mu m$  altında bulmuşlardır [8].

## 2. ALÜMİNYUM

Alüminyum yer kabuğunun ağırlıkça % 8,8'ini oluşturmaktadır. Oksijen ve silisyumla birlikte doğada en çok bulunan elementlerden birisidir. Alüminyuma doğada serbest halde rastlanmaz. Alüminyum bileşen olarak birçok silikatlarda ve değerli taşlarda bulunmaktadır. Ticari anlamda en önemli filizi boksittir [6].

Alüminyum ilk kez elementel olarak 1825'te Oersted ve 1827'de Wöhler tarafından saf olmayan bir toz olarak elde edilmiştir. Bu durumun sebebi ise doğada Alüminyum oksit şeklinde bulunan alüminyumun kararlı bir yapıya sahip olması ve yüksek enerji gereksinimleri ile indirgenemesinden kaynaklanmaktadır [9]. Alüminyuma ait fiziksel özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Alüminyum alaşımlarının yüksek özgül mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci ve mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi, işleme ve şekillendirme kolaylığı gibi özelliklere sahip olması çokça farklı alanda kullanım alanı ortaya çıkarmıştır. Kullanım alanlarının başında taşımacılık, otomotiv, makine havacılık, uzay, imalat ve elektronik sektörleri gelmektedir. Hafif olmaları nedeni ile özellikle otomotiv, uzay ve havacılık sektörlerinde ağırlık azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanmasında ve hava kirliliğinin önlenmesinde çok önemli yer tutmaktadır [9-10].

**Tablo 2.1.** Alüminyumun fiziksel özellikleri [11-14-15].

Sembol	Al
Atom No	13
Atom Ağırlığı	26,98
Element Serisi	Metal
Maddenin Görünümü	Gümüşü, Metalik
Dökme Al Özgül Ağırlığı	269 g/cm <sup>3</sup>
Çekme (Hadde) Al Özgül Ağırlığı	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Erime Sıcaklığı	658 °C
Kaynama Sıcaklığı	1800 °C
Özgül Isısı	0,211 cal/g
Erime Isısı	93 cal/g
Çekme Direnci	4-8 kg/mm <sup>2</sup>
Akma Direnci	1-3 kg/mm <sup>2</sup>
Sertlik (HB 2,5)	12-20 kg/mm <sup>2</sup>
Elastiklik Modülü	7,2x10 <sup>22</sup> kg/cm <sup>2</sup>
Yeniden Kristelleşme	250-300 °C
Isı Kapasitesi (25°C)	5,82 cal/mol °C

## 2.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Sınıflandırılması

Dövme ve döküm alaşımları olarak alüminyum alaşımları iki katagoriye ayrılır. Dövme alaşımları genellikle kütük halinde dökülür ve daha sonra plastik deformasyona maruz bırakılarak istenilen nihai şekli verilir. Döküm alaşımları ise ergitme işlemi sonrası üretilecek parça şekline sahip kalıba dökülür ve katılaştırılır [12].

Dövme yöntemi ile üretilen ürünlerin döküm yöntemi ile üretilenlere göre içyapısı daha kararlıdır. Çünkü içyapıda bulunan süreksizlikler plastik deformasyon sonucu giderilmektedir. Döküm yöntemi ile yapılan üretimlerde ise içyapıda bulunan süreksizlikleri gidermek ve istenilen yapının elde edilmesi amacı ile bazı önlemler ve işlemler gereklidir, mekanik özellikleri iyileştirme amacıyla döküm alaşımlarının bazıları ısıl işlem prosesine tabi tutulur [13]. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Tablo 2.2’de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [16].

<b>Dövme Alüminyum Alaşımları</b>		
<b>Alüminyum Birliği No</b>	<b>Başlıca Alaşım Elementi</b>	<b>Isıl İşlem</b>
1XXX	Saf Alüminyum (Al)	Uygulanamaz
2XXX	Bakır (Cu)	Isıl işlem yapılabilir
3XXX	Manganez (Mn)	Uygulanamaz
4XXX	Silisyum (Si)	Uygulanamaz
5XXX	Magnezyum (Mg)	Uygulanamaz
6XXX	Magnezyum ve Silisyum	Isıl işlem yapılabilir
7XXX	Çinko (Zn)	Isıl işlem yapılabilir
8XXX	Lityum (Li)	Isıl işlem yapılabilir
<b>Döküm Alüminyum Alaşımları</b>		
<b>Alüminyum Birliği No</b>	<b>Başlıca Alaşım Elementi</b>	<b>Isıl İşlem</b>
1XX.X	Saf Alüminyum (Al)	Uygulanmaz
2XX.X	Bakır (Cu)	Isıl işlem yapılabilir
3XX.X	Silisyum (Si)+Bakır (Cu) ve\veya Magnezyum (Mg)	Isıl işlem yapılabilir
4XX.X	Silisyum (Si)	Isıl işlem yapılabilir
5XX.X	Magnezyum (Mg)	Uygulanmaz
6XX.X	Kullanılmayan Seri	-
7XX.X	Çinko (Zn)	Isıl işlem yapılabilir
8XX.X	Kalay (Sn)	Uygulanmaz



## 5XXX Serisi;

5xxx serisi alaşımlarının ana alaşım elementi magnezyumdur ve ısıl işleme tabi tutulamazlar. Büyük bir alaşım elementi olarak veya manganez ile kullanıldığında, işlenebilir sertleşebilir, orta-yüksek mukavemetli bir alaşım elde edilmektedir. Sertleştirici olarak magnezyum manganezden çok daha etkilidir; yaklaşık olarak % 0.8 Mg, % 1.25 Mn'ye eşittir ve oldukça yüksek miktarlarda ilave edilebilir. Bu serilerdeki alaşımlar iyi kaynak özellikleri ve deniz atmosferlerinde korozyona karşı iyi direnç gösterir [14]. Tablo 2.3'te AA5754 alaşımının kimyasal bileşimi verilmiştir.

**Tablo 2.3.** AA5754 alaşımlı alüminyumun kimyasal bileşimi [15].

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	0,15	Kalan

## 6XXX Serisi;

6xxx serilerindeki alaşımlar silisyum ve magnezyumu, yaklaşık olarak magnezyum silisid ( $Mg_2Si$ ) oluşumu için gereken oranlarda içerirler, böylece ısıl işlem yapılabilir hale getirilirler. Birçoğu 2xxx ve 7xxx alaşımı kadar gcl olmasa da, 6xxx serisi alaşımların orta gte iyi şekillendirilebilirlik, işlenebilirlik, kaynaklanabilirlik ve korozyon direnci vardır. Bu ısı ile işlenebilen gruptaki alaşımlar, T4 (zelti ısısı uygulanmış ancak çökeltme ısıl işlem görmemiş) temperinde oluşturulabilir ve çökeltme ısısı işlemi ile T6 özelliklerini oluşturduktan sonra güçlendirilebilir.

6061 alüminyum alaşımının kullanım alanları; Boru hatları, kamyon parçaları, demiryolu araçları, mobilya, deniz uygulamaları, uçaklar, otomotiv parçaları, tarımsal uygulamalar, mimari uygulamalar, kimyasal ekipman, inşaat ürünleri, boşaltma gövdeleri, elektrik ve elektronik cihazlar dahil olmak üzere geniş bir yelpazede yapısal uygulamalarda kullanılır [14]. Tablo 2.4'te AA6061'in kimyasal bileşimi verilmiştir.

**Tablo 2.4.** AA6061 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi [15].

Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Diğer	Al
0,5	0,6-1,0	0,1	0,2-0,8	0,8-1,2	0,25	0,6-1,1	0,1	0,15	Kalan

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanları Tablo 2.5’te verilmiştir.

**Tablo 2.5.** Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanları [17].

Alüminyum Alaşım Sınıfı	Ürün Formu	Uygulama Alanları
Saf Alüminyum	Folyo, hadde levha, ekstrüzyon ürünleri	Paket, ambalaj ve folyo, çatı kaplama, zırhlama, düşük mukavemetli korozyona dirençli kazan ve tanklar.
2XXX (Al-Cu alaşımları)	Hadde levha ve sac ekstrüzyon ürünleri	Yüksek strese maruz kalan parçalar, uzay ve havacılıkta kullanılan yapısal elemanlar, ağır dövme parçalar, taşıt jantları, silindir kafaları ve pistonlar
3XXX (Al-Mn alaşımları)	Hadde levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri ve dövme parçalar.	Çatı kaplama ve zırhlama, kimyasal madde varilleri ve tankları. Kimyasal madde ve gıda taşıma ekipmanları.
4XXX (Al- Si alaşımları)	Tel ve döküm ürünleri	Kaynak dolgu metalleri, silindir kafaları, motor blokları, supap gövdeleri, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
5XXX (Al-Mg alaşımları)	Hadde, levha ve sac. Extrüzyon ürünleri, dövme ürünleri. İçi boş elemanlar ve borular.	Zırhlama, kazan ana yapı levhaları, güçlü yapı elemanları, yapısal elemanlar, kazanlar ve depolama tankları, otomobil, tren vagonu, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
6XXX (Al-Si-Mg alaşımları)	Hadde, levha ve sac. Extrüzyon ürünleri, dövme ürünleri. İçi boş elemanlar ve borular	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, otomobil, tren vagonu, deniz taşıtları ve deniz üstü yapı elemanları, mimari amaçla kullanılan elemanlar.
7XXX (Al-Mg-Zn alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, uçaklarda kullanılan kalın kesitli dövme parçalar, askeri köprüler, zırh levhaları, ağır taşıt ve vagonlarda kullanılan ekstrüzyon ürünleri.

## 2.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Alüminyum alaşımları kaynaklı ısıl işlemle mekanik özellikleri geliştirilebilir çünkü hafif metallere aittir. Isıl işlem, genellikle metal ve alaşımlarının ısıtılıp soğutulması ve kimyasal bileşimini sabit tutarak alaşımların mevcut mekanik özelliklerinin geliştirilmesini sağlayan işlemler olarak adlandırılmaktadır [19-20].

Isıl işlem genel anlamıyla metalin mekanik özelliklerini, kalıntı gerilme durumunu ya da iç yapısını değiştirmek için uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler ise, genelde çökeltme sertleştirme işlemleri ile sınırlıdır ve malzemenin sertliğini ve mukavemetini

artırmak için uygulanır. Alüminyum alaşımları ikiye ayrılabilir. Bunlar; ısıtıl işlem uygulanabilen alaşımlar ve ısıtıl işlem uygulanamayan alaşımlardır. Isıtıl işlem sonucu sertliğinde ve dayanımında artış göstermeyen alüminyum alaşımları soğuk deformasyon ile sertleştirilebilir [21].

Tablo 2.6’da T temper kodları Tablo 2.7’de ise H temper kodları verilmiştir.

**Tablo 2.6.** T temper kodları [23,24].

Kod	İşlem Basamakları
T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğutma, doğal yaşlandırma
T2	Sıcak şekil verme sonrası soğutma, soğuk şekillendirme, doğal yaşlandırma
T3	Çözeltiyeye alma, soğuk şekillendirme, doğal yaşlandırma
T4	Çözeltiyeye alma, doğal yaşlandırma
T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğutma, yapay yaşlandırma
T6	Çözeltiyeye alma, yapay yaşlandırma
T7	Çözeltiyeye alma, aşırı yaşlandırma
T8	Çözeltiyeye alma, soğuk şekillendirme, yapay yaşlandırma
T9	Çözeltiyeye alma, yapay yaşlandırma, soğuk şekillendirme

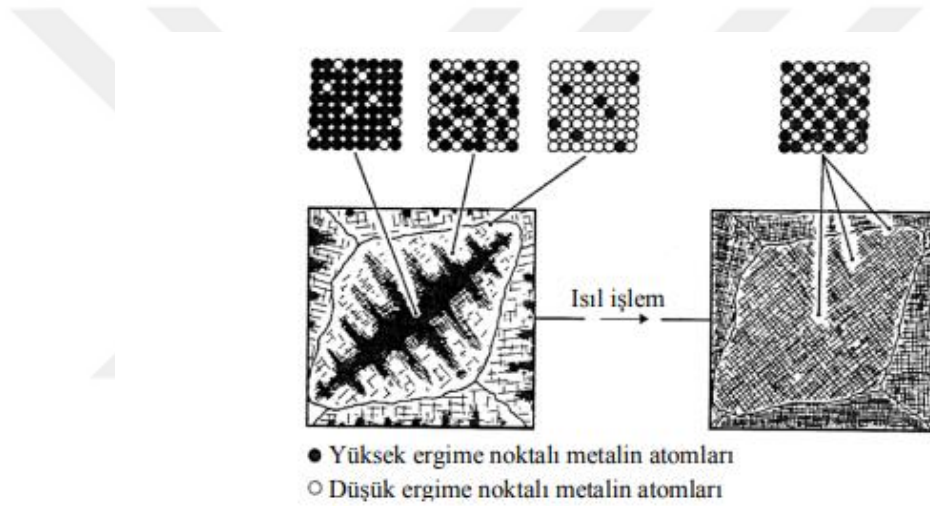
**Tablo 2.7.** H temper kodları [23,24].

