



T.C.

**İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**HAVACILIK SANAYİNDE KULLANILAN,  
2024 VE 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ,  
TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ,  
MAKRO VE MİKRO YAPI İLE MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hazırlayan : SUNAY BEBEKOĞLU**

**Öğrenci Kimlik No : 176501107**

**Danışman : Prof. Dr. Ahmet Topuz**

**İstanbul 2019**



T.C.

**İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**HAVACILIK SANAYİNDE KULLANILAN,  
2024 VE 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ,  
TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ,  
MAKRO VE MİKRO YAPI İLE MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tezi Hazırlayan : SUNAY BEBEKOĞLU**

**Öğrenci Kimlik No : 176501107**

**İstanbul 2019**

## KABUL VE ONAY

**Sunay BEBEKOĞLU** tarafından hazırlanan “ **Havacılık sanayinde kullanılan, 2024 ve 7075 Alüminyum Alaşımlarının, TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi, makro ve mikro yapı ile mukavemet özelliklerinin incelenmesi** ” başlıklı bu çalışma ..... / ..... / ..... tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından **yüksek lisans tezi kabul edilmiştir.**

Başkan :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Enstitü Müdürü

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve şekillerin kaynak gösterilmeden kullanımı , 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “ **Havacılık sanayinde kullanılan, 2024 ve 7075 Alüminyum Alaşımlarının, TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi, makro ve mikro yapı ile mukavemet özelliklerinin incelenmesi** ” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım .

..... / ..... / .....

SUNAY BEBEKOĞLU

## ONAY

Tezimin / Raporumun kağıt ve elektronik kopyalarının İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım :

- Tezimin / Raporumun tamamı her yerde erişime açılabilir.
- Tezimin / Raporumun sadece İstanbul Arel Üniversitesi yerleşkelerinde erişime açılabilir.
- Tezimin / Raporumun 5 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde , tezimin / raporumun tamamı her yerde erişime açılabilir.

..... / ..... / .....

SUNAY BEBEKOĞLU

## ÖZET

### HAVACILIK SANAYİNDE KULLANILAN, 2024 VE 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ, TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ, MAKRO VE MİKRO YAPI İLE MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

SUNAY BEBEKOĞLU

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği

Danışman : Prof. Dr. Ahmet Topuz

Ocak, 2019 - 174 Sayfa

Bu çalışmada ; Havacılık sanayinde kullanılan, 2024 – T351 ve 7075 – T651 Alüminyum Alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Birleştirilen alüminyum alaşımlarının kaynak birleştirme davranışları incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmede, kaynak bölgesinin mukavemet özelliklerini iyileştirmek için alüminyum alaşımlarımıza tavlama işlemi yapılmıştır. Tavlama işlemi öncesi ve Tavlama işlemi sonrası alüminyum alaşımlarının TIG kaynağı yapılan bölgenin, mukavemet özellikleri incelenmiştir. Laboratuvar çalışmalarında kaynak noktasının , ITAB bölgesinin , makro ve mikro yapıları incelenmiştir . Kaynak yapısının mukavemet özelliklerini görmek için laboratuvar test çalışmaları yapılmış, ölçtüğümüz veriler tezimizde sunulmuştur.

TIG kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmede, dolgu malzemesi olarak, alüminyum alaşımlarımızın kendi kaynak elektrot telleri >> 2024 T351 alüminyum alaşımı için : ER4043

>> 7075 T651 alüminyum alaşımı için : ER5356

seçilmiştir.

Ayrıca tezimize, farklılık katan ; seçtiğimiz alüminyum alaşımlarımız, kendi malzemesi içinden tel erazyon yöntemi ile kesilerek çıkarılan ve elektrot teli formu verilen kendi malzemesi ile kaynak edilmiştir.

Kaynaklı birleştirme işlemi sonrası , her iki kaynak dolgu malzemesi ,

>> alaşımlarımızın , kendi elektrot kaynak telleri, ve

>> alaşımlarımızın , kendi malzemesi , kaynak teli ile yapılan

TIG kaynağının, kaynak bölgesindeki, mukavemet testleri yapılmıştır. Laboratuvar verileri tezimizde paylaşılmıştır.

Hazırladığım tez çalışması, havacılığın hızla geliştiği ülkemizde, 2024 -T351 ve 7075 -T651 alüminyum alaşımlarını kullanmak isteyen sanayicilerimize, alüminyum sektörüne, kaynak

sektörüne , arge merkezlerine, üniversitelerimize, mühendislerimize, fikir vermesi , uygun alüminyum alaşımlarını ve dolgu malzemesi ( kaynak elektrot teli ) seçiminde yardımcı olacağını düşünmekteyiz.

Tez çalışmam , aşağıda belirttiğim bölümlerden oluşmaktadır.