Kod	İşlem Basamakları
H1	Deformasyon sertleştirilmesi
H2	Deformasyon sertleştirilmesi, kısmi tavlama
H3	Deformasyon sertleştirilmesi, stabilize etme
H4	Deformasyon sertleştirilmesi, vernikleme ya da boyama

### 2.2.1. Çökeltme Sertleşmesi

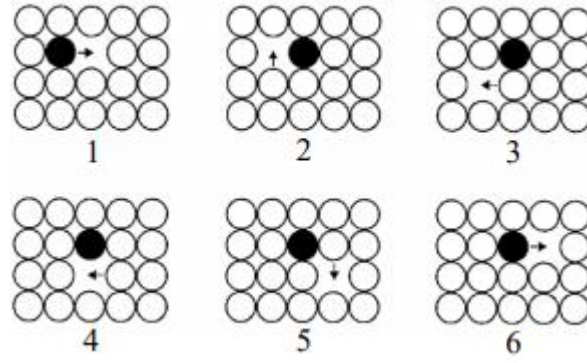
Alman araştırmacı Alfred Wilm 1906 yılında düşük miktarlarda silisyum, magnezyum, ve bakır içeren bazı alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine su verme işleminin etkisini araştırmıştır. Su verilen numunelerin oda sıcaklığında birkaç gün bekletilmesiyle dayanımlarının kendiliğinden arttığını görmüştür. Alaşımların mikroyapısında belirgin bir değişim gözlenemediği için o zamanlar açıklanamayan bu olay sonrasında yaşlandırma olarak adlandırılmıştır [25].

Bazı metaller katılaşma sonrasında da çözülmüş halde kalırlar çünkü sıvı halde iken birbirleri içinde tamamen çözünürler. Bu karışıma katı çözeltiler adı verilir. Katılaşma sırasında kristaller her iki metalin atomlarından oluşur. Metallerden birinin ergime noktası diğerinden daha yüksektir ve bu nedenle daha çabuk katılaşma başlayacaktır. Sonuç olarak katılaşma sonrası oluşan tanelerin merkezleri yüksek ergime sıcaklığına sahip metalle daha zengin olur. Çevresindeki kollar ise düşük ergime sıcaklığına sahip metalle daha zengindir. Bu olay çekirdeklenme olarak adlandırılır. Çekirdeklenme döküm halindeki tüm katı çözeltilerde görülmektedir. Döküm sonrası gerçekleştirilecek ısıl işlemler ile bu etki giderilebilir. Şekil 2.1’de çekirdeklenmiş bir katı çözeltilerde bileşimin farklılık göstermesi görseli verilmiştir [25].



**Şekil 2.1.** Çekirdeklenmiş bir katı çözeltilerde bileşimin farklılık göstermesi [25].

Bir katı çözeltiler yeteri kadar ısıtıldığında, atomlar hareket ederek kristal yapı içerisinde yer değiştirmeye başlar ve yapının bileşimi her yerinde daha homojen bir hale gelir. Bu olay difüzyon olarak adlandırılır ve Şekil 2.2’de gösterilen bir seri hareketle gerçekleşir. Şekilde siyah renkle gösterilen çözülmüş yüksek ergime noktalı metalin atomları ilk olarak kafes yapısında bulunan yanındaki boş atom yerine doğru hareket eder ve sonrasında şekilde gösterilen beş hareket tamamlanarak tekrarlanır [25].



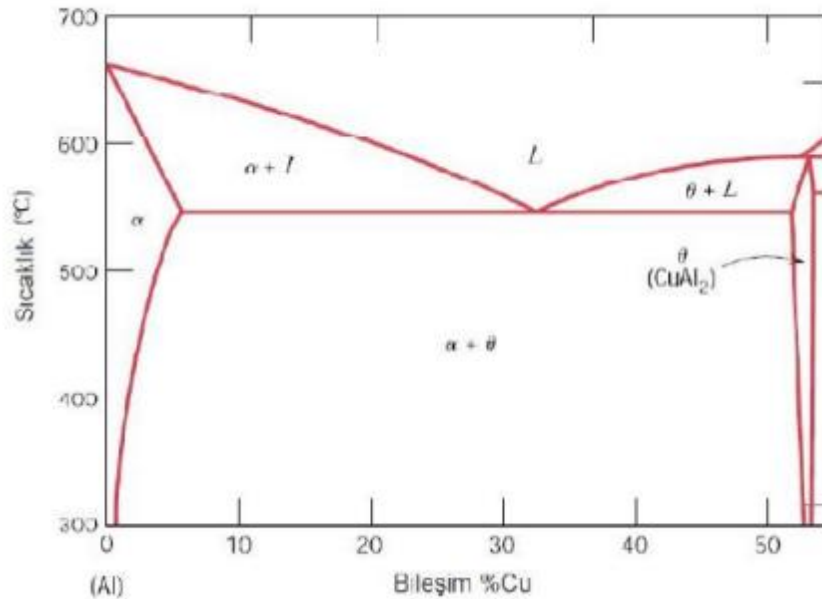
Şekil 2.2. Difüzyon sırasında atomların hareketi [25].

Çökeltme sertleştirilmesi, alüminyum alaşımlarına yumuşak ve daha sünek matriste ince sert çökeltilerin üniform dağılımını sağlamak için uygulanır.

Çökeltme sertleşmesinin gerçekleşebilmesi için iki önemli ön şartı sağlamalıdır. Bunlar:

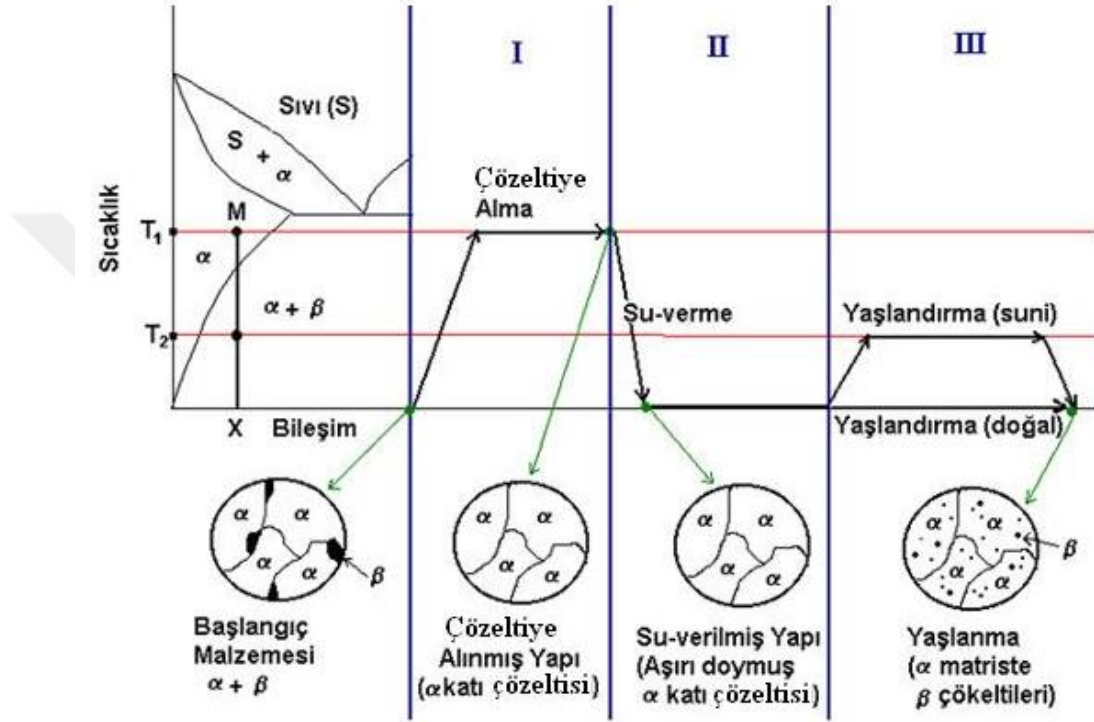
1. Bir elementin diğer element içinde yüzde birkaç oranında çözünebilmesi
2. Ana element içindeki çözünen elementin çözünme sınırının, sıcaklığın düşmesiyle birlikte hızla azalması (solvüs eğrisine sahip olmalıdır.)

Al-%4 Cu alaşımı, çökeltme sertleştirilmesi ile dayanımı artırılabilen alüminyum alaşımlarının klasik bir örneğidir. Alaşımın çökeltmeyle sertleşebilmesi için ana şart alaşım elementinin çözünebilirliğinin azalan sıcaklıkla beraber azalmasıdır. Şekil 2.3'te verilen Al-Cu denge diyagramından da görüldüğü üzere, bakırın çözünmesi sıcaklığın azalması ile beraber azalmaktadır. Çözeltiye alma işleminin arkasından katı eriyik aniden soğutularak aşırı doymuş yapı elde edilir.



Şekil 2.3. Alüminyumun içerisinde bakırın sıcaklığa bağlı olarak çözünebilirliği [27].

Üçüncü aşamada olan yaşlandırma işleminde aşırı doymuş olan yapı içinde ikincil fazın küçük partiküller halinde çökmesi sağlanır. Başlangıçta, çökelti boyutu çok küçük olduğu için çökelti deformasyon anında dislokasyonların hareketini çok az etkileyebilirler, bu nedenle malzemenin sertliğinde önemli bir değişiklik meydana gelmez. Ancak çökeltilerin boyutu arttıkça, dislokasyon hareketleri zorlaşır. Dolayısıyla malzemenin dayanımı da yükselir [26].



**Şekil 2.4.** Çökeltme sertleşmesi sırasında ortaya çıkan mikro yapısal değişimler [27].

Şekil 2.4'te Çökeltme sertleşmesi sırasında meydana gelen mikro yapısal değişimler verilmiştir.

Çökeltme sertleşmesi ısı işlemi üç aşamadan oluşur.

1. Çözeltiye alma: Alaşım tek faz ( $\alpha$ ) bölgesine kadar ısıtılarak  $\theta$  çökeltileri katı çözelti içerisinde homojen olarak çözünene kadar bekletilir.

2. Su verme: Çözeltiye alma işleminden sonra tek fazlı çözelti ikincil fazların çökmesine müsaade edilmeden hızla soğutularak aşırı doymuş  $\alpha$  katı çözeltisi elde edilir. Atomların potansiyel çekirdeklenme yerlerine difüzyonu için yeterli zamanı olmadığından  $\theta$  fazı oluşmaz.

3. Yaşlandırma: Son olarak kararsız haldeki aşırı doymuş  $\alpha$  katı çözültisi, oda sıcaklığında (doğal yaşlandırma) ya da oda sıcaklığının üstünde, solvüs sıcaklığının altında (yapay yaşlandırma) belirli sürelerde bekletilerek içerisinde çözülmüş halde bulunan  $\theta$  fazı kararlı bir faz halinde çökeler [27].

Malzemelerde mukavemet artışı aşağıdaki temel mekanizmaların çalıştırılması ile gerçekleştirilmektedir.

1. Alaşım sertleştirmesi,
2. Çökeltme ve dispersiyon sertleştirmesi,
3. Deformasyon sertleştirmesi,
4. Tane sınırı sertleştirmesi,
5. Deformasyon yaşlanması sertleşmesi,
6. Karma (Composite) malzeme sertleştirmesi
7. Martenzitik dönüşüm sertleştirmesi,
8. Tekstür oluşumu ile sertleşme,
9. Fiber sertleştirmesi,
10. Radyasyon etkisi ile sertleşme [28].

Yaşlandırma ile dayanımı artırılabilen alaşıma su verildiğinde, parçanın merkezi yüzeyden daha yavaş soğumaktadır. Hızlı soğutulmuş yüzey çeker ve halen sıcak, sünek ve yumuşak olan merkeze basma gerilmesi uygulamaktadır. Daha sonra merkez de soğur ve çekilmeye çalışır ancak merkezin çekilmesi soğuk, sağlam yüzey tarafından engellenir. Sonuç olarak merkezde çekme, yüzeyde ise basma şeklinde kalıntı gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler malzemede şekil değiştirme, çarpılma hatta kırılmaya neden olabilir. Bu durumları engellemek için yaşlandırma ile dayanımı artırılabilen alaşımlar gereğinden daha hızlı soğutulmamalıdır [27]. Ancak soğutmanın çok yavaş gerçekleşmesi durumunda çözültiye alma sonrası çözülmüş halde bulunan ikincil fazlar kaba parçacıklar halinde tekrardan çökeler ve malzemenin mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Ayrıca kayma düzlemlerinde ve tane sınırlarında oluşan çökeltiler alaşımın şekil alabilirliğini

azaltır ve taneler arası korozyon dayanımı düşer. Bu nedenle çözeltiliye alma sonrası su verme sıcaklığının tayini önem taşımaktadır [29].





### 3. KAYNAK

Ergime sıcaklıkları aynı veya birbirine yakın iki veya daha fazla metalik malzemenin ısı veya basınçla veya her ikisini birden kullanarak kaynak edilecek malzeme ile yakın ergime sıcaklığında ilave kaynak metali kullanarak ya da kullanmaksızın yapılan bir tür birleştirme veya dolgu işlemine kaynak denir.

Kaynak yöntemlerinin iki temel kategorisi vardır. Bunlar “Eritme Kaynağı” ve “ Katı Hal Kaynağı”dır.

Eritme kaynağı, birleştirilecek iki parçanın ilave metal ilave ederek eritilmesi ile gerçekleştirilir. Katı hal kaynağında ise birleştirmeyi oluşturmak için ısı veya basınç kullanılır.

#### Başlıca Kaynak Yöntemleri;

- Elektrik Ark Kaynağı
- Oksiasetilen Kaynağı
- Gazaltı TIG-WIG Kaynağı
- Plazma Ark Kaynağı
- Gazaltı MIG-MAG Kaynağı
- Tozaltı Kaynağı
- Sürtünme Karıştırma Kaynağı
- Soğuk Metal Transferi Kaynağı

#### 1- Elektrik Ark Kaynağı;

Ergitme enerjisi elektrik ark kaynağında elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır. Örtülü elektrod ark kaynağı olarak da bilinir. Bu kaynak yönteminde ilave metalin bileşimi esas metale yakındır. Isı girdisi bir ark tarafından sağlanır. Elektrod bir doldurma teli çekirdeğinden ve metal oksitlerden oluşan kolay ergiyebilen bir örtüden meydana gelir.

#### 2- Oksiasetilen Kaynağı;

Asetilen ve oksijenin yanması sonucu yüksek sıcaklıktaki alev ile yapılan ergitme kaynağıdır. Alevin yönlendirilmesi bir üfleç yardımı ile yapılır. Gaz ergitme

kaynağı olarak da bilinir. Yakıcı gaz olarak oksijen, yanıcı gaz olarak da genellikle asetilen kullanılır. İnce sacların ve kaynak kabiliyeti düşük olan sacların kaynağında kullanılır.

### 3- Gazaltı TIG/WIG Kaynağı;

Erimeyen bir Tungsten elektrod ve inert gaz kullanılarak gerçekleştirilen kaynak yöntemidir. Avrupada WIG kaynağı olarak da bilinir. Yaygın olarak alüminyum ve palanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır. TIG kaynağı hem manuel hem de otomatik kaynak sistemleri ile uygulanabilir. Bu kaynak yönteminde elektrod tükenmez. Böylece kaynak ilave kaynak metali kullanılarak veya ana metalin ergitilmesi ile gerçekleştirilir.

### 4- Plazma Ark Kaynağı;

Plazma iyon ve elektrolardan oluşan maddenin özel bir halidir. Bu kaynak yönteminde plazma torcu tungsten bir elektrottan oluşur. Ark oluşuktan sonra iyonize olmuş plazma gazı torc deliğinden püskürtülür. Ark kaynağına göre nufüziyet daha iyidir. Dikiş kalitesi mükemmeldir. Ekipman maliyeti yüksektir.

### 5- Gazaltı MIG\MAG Kaynağı;

Ark bu yöntemde koruyucu bir gaz atmosferi altındadır. Elektrot çıplak bir eriyen metal teldir. Tel kaynak torcuna sürekli olarak beslenir. Kullanılan gazın niteliğine göre yöntem MIG veya MAG kaynağı olarak adlandırılır. Asal gazlar kullanılırsa ( Argon veya Helyum) MIG kaynağı, aktif gazlar (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> veya bunların karışımları) kullanılırsa MAG kaynağı olarak adlandırılır.

### 6- Tozaltı Kaynağı;

Kaynak için gerekli olan ısının tükenen elektrot ile iş parçası arasında meydana gelen ark sayesinde ortaya çıkan bir ark kaynak yöntemidir. Ark bölgesini kaynak tozu tabakası korur. Tozaltı ark kaynağı yapısal çelik profillerin imalatında, Büyük çaplı boruların dikişlerinde kullanılır. Demirdışı metallere uygun değildir.

### 7- Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK);

Bu yöntem ısıdan faydalanarak uygulanan bir katı hal tekniğidir. Çalışma parçalarının ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan mekanik enerjinin ısı

enerjisine dönüşmesi ile elde edilir. Bir birine basınç ile sürtünen parçaların bu süreci plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar sürer.

#### 8-Soğuk Metal Transferi Kaynağı (CMT);

Soğuk metal transferi kaynağında bir tel elektrod sürme sistemi mevcuttur. Bu sistem ark boyunun metal transferi miktarının ve ısı girişi miktarının kontrolü için yüksek hızlı dijital kontrol sistemine entegre edilmiştir. Soğuk metal transferi tüm ince levhaların kaynağında, görsel açıdan en yüksek kalitenin söz konusu olması gereken kaynak uygulamalarında boru hattı uygulamalarında otomotiv ve yan sanayinde geniş uygulama alanı mevcuttur [30].

Alüminyum alaşımlarının dayanıklı ve hafif oluşları daha ince profillerin kullanımına imkân sağlamaktadır. Bu nedenle, imal edilecek konstrüksiyonda ağırlık artışına müsaade etmeyecek biçimde alüminyum alaşımı ince levhaların kaynakla birleştirilmesi büyük bir öneme sahiptir [31, 32].

Alüminyumun sahip olduğu bazı özellikler ark kaynağı yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyetini azaltmaktadır. Bu özellikler, alaşım yüzeyinde yüksek ergime sıcaklığına ve yalıtkanlığa sahip oksit tabakasının bulunması, sıcak yırtılma riski, yüksek termal genişleme katsayısı nedeni ile kaynak dikisinde çarpılma ve çatlak oluşumu, yüksek ısı iletkenlik ve yüksek iç gerilmelerin oluşumu olarak verilebilir [33]. Bu özellikler nedeniyle alüminyum alaşımlarının kaynağını ergitme kaynağı yöntemleri ile gerçekleştirmek zordur. Günümüzde, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımı birleştirmeleri elde etmek için sürtünme karıştırma kaynağı ve difüzyon kaynağı gibi katı hal kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır [34, 35]. Ancak, katı-hal kaynak yöntemlerinin özel konstrüktif birleştirmelerdeki düşük uygulanabilirliği ve yöntemlerin esnek olmayışı, buna ek olarak difüzyon kaynağı için vakum sistemine ihtiyaç duyulması, yöntemlerin kullanımlarını engellemektedir [34]. Uygulama yönteminin kolay olmasından kaynaklı olarak konvansiyonel TIG (tungsten inert gaz) ve MIG (metal inert gaz) kaynağı alüminyum alaşımlarının kaynağında çoklukla kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerle ince levhaların birleştirilmesinde nüfuziyetin kontrol edilememesi levhaların delinmesine ya da uygun birleştirmenin elde edilememesine neden olmaktadır [36]. Bu nedenle, özellikle ince levhaların kaynağında ısı girişi daha düşük olarak kaynak işlemi yapılmaya çalışılmaktadır.

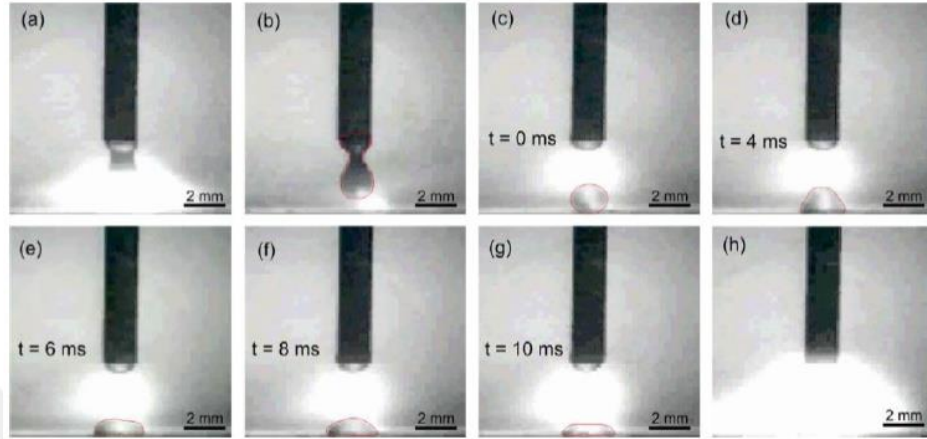
Kaynaklı imalatta ısı girdisinin azaltılması her zaman için ilgi gören araştırma alanı olmuştur [37, 38]. Günümüzde bu amacı sağlayabilecek MIG kaynak yöntemine entegre edilmiş CMT (Cold Metal Transfer), Darbeli-CMT, Geliştirilmiş CMT, Geliştirilmiş Darbeli-CMT, Dinamik-CMT vb. gibi "soğuk" ark kaynağı yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler, ergimiş malzemenin transferinin optimizasyonu ile ısı girdiyi azaltan güç kaynağı regülasyonu, kısa devre, kutuplamanın kontrolü ve tel hareketinin ayarlanması gibi çeşitli temel prensiplere dayanmaktadır [39, 33]. Düşük ısı girdi ile kaynak işlemi özellikle otomotiv, uzay ve uçak gibi büyük sanayi dallarında uygulama alanı bulan farklı metallerin birbiri ile ve çok ince levhaların kaynakları gibi zor olan kaynak işlemlerini mümkün kılmaktadır.

### **3.1. Cold Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi) Yöntemi**

2004 yılında Fronius tarafından geliştirilen soğuk kaynak prosesi (CMT) kaynak ekipmanı ve uygulaması anlamında kaynak teknolojisine yenilik getiren bir uygulamadır. Geleneksel MIG/MAG kaynağına göre soğuk olan proses düşük ısı girdisi sayesinde diğer yöntemler ile kaynak edilmesi zor olan demir dışı metallerin kaynağı mümkün olmaktadır. Sürekli bir ısı girdisine karşı bazı metallerin kaynağında uygulamada kaynak banyosunda sıçranta, yetersiz kaynak bağlantısı ve çukurlaşma gibi hatalardan kaçınmak için düşük sıcaklıklar gerekmektedir. Buna karşın CMT yönteminin düşük ısı girdisi sağlaması ile bu tür sorunlardan kaçınmak mümkündür. MIG/MAG yöntemi ile karşılaştırıldığında yöntem soğuk bir yöntemdir [40].

CMT yöntemine ısı girdisinin çok düşük olan bir gazaltı kaynak yöntemi denebilir. Enerji girdisi %30 oranında CMT kaynağı ile azaltılmıştır. Bu durum ise kaynakta düşük çarpılma ve yüksek hassasiyet kazandırır [40]. CMT kaynak işleminde, ark boyunun, metal transferi miktarının ve ısı girdi miktarının kontrolü için yüksek hızlı dijital kontrol sistemine entegre edilmiş bir tel elektrod sürme sistemi mevcuttur. Konvansiyonel MIG/MAG kaynağında kaynakta kısa devre oluşana kadar tel elektrod sürülmeye devam eder. Kısa devre oluşup kaynak akımı çok yükseldiğinde ise, kaynak bölgesine yüksek ısı girdi gerçekleşir ve bu nedenle de sıçramalar meydana gelir. CMT kaynağında ise metal transferi sırasında gerçekleşen her kısa devrede, dijital kontrol sistemi kaynak akımını düşürür ve tel

elektrodun geri çekilmesini kontrol eder. [33]. Tel elektrodun geri çekilme hareketi kısa devre süresince damla geçişine yardım eder. Böylece, elektromanyetik kuvvetin yardımı olmadan, metal kaynak banyosuna transfer edilir Şekil 3.1'de CMT kaynağının aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. CMT kaynağı aşamaları [36].

Bu şekilde kaynak bölgesindeki ısıl girdi büyük ölçüde azaltılmış olur [36]. Damla transferinden sonra ark yeniden ateşlenir ve tel elektrod tekrar ileri sürülür böylece döngü tekrar başlar.

Geleneksel MIG/MAG yöntemi ile CMT yöntemini birbirinden ayıran üç temel özellik vardır. Bunlardan ilki, entegre tel hareketidir yani tel beslemesi doğrudan kaynak yönteminin içindedir. Dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılar ve teli saniyede 90 defaya kadar geri çekerek damlacık transferine yardımcı olur. Geleneksel yöntemlerde tel besleme hızı sabittir ya da önceden belirlenen zaman cetveline göre değişmektedir. CMT yönteminde ise tel besleme hızı ve yönü kısa devrenin oluşumu ve açık hale gelmesi ile kontrol edilir. Tel hareketi için önceden ayarlanmış bir zaman çizelgesi bulunmamaktadır. Bu yöntemde tel hareketi ile kaynak havuzu arasında doğrudan bir etkileşim olduğu görülmektedir. Bundan dolayı tel hareketi tam olarak kısa devrenin oluşumuna bağlı olduğu için telin ortalama osilasyon frekansı üzerinde durulmaktadır [40].

CMT yönteminin ikinci karakteristik özelliği ise, metal transferinin akımdan bağımsız olmasıdır. Bu durum geleneksel yöntemlerde akıma bağlıdır. CMT yönteminde akımın kısa devreyi açık hale getirmekle herhangi bir ilgisi bulunmamaktadır. Metal transferinin oluşması telin geri çekilmesi ve kaynak

banyosunun yüzey gerilim ile gerçekleşir. Bundan dolayı kısa devre akımı düşük tutulur ve bunun beraberinde metale daha düşük ısı girdisi sağlanır. Son olarak tel hareketi metal transferini yukarıda anlatıldığı şekilde destekleyen CMT yönteminin karakteristik özelliğidir [40].



## 4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Soğuk Kaynak Transferi (CMT) Kaynağı Uygulaması

2 mm kalınlığındaki bir tarafı AA6061 ve diğer tarafı AA5754 numunelerine Soğuk Metal Transferi Kaynağı (CMT) öncesi kaynağın doğru ve kusursuz yapılabilmesi için TIG kaynağı ile punta atılıp sabitlenmiştir. Ardından CMT kaynağı ile birleştirilmiştir. Numuneler, yapılan kaynak işlemi ve ısı girdisine göre isimlendirilmiştir. CMT-1128, CMT-1107, CMT-0717, CMT-1207 ve CMT0806 no'lu isimler verilmiştir. Numunelerin kaynak parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Kaynak parametreleri

Numuneler	Akım (I)	Voltaj (V)	Hız (mm/dk)	Isı Girdisi (kj/mm)
CMT-1128	87	12	500	0,01128
CMT-1107	104	13,8	700	0,01107
CMT-0717	103	12,9	1000	0,00717
CMT-1207	111	14,1	700	0,01207
CMT-0806	114	14,4	1000	0,00886

### 4.2. Çözeltiye Alma ve Yaşlandırma Isıl İşlemi

CMT ile birleştirilen numunelerden test numuneleri hazırlanmış ve görselleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



a)



b)



c)



d)



e)

**Şekil 4.1.** a) CMT-0806 no'lu numune b) CMT-1207 no'lu numune c) CMT-0717 no'lu numune d) CMT-1107 no'lu numune e) CMT-0886 no'lu numune

Numuneler öncelikle 1,5 saat 530 °C sıcaklığında Protherm PLF 120\12 marka fırında çözeltilme işlemi uygulanmış ardından su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2'de numunelere 530 °C' de çözeltilme işleminin yapıldığı fırının görseli verilmiştir.



**Şekil 4.2.** 530 °C' de çözeltilme işleminin yapıldığı fırın



Suda su verme işleminden sonra numuneler Nüve FN400 marka etüvde 160 °C’ de 18 saat yaşlandırılmıştır. Şekil 4.3’ te yaşlandırma işleminin yapılışı sırasında numunelerin etüvdeki görselleri verilmiştir.



**Şekil 4.3.** CMT ile birleştirilmiş numunelerin 160 °C’de 18 saat yaşlandırma ısı işlemi

### 4.3. Metalografik İnceleme

Metalografik incelemede numuneler kesme cihazında kesilerek SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) için uygun boyutlara getirilmiştir. Daha sonra Şekil 4.4’te verilen Metkon Forcilop 2V marka zımparalama ve parlatma cihazında zımpara tane numarası 320-400-600-800 ve 1200 olan zımparalar ile sırası ile zımparalanmış, keçe ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> solüsyonu kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.4.** Zımparalama ve parlatma cihazı

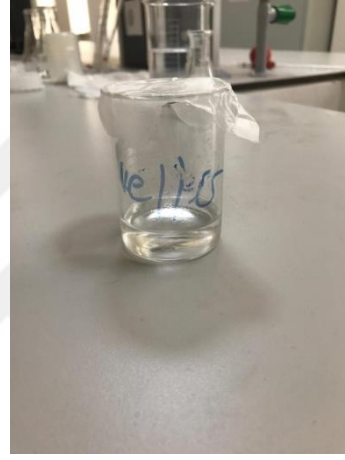
#### 4.4.Mikroyapı İncelemesi

Numunelerin mikroyapısını optik mikroskopta incelemek için her bir numunenin AA 5754 kısmı Şekil 4.5-a' da görseli verilen Weck's çözeltisi ile AA6061 kısmı Şekil 4.5-b' de görseli verilen Keller Çözeltisi ile dağlanmıştır.

Ardından numunelerin mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Bu deney Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde Nikon Eclipse LV150 N cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskobun görseli de Şekil 4.6'da verilmektedir.

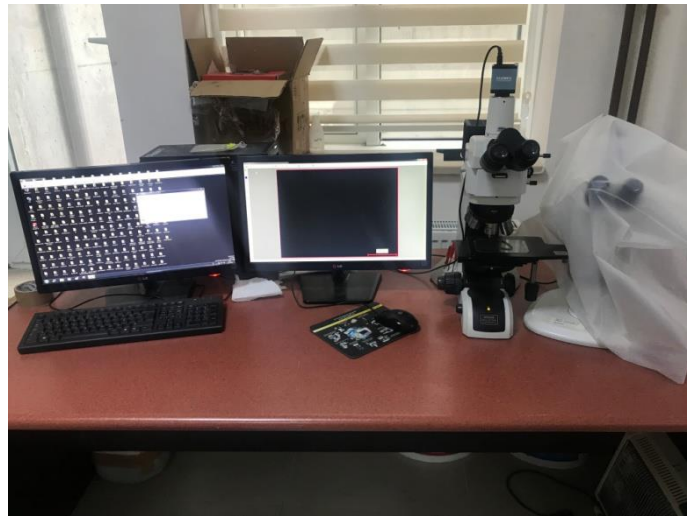


a)



b)

Şekil 4.5. a) Weck's çözeltisi b) Keller çözeltisi



Şekil 4.6. Nikon Eclipse LV150 N marka optik mikroskop

#### 4.5. Mikrosertlik

Mikroyapı görüntüleri alındıktan sonra, numuneler mikrosertlik deneyine tabi tutulmuştur. Future-Tech FM-700 mikrosertlik cihazı ile numunelere 10 saniye boyunca 100 g yük uygulanarak mikrosertlik deneyi yapılmıştır. Sertlik deneyi yapılan cihazın görseli Şekil 4.7' de verilmiştir.

Her numunenin kaynak bölgesinden, AA5754 tarafından ve AA6061 tarafından 5'er adet mikrosertlik alınmıştır.



Şekil 4.7. Future-Tech FM-700 mikrosertlik cihazı

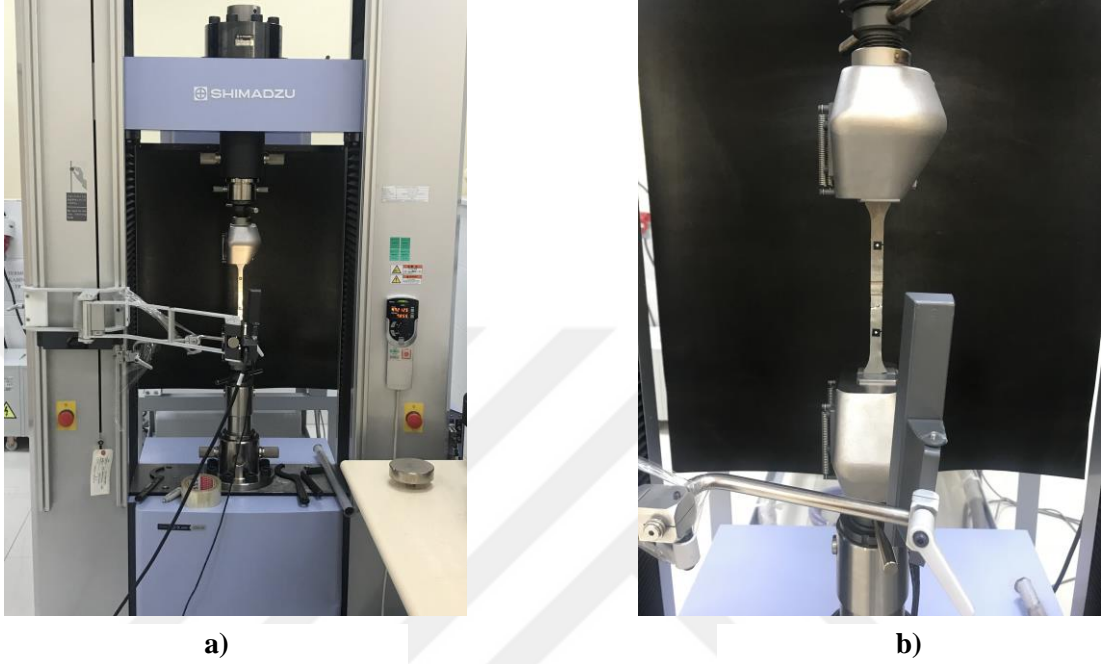
#### 4.6. Çekme Testi

Isıl işlem uygulanan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Kalınlığı 2 mm genişliği 12 mm çekme deneyi numuneleri Şekil 4.8' de verilmiştir.



Şekil 4.8. Yaşlandırma işlemi uygulanmış çekme deneyi numuneleri

Numunelere Manisa Celal Bayar Üniversitesi Deneysel Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezinde Shimadzu AG-X plus 250 kN cihazı ile 1mm/dk deformasyon hızıyla çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyinin uygulanışı Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Çekme deneyinin uygulanışı

#### 4.7. SEM-EDS

Numune yüzeyleri parlatıldıktan sonra, Katip Çelebi Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında SEM (aramalı elektron mikroskopi) kullanılarak görüntüleri alınmıştır.

Öncelikle hazırlanan numuneler vakum ortamına koyulması için hazırlık yapılmış ve numune tablasına Şekil 4.10'daki gibi yerleştirilmiştir.



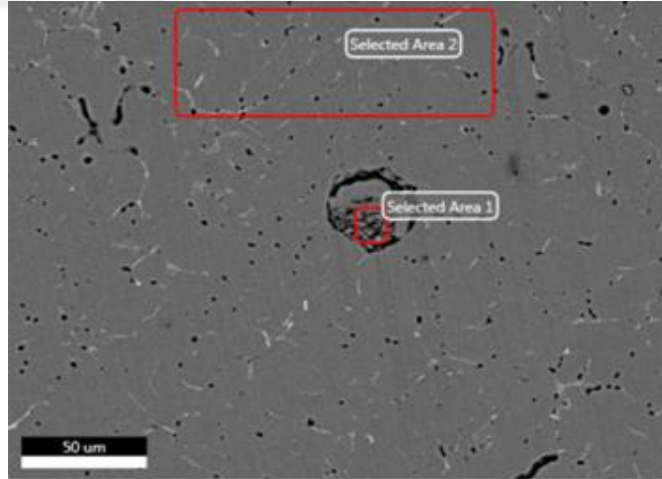
Şekil 4.10. Numunelerin SEM için hazırlanması

Numuneler SEM cihazında vakum ortamına koyulduktan sonra Şekil 4.11’de görseli verilen Zeiss Gemini Sigma 300 VP marka cihazla görüntüler alınmıştır.



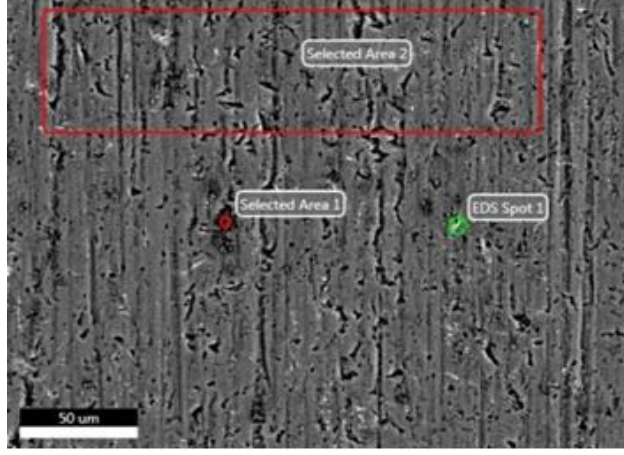
**Şekil 4.11.** SEM cihazı

SEM görüntüleri ardından CMT-0886 nolu numunemimizin ITAB bölgesine EDS analizi yapılmıştır. Şekil 4.12’de CMT-0886 no’lu numunenin ITAB bölgesinde EDS analizi yapılan alanlar gösterilmiştir.



**Şekil 4.12.** CMT-0886 no’lu numunenin ITAB bölgesinde EDS analizi yapılan alanlar

CMT-0717 no’lu numunenin ITAB bölgesine EDS analizi yapılmıştır. Şekil 4.13’te CMT-0717 no’lu numunenin ITAB bölgesinde EDS analizi yapılan alanlar gösterilmiştir.



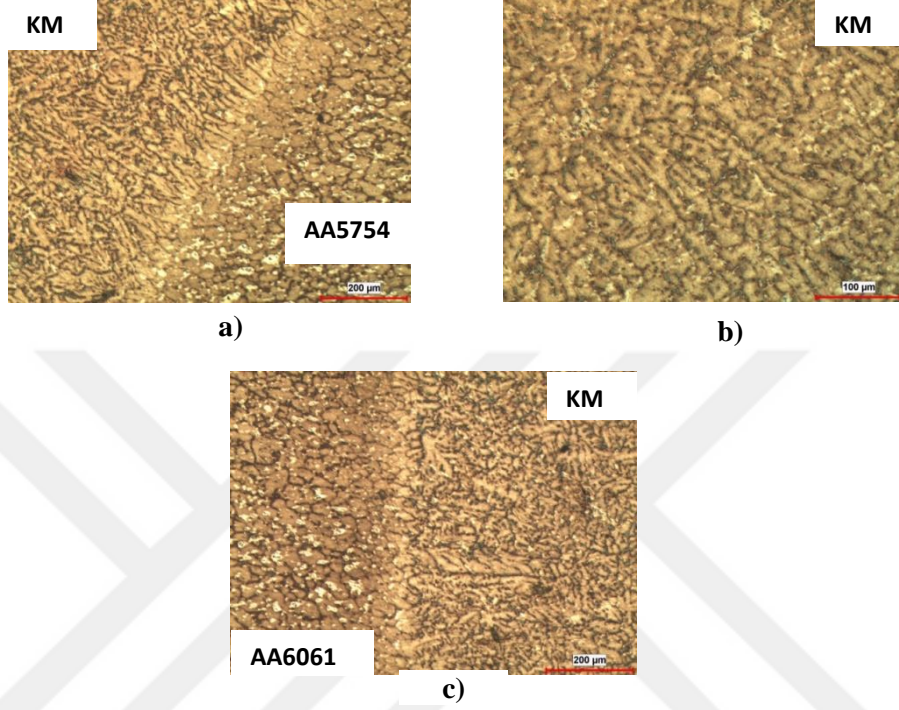
**Şekil 4.13.** CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesinde EDS analizi yapılan alanlar



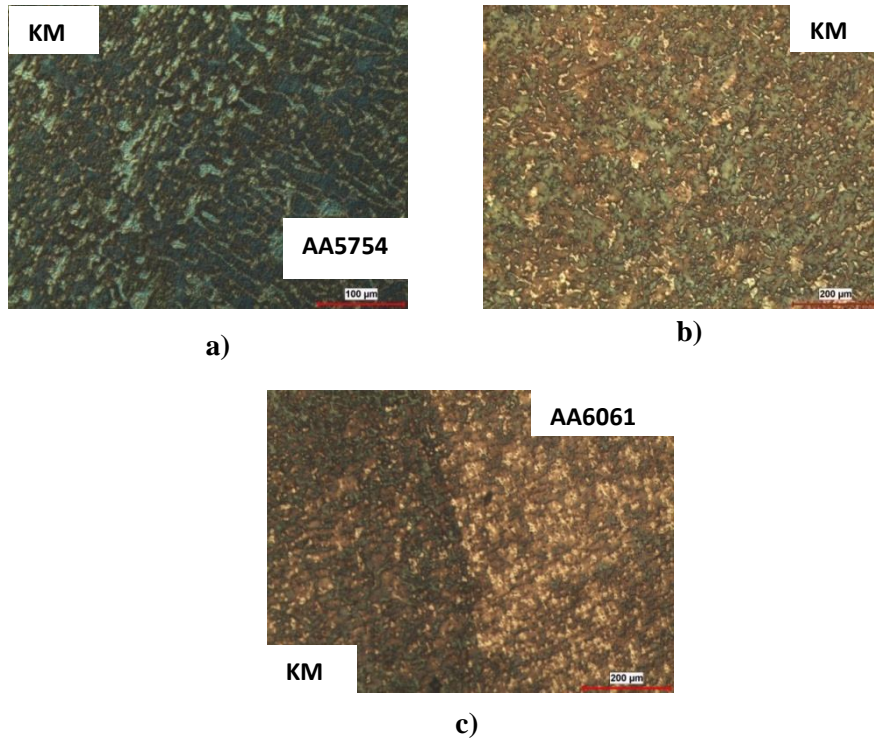
## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Mikroyapı sonuçlarına göre;

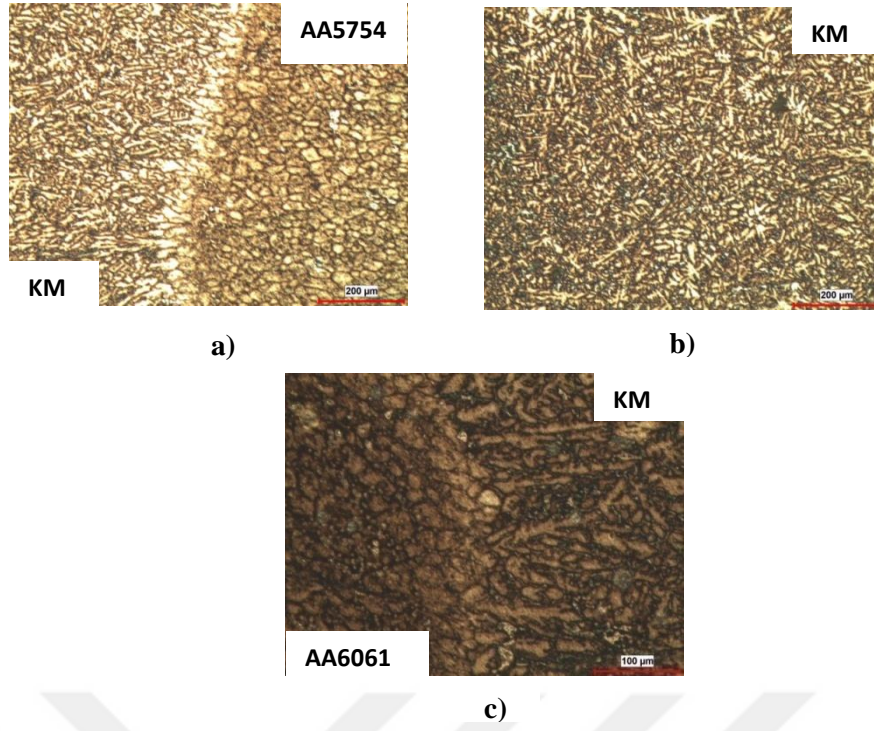
Mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.1 -5.5' te verilmiştir.



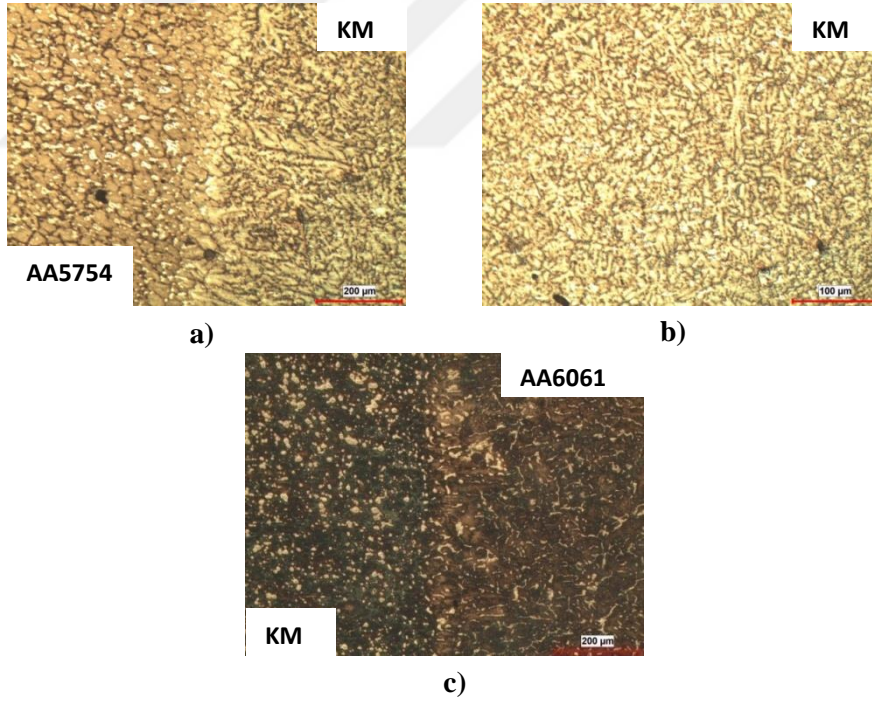
**Şekil 5.1.** a) CMT-1128 no'lu numunenin AA5754 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-1128 no'lu numunenin 200X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT-1128 no'lu numunenin AA6061 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi



**Şekil 5.2.** a) CMT-1107 no'lu numunenin AA5754 kısmı 200X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-1107 no'lu numunenin 100X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT-1107 no'lu numunenin AA6061 kısmı 100x büyütmedeki ITAB bölgesi

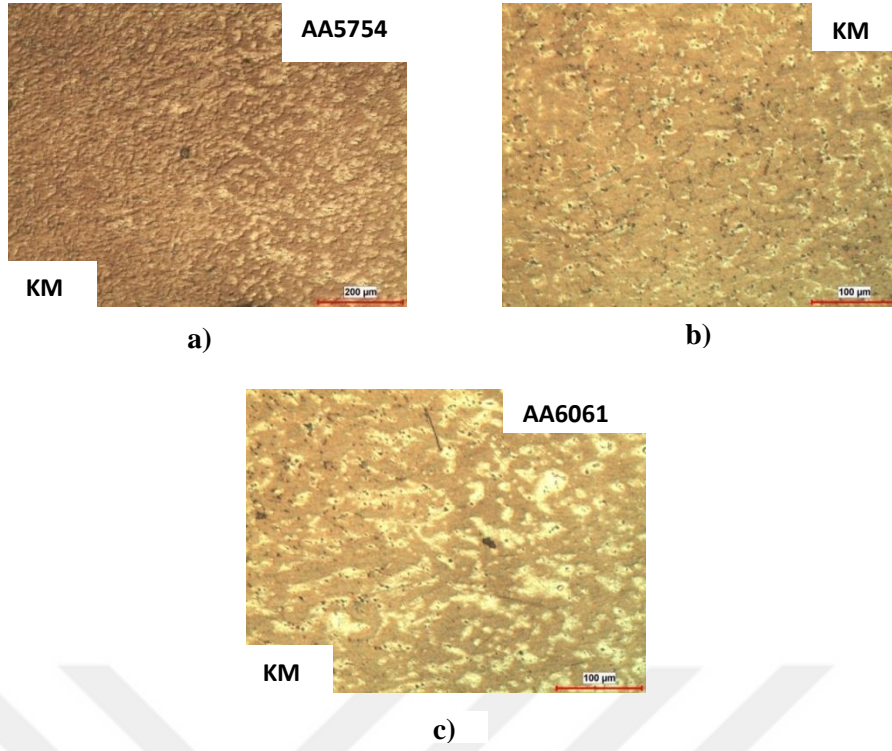


**Şekil 5.3.** a) CMT-0717 no'lu numunenin AA5754 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-0717 no'lu numunenin 100X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT-0717 no'lu numunenin AA6061 kısmı 200X büyütmedeki ITAB bölgesi



**Şekil 5.4.** a) CMT-1207 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-1207 no'lu numunenin 100X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT-1207 no'lu numunenin AA6061 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi





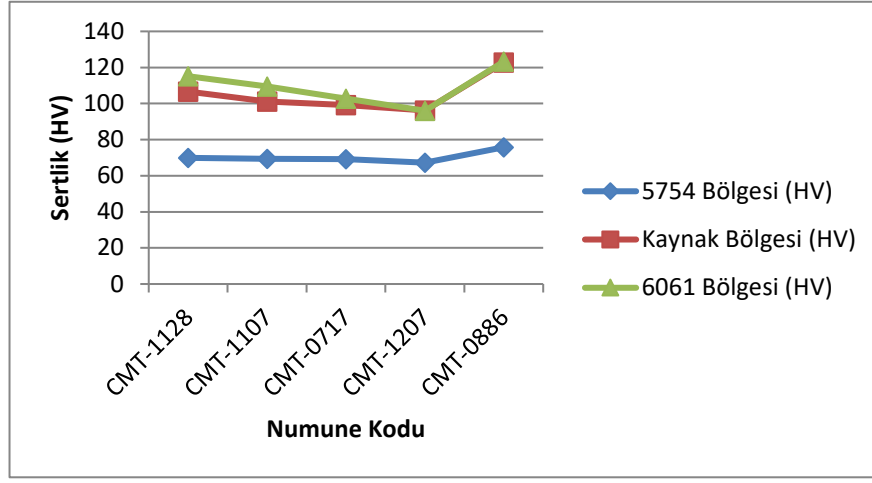
**Şekil 5.5.** a) CMT-0886 no'lu numunenin AA5754 kısmı 100X büyütmedeki ITAB bölgesi b) CMT-0886 no'lu numunenin 200X büyütmedeki kaynak bölgesi c) CMT-0886 no'lu numunenin AA6061 kısmı 200X büyütmedeki ITAB bölgesi

Soğuk metal transferi kaynağı (CMT) ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgelerindeki tane yapıları incelendiğinde tane irileşmesi gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ısı girdisi arttıkça tane kabalaşması meydana gelmiştir. Benzer sonuçları Durmuş H.,Yüksel N. (2017) Soğuk metal transferi ile birleştirilen AA5754 alaşımı ince sacların korozyon davranışını incelemiştir sonuç olarak tane yapılarında irileşme olduğunu gözlemlemiştir.

Kahraman F. ve ark. (2018)soğuk metal transfer (CMT) ve darbeli soğuk metal transfer kaynak işlemleri ile birleştirilmiş AA5754 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak İncelemiştir ve mikroyapı sonuçlarında ısı girdisi arttıkça tanelerde irileşme olduğunu gözlemlemiştir.

Mikrosertlik deney sonuçlarına göre;

Her numunenin kaynak bölgesinden, AA5754 tarafından ve AA6061 tarafından 5'er adet mikrosertlik alınmıştır. Sertlik değerlerinin ortalaması Şekil 5.6'da verilmiştir.



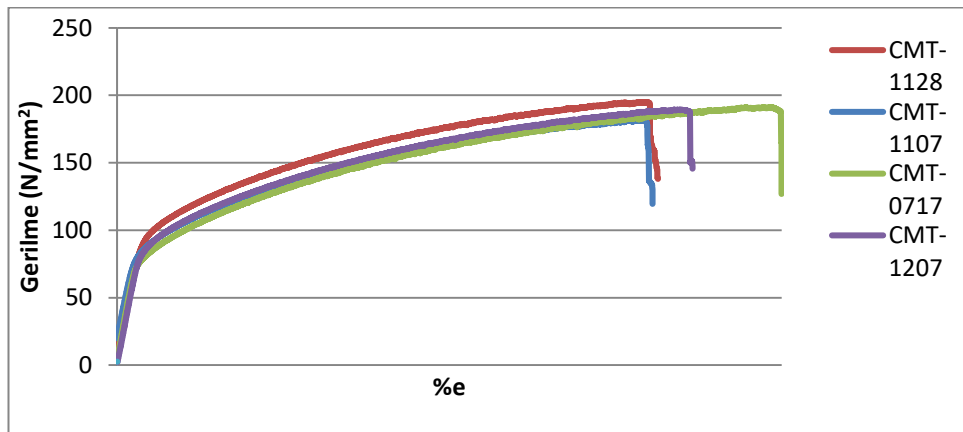
**Şekil 5.6.** Mikrosertlik değerleri ortalaması

Isı girdisi arttıkça iç gerilme ve soğuma hızı düşer böylece sertlik de düşer. Isı girdisi en yüksek olan CMT-1207 no'lu numunenin en düşük sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir.

Ozsarac U. ve [41] diğerleri Farklı Gaz Basınçları Kullanılarak Soğuk Metal Transferi (CMT) ile Birleştirilmiş Alüminyum 6082-T6 Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelemiş sonucunda 6082-T6 ile CMT kaynaklı bölgenin sertlik değerlerini birbirine yakın çıktığını gözlemlemiştir. Çalışmamızda ise benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Çekme Deneyinden elde edilen sonuçlara göre;

Çekme deneyi sonucunda elde edilen Gerilme - %e grafiği Şekil 5.7'de verilmiştir.

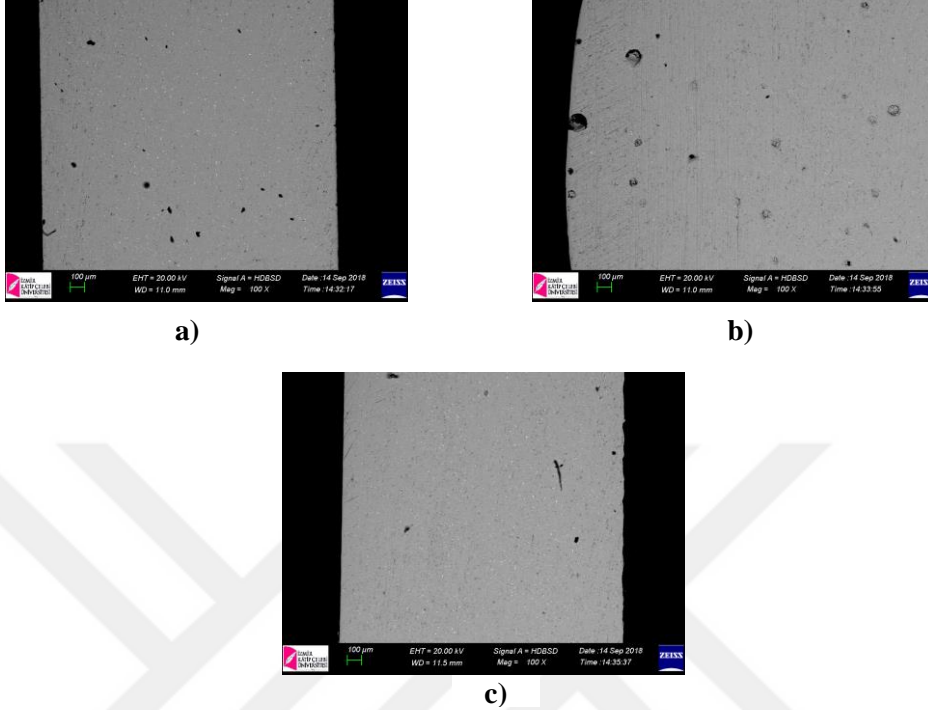


**Şekil 5.7.** Gerilme - %e grafiği

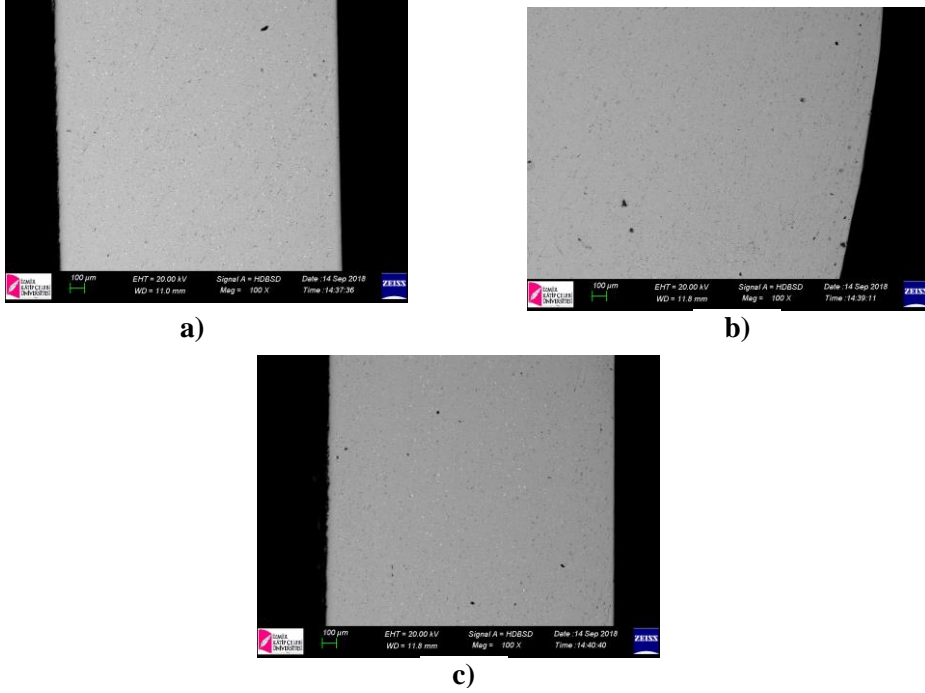
Isı girdisi arttıkça sertlik düşer. Çekme deneyi sonucunda da ısı girdisi arttıkça maksimum çekme gerilmesi düşer. CMT-1207 no'lu numune en yüksek ısı girdisine sahip olmasına karşın düşük çekme gerilmesine sahiptir.

SEM-EDS sonuçlarına göre;

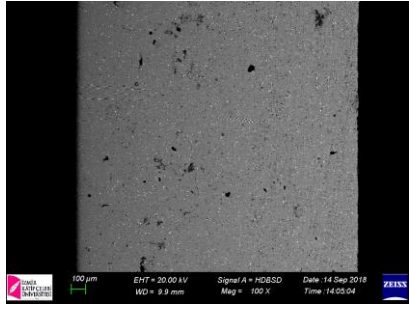
SEM görüntüleri Şekil 5.8 – 5.12’de verilmiştir.



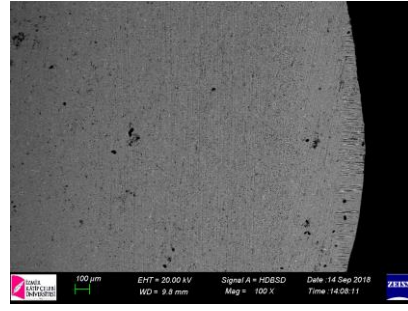
**Şekil 5.8.** a) CMT-1128no'lu AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-1128no'lu numunenin Kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-1128no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM



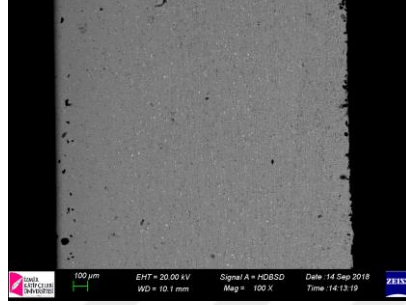
**Şekil 5.9.** a) CMT-1107 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-1107 no'lu numunenin kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-1107 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM görüntüsü



a)

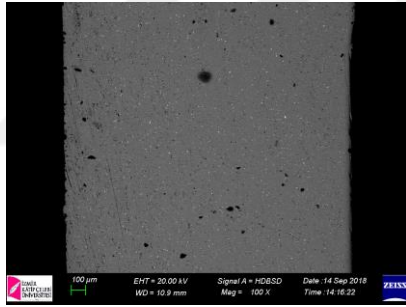


b)

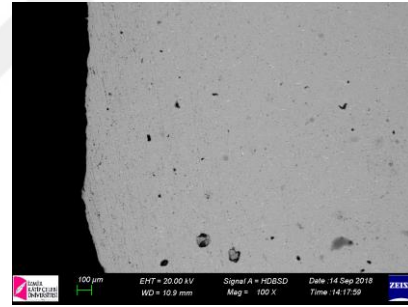


c)

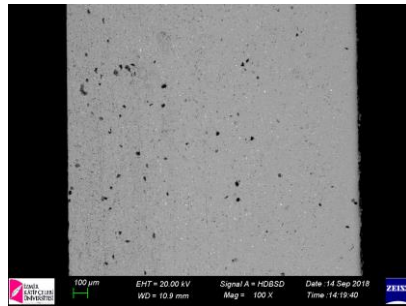
**Şekil 5.10.** a) CMT-0717 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-0717 no'lu numunenin kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-0717 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki



a)

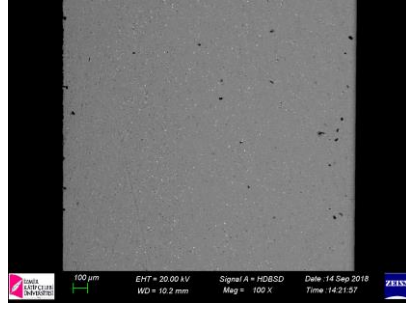


b)

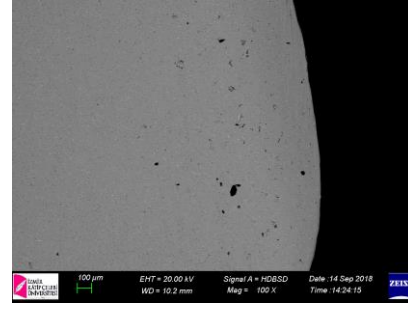


c)

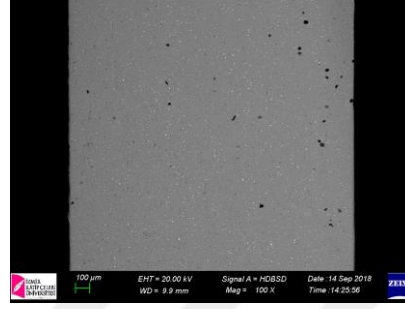
**Şekil 5.11.** a) CMT-1207 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-1207 no'lu numunenin kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-1207 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki



a)



b)



c)

**Şekil 5.** a) CMT-0886 no'lu numunenin AA5754 100X büyütmedeki SEM görüntüsü b) CMT-0886 no'lu numunenin kaynak bölgesinin 100X büyütmedeki SEM görüntüsü c) CMT-0886 no'lu numunenin AA6061 100X büyütmedeki SEM görüntüsü

Her numunenin AA5754 kısımlarında magnezyum (Mg) ve silisyum (Si) çözeltilerinin, AA6061 kısımlarında ise çokça silisyum (Si) çökeldiği gözlemlenmiştir.

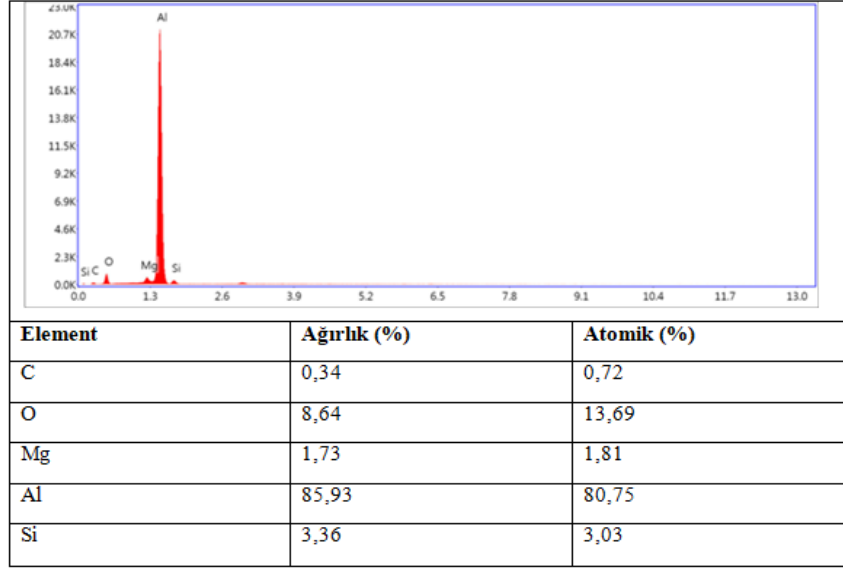
CMT-0717 no'lu numunede ısı girdisi düşüktür, böylece katılaşma hızı artar ve bunun sonucunda kaynak işleminde meydana gelen gazlar dışarıya çıkmadan katılaşma tamamlanmış ve daha iri çaplarda gaz boşluğuna neden olmuştur.

Baoqiang ve diğ. [42] CMT işlemiyle yapılan numunelerde çok sayıda gözenek gözlenmiştir. Katılaşma sırasında, küçük gözenekler yüzdüğünü ve daha büyük olanlar ile birleştiğini tespit etmiştir.

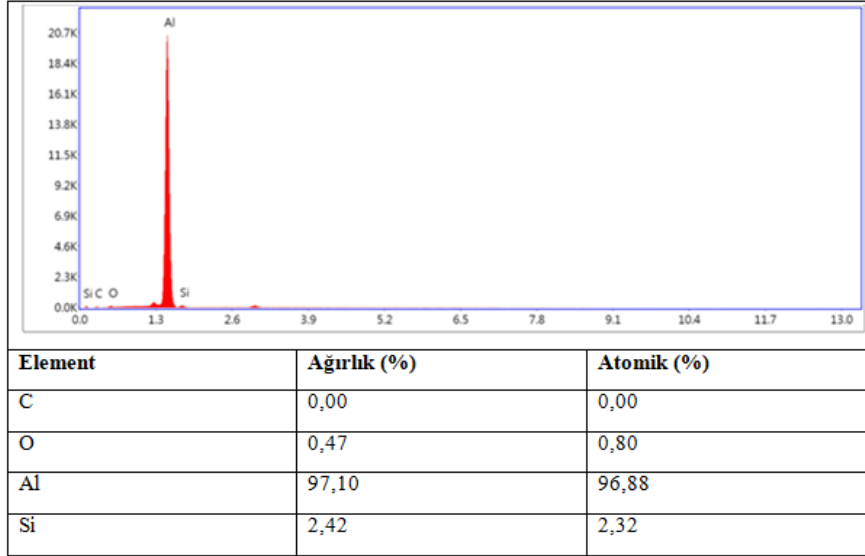
Aynı zamanda EDS analizinde CMT-0886 ve CMT-0717 no'lu numunelerin kaynak bölgeleri incelenmiştir.

CMT-0886 no'lu numunenin 1. Alan ve 2. Alan için EDS analizi sonuçları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2' de verilmiştir.

**Tablo 5.1** CMT-0886 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 1. alanın EDS analizi

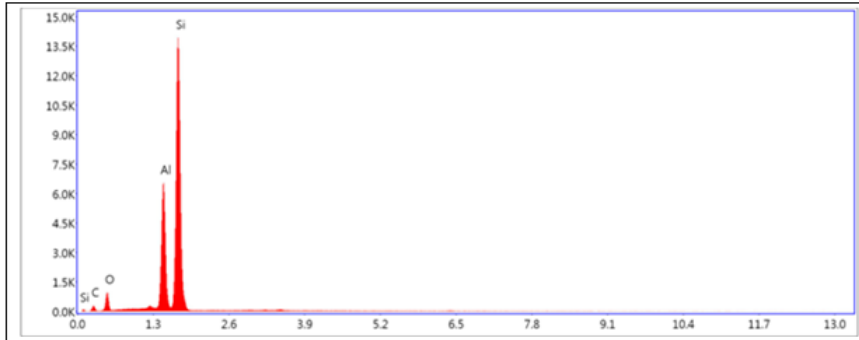


**Tablo 5.2.** CMT-0886 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 2. alanın EDS analizi



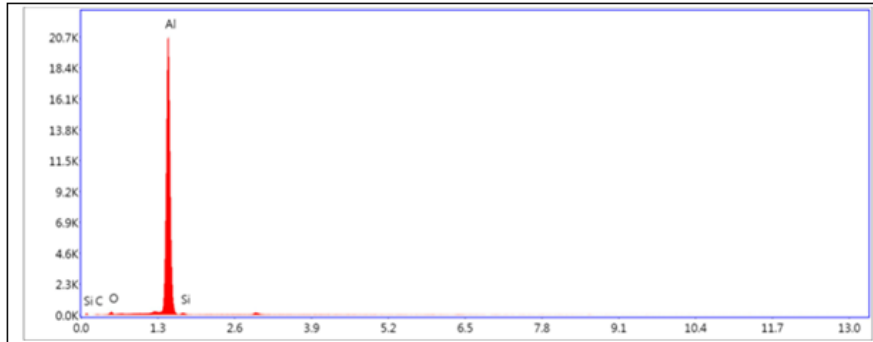
CMT-0717 nolu numunedeki 1. Alan ve 1. Nokta ve 2. Alan için EDS analizi sonuçları Tablo 5.3, 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

**Tablo 5.3.** CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 1. alanın EDS analizi



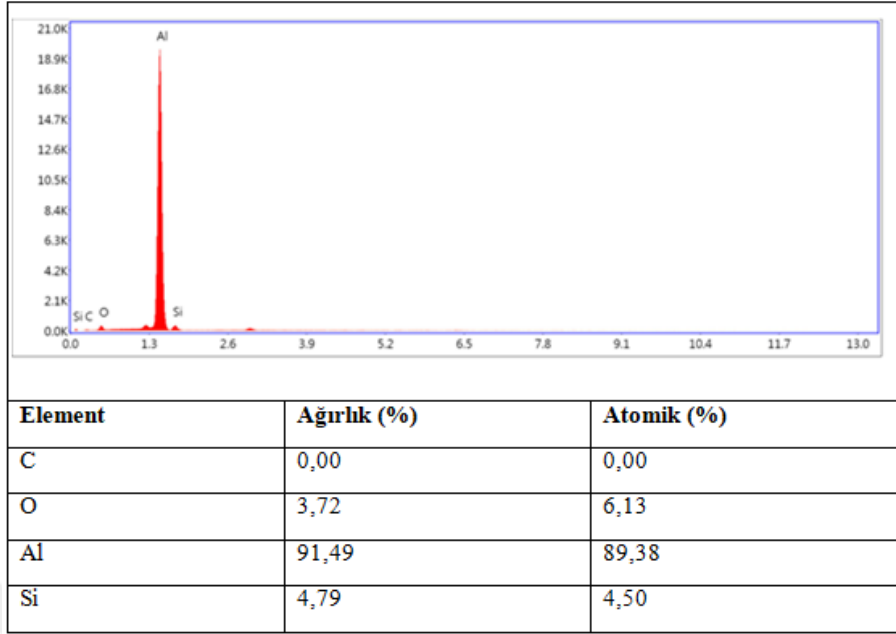
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
C	7,11	14,07
O	10,35	15,36
Al	21,37	18,82
Si	61,17	51,74

**Tablo 5.4.** CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 1. noktanın EDS analizi



Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
C	0,00	0,00
O	1,50	2,51
Al	96,40	95,50
Si	2,09	1,99

**Tablo 5.5.** CMT-0717 no'lu numunenin ITAB bölgesindeki 2. alanın EDS analizi



CMT-0886 nolu numunenin 1. alan ve 2. alan EDS analizleri incelendiğinde 1. alanda oksijenini % ağırlık oranı 2. alana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna istinaden 1. alanda numunede gözenek oluşumu olduğu düşünülmektedir. Çünkü gözeneklilik hidrojenin sıvı ve katı haldeki alüminyum içerisindeki çözünürlüğünde ortaya çıkan büyük değişimden kaynaklanır ve alüminyum alaşımlarında yaygın bir problemdir. Buna benzer bir durum Durmuş H., Yüksel N. (2017) Soğuk metal transferi ile birleştirilen AA5754 alaşımı ince sacların korozyon davranışını incelemiştir ve AA5754 alaşımlarında benzer bir durumla karşılaşmışlardır. Yine aynı benzer durumla Baoqiang ve diğ. [41] Soğuk metal transferinde gözenekler ile karşılaşmış soğuk metal transfer prosesinde ark modunun gözeneklilik üzerine etkisini araştırmıştır.

CMT-0717 no'lu numunenin EDS analizi incelendiğinde ise numunede az miktarda gözenek bulunduğu gözlemlenmiştir.



## 6. SONUÇLAR

1. Soğuk metal transferi kaynağı (CMT) ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgelerindeki tane yapıları incelendiğinde tane irileşmesi gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ısı girdisi arttıkça tane irileşmesi meydana gelmiştir.

2. Isı girdisi arttıkça mikrosertlikte azalma görülmüştür. Yani, ısı girdisi arttıkça sertlik düşmüştür.

3. Isı girdisi arttıkça maksimum çekme gerilmesi düşer diyebiliriz. ( $\sigma_{36} > \sigma_{31} > \sigma_{34} > \sigma_{35} > \sigma_{33}$ ). CMT-1207 no'lu numune en yüksek ısı girdisine sahip olmasına karşın düşük çekme gerilmesine sahiptir. Çekme deneyi sonucu CMT-1107 nolu numunelerin 1 adedi, CMT-0717 nolu numunelerin 1 adedi CMT-1207 no'lu numunelerin 2 adedi ve CMT-0886 no'lu numunelerin 3 adedi de ekstansometre alanı dışında kopmuştur. Bu durum kaynağın mukavemetli ve sağlıklı olduğunu gösterir.

4. CMT-0717 no'lu numunede ısı girdisi düşüktür, böylece katılma hızı artar ve bunun sonucunda kaynak işleminde meydana gelen gazlar dışarıya çıkmadan katılma tamamlanmış ve daha iri çaplarda gaz boşluğuna neden olmuştur.

CMT-0717 no'lu numuneye göre ısı girdisi daha yüksek olan CMT-1107 no'lu numunenin katılma hızı daha yavaştır. Buna bağlı olarak iç yapıda gazlar daha fazla dışarıya çıkmıştır. Böylece düşük çaplarda gözenek oluşmuştur.

5. CMT-0886 no'lu numunenin 1. alan ve 2. alan EDS analizleri incelendiğinde 1. alanda oksijenini % ağırlık oranı 2. alana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna istinaden 1. alanda numunede gözenek oluşumu olduğu düşünülmektedir.

6. CMT-0717 no'lu numunenin EDS analizi incelendiğinde ise numunede az miktarda gözenek bulunduğu gözlemlenmiştir.

## 7. KAYNAKÇA

- [1] Başer, T. A. “Alüminyum Alaşımaları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı,” Mühendis ve Makina, cilt 53, sayı 635, s. 51-58, 2012
- [2] Aydın H., Tunçel O., Kurtuluş Y., Balamur F., Çavuşoğlu O., Düzgün O. “AA6082-T6 ve AA1035-H14 Alüminyum Alaşımalarında Haddeme Yönünün ve Çekme Deformasyon Hızının Çekme Özellikleri Üzerindeki Etkisi” Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 22, Sayı 3, DOI: 10.17482/uumfd.297265, 2017
- [3] Khotiyan S.K.; Kumar S. Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of TIG and MIG Welding Using Aluminium Alloy, International Journal of Education and Research Review, s.1-90-96, 2014
- [4] Prakash J; Tewari S.P; Srivastava B.K. Shielding Gas For Welding of Aluminium Alloys by TIG/MIG Welding A Review, International Journal of Modern Engineering Research (JMÉR), s. 1, 690-699, 2012
- [5] Asma Y., “AA7071-AA 6061 Malzeme Çiftinin Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması” T.C Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ, Ocak 2014
- [6] Halil E., “Al-Si Alaşımalarının Mekanik Özelliklerine Magnezyum Elementinin Etkileri”, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Karabük s.3, 2017 (Yüksek Lisans Tezi)
- [7] Durmuş H., Cömez N., Soğuk Metal Transferi ile Birleştirilen AA5754 Alaşımı İnce Sacların Korozyon Davranışı Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, 2017 Politeknik dergisi DOI: 10.2339/politeknik.385926)
- [8] Durmuş H., Cömez N., Yurddaşkal M., Soğuk Metal Transfer Kaynağı ile Birleştirilmiş AA6061-Galvanizli Çelik Sacların Karakterizasyonu, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi “Mühendislik dergisi” Cilt:8,4, Eylül 2017 835-844
- [9] Hayat F., “ Effect Of Aging Treatment On the Microstructure And Mechanical Properties Of the Similar And Dissimilar 6061-T6/7075-T651 RSW joints”, Materials Science & Engineering A, vol.556, pp. 834–843, 2012
- [10] Florea R.S., Solanki K.N., Bammann D.J. Baird J.C. ,M.P., “ Castanier: Resistance Spot Welding Of 6061-T6 Aluminum: Failure Loads And Deformation”, Materials and Design, vol. 34, pp. 624–630, 2012
- [11] Zeytin H. K., Alüminyum Alaşımaları Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceği, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, s.91, 2000
- [12] Chen C.J., “Optimization of Mechanical Properties in A356 Via Simulation and Permanent Mold Test-bars”, Department of Materials Science and Engineering, Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, 2014 (Doctoral Thesis)

- [13] Colley L.J., “Micro Structure-Property Models For Heat Treatment of A356 Aluminum Alloy”, Materials Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, 2011 (Doctoral Thesis)
- [14] Davis J.R., “Aluminum and Aluminum Alloys, Alloying: Understanding the Basics” p351-416 DOI:10.1361/autb2001p351
- [15] <http://web.gtu.edu.tr/aluminyum/2016/02/08/aluminyum-alasimlarin-mekanik-ozellikleri/> Gebze Teknik Üniversitesi, Alüminyum Araştırma ve Uygulama Merkezi.
- [16] Öz, Ö., “Yaşlandırma Isıl İşleminin AA7075 Malzemeli Dikdörtgen Plâğın Burkulma Yükü Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Zonguldak, 22-31 2007.
- [17] Mathers G., The Welding of Aluminium And its Alloys, 1st ed., Wood head Publishing Limited, New York, 2002
- [18] Askeland, R.D., “The Science and Engineering Of Materials, 3rd ed.”, Wadsworth Publishing Company, 812, 1994.
- [19] Beton R. H., Rollason E. C., “Hardness Reversion Of Dilute Aluminium-Copper And Aluminium-Copper-Magnesium Alloys”, Journal Of The Institute Of Metals, 86: 77-85, 1958
- [20] Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Derya Kitapevi, Trabzon, 193-195, 2004
- [21] ASM International, 1991. ASM Handbook Vol. 4: Heat Treating. ASM International, USA, p.1861-1960.
- [22] Kaufman J. G., Introduction to Aluminum Alloys and Tempers. ASM International, USA, vol. 1, p. 9-22, 2000
- [23] Yıldırım, M., “Al-Si-Mg Alaşımlarında Mg Oranının Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 4-22 , 2012 (Yüksek lisans tezi)
- [24] Erkal, S., “AA2024 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşlemlerinin Mekanik Özelliklere ve İşlenebilirliğe Etkisi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-18, 2011, (Yüksek Lisans Tezi).
- [25] Higgins R. A., Materials for Engineers and Technicians. Newnes-Elsevier, Oxford, UK, p. 93-102, 216-229, 2006
- [26] Ş. Y. Güven, Y. E. Delikanlı, “AA 2024 Alüminyum Alaşımında Çökelme Sertleşmesinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi 2012 2 (4) 13-20
- [27] Askeland D. R., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Çeviren: Mehmet Erdoğan, Nobel Yayınevi, Ankara, cilt 1, s. 238-245, 1998.
- [28] Smith W. F., Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Çeviren: Mehmet Erdoğan, Nobel Yayınevi, Ankara , cilt 2, s. 339-388, 2001.

- [29] Tan E., Tarakçılar A. R. And Dışpınar D., Effect Of Melt Quality And Quenching Temperature On The Mechanical Properties Of SIMA 2024 And 7075, 14th International Conference On Advances In Materials&Processing Technologies, İstanbul, 2011.
- [30] Patterson, R. A. And Mahin, K. W., Weldability of Materials, ASM International, Materials Park, Ohio, 1990.
- [31] Yi J., Cao S.-f., Li L.-x., Guo P.-c., Liu K.-y. Effect Of Welding Current On Morphology And Microstructure Of Al Alloy T-Joint in Double-Pulsed MIG Welding: Trans. Nonferrous Met. Soc. China, Cilt. 25, s. 3204–3211. DOI: 10.1016/S1003-6326(15)63953-X, 2015
- [32] Abouarkoub A., Thompson G.E., Zhou X., Scamans G. Microstructure and Corrosion Properties of the Plasma-MIG Welded AA5754 Automotive Alloy: Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, Cilt. 3, s. 318-325. DOI: 10.4236/jmmce.34034, 2015.
- [33] Güngör B., Kaluç E., Taban E., Şık A. Mechanical And Microstructural Properties Of Robotic Cold Metal Transfer (CMT) Welded 5083-H111 and 6082-T651 Aluminum Alloys: Materials and Design, Cilt. 54, s. 207–211. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.08.018, 2014.
- [34] Shang J., Wang K., Zhou Q., Zhang D., Huang J., Li G. Microstructure Characteristics And Mechanical Properties Of Cold Metal Transfer Welding Mg/Al Dissimilar Metals: Materials and Design, Cilt. 34, s. 559–565. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.05.008, 2012.
- [35] Barnes T.A., Pashby I.R., Joining Techniques For Aluminium Spaceframes Used In Automobiles Part I - Solid And Liquid Phase Welding: Journal of Materials Processing Technology, Cilt. 99, s. 62-71, 2000.
- [36] Feng J., Zhang H., He P. The CMT Short-Circuiting Metal Transfer Process And Its Use In Thin Aluminium Sheets Welding: Materials and Design, Cilt. 30, s. 1850–1852. DOI: 10.1016/j.matdes.2008.07.015, 2009.
- [37] Pickin C.G., Williams S.W., Lunt M. Characterisation Of the Cold Metal Transfer (CMT) Process And Its Application For Low Dilution Cladding: Journal of Materials Processing Technology, Cilt. 211, s. 496-502. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2010.11.005, 2011.
- [38] Lorenzin G., Rutili G. The Innovative Use Of Low Heat Input In Welding: Experiences On 'Cladding' And Brazing Using The CMT Process: Welding International, Cilt. 23, s. 622-632. DOI: 10.1080/09507110802543252, 2009.
- [39] Tapiola J., Cold Metal Transfer Cladding of Wear And Corrosion Resistant Coatings In Engine Applications. Tampere University of Technology, Master of Science Thesis, 38s. Tampere., 2017.
- [40] Rosado T., Almeida P., Pires I., Miranda R., Quintino L., Innovations in Arc Welding, Congresso De Engenharia De Moçambique, Maputo, 2-4 September 2008.
- [41] Ozsarac U., Aslanlar S., Varol F., Isık S., Ferik E. "Farklı Gaz Basınçları Kullanılarak Soğuk Metal Transferi (CMT) ile Birleştirilmiş Alüminyum 6082-T6

Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, El-Cezerî Journal of Science and Engineering Vol: 4, No: 3, 2017 (606-611)

[42] Baoqiang Cong, Jialuo Ding, Stewart Williams, Effect of arc mode in cold metal transfer process on porosity of additively manufactured Al-6.3%Cu alloy, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 76 (2015) 1593e1606.