Birinci Bölüm	:	GİRİŞ , HAVACILIKTA ALÜMİNYUM ALAŞIMI KULLANIMI
İkinci Bölüm	:	ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ
Üçüncü Bölüm	:	2024 T351 ALÜMİNYUM ALAŞIMI
Dördüncü Bölüm	:	7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMI
Beşinci Bölüm	:	KAYNAK ÖNCESİ ALÜMİNYUMUN TEMİZLİĞİ
Altıncı Bölüm	:	TIG KAYNAĞI
Yedinci Bölüm	:	ISIL İŞLEM
Sekizinci Bölüm	:	KAYNAK TELLERİ
Dokuzuncu Bölüm	:	LABORATUAR VE DENEY ÇALIŞMALARI
Onuncu Bölüm	:	SONUÇLAR
Onbirinci Bölüm	:	KAYNAKLAR

**Anahtar Kelimeler** : 2024 T351 - 7075 T651 Alüminyum Alaşımları , TIG kaynağı, Kendi malzemesi ile kaynak edilebilirliği, dolgu malzemesi ( kaynak elektrot teli ) kaynak edilebilirliği

# ABSTRACT

## TIG WELDING ASSEMBLY OF ALUMINIUM ALLOYS 2024 AND 7075 USED IN THE AVIATION INDUSTRY AND ANALYSIS OF MICRO AND MACRO STRUCTURES AND MECHANICAL PROPERTIES

SUNAY BEBEKOĞLU

Master's Degree Thesis, Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet Topuz

January, 2019 - 174 Pages

In this study ; aluminium alloys 2024 – T351 and 7075 – T651, which are used in aviation industry, are assembled by TIG welding. Behaviours of the assembled aluminium alloys are examined. To improve the resistance properties of the welding area, the aluminium alloys are annealed. The resistance properties of the TIG welded area of the aluminium alloys are examined both before and after the annealing process. During laboratory testing, the micro and macro structures of the welding area and ITAB area are examined. Laboratory testing has been carried out to examine the resistance properties of the welding structure, and the findings have been provided in this thesis.

During the welded assembly by TIG welding, welding electrode rods associated with the aluminium alloys

>> For aluminium alloy 2024 T351 : ER4043

>> for aluminium alloy 7075 T651 : ER5356

have been used as filling material.

What distinguishes this thesis is ; The chosen aluminium alloys are welded with their own material, which are cut from their own material by using the wire erosion method and formed as electrode wires.

After the welding assembly process, resistance tests were done on both the welding filling material, >> the welding electrode rods associated with the alloys, and >> the material of the alloys, with welding rods and the area welded by TIG welding. The data from the laboratory tests have been provided in this thesis.

Considering that the aviation industry is rapidly developing in our country, we hope that this study will be helpful to our industrialists who wish to use aluminium alloys 2024-T351 and 7075-T651, the



aluminium sector, the welding sector, research and development centers, universities and engineers when choosing the appropriate aluminium alloys and filling materials (welding electrode rods).

This thesis project consists of the following chapters.

Chapter One : INTRODUCTION , USAGE OF ALUMINIUM ALLOYS IN AVIATION

Chapter Two : ALUMINIUM AND ITS PROPERTIES

Chapter Three : ALUMINIUM ALLOY 2024 T351

Chapter Four : ALUMINIUM ALLOY 7075 T651

Chapter Five : PRE-WELDING ALUMINUM CLEANING

Chapter Six : TIG WELDING

Chapter Seven : HEAT TREATMENT

Chapter Eight : WELDING RODS

Chapter Nine : LABORATORY AND TESTING

Chapter Ten : RESULTS

Chapter Eleven : BIBLIOGRAPHY

**Key Words** : Aluminium alloys 2024 T351 - 7075 T651 , TIG welding, Weldability with own material, weldability with fillings ( Welding Electrode Rods )

# ÖNSÖZ

Yaptığım çalışma havacılık, savunma ve uzay sanayinde yaygın olarak kullanılan ;

## 2024 – T351 ve 7075 – T651

- 1.) Alüminyum Alaşımlarının tanınması,
  - 2.) bu alaşımların özelliklerinin incelenmesi,
  - 3.) seçilen alüminyum alaşımlarının, kimyasal kompozisyonlarının belirtilmesi,
  - 4.) TIG kaynak yöntemi ile kaynaklı birleştirme işlemi yaptığımız alüminyum alaşımlarımızın kendi kaynak telleri ile kaynak edilebilirliği ,
  - 5.) Alüminyum alaşımlarımızın, kendi kaynak elektrotu ile TIG kaynak metodu kullanılarak birleştirme sonucu , yapılan kaynaklı imalatın, laboratuarda yapılan testler sonrası gösterdiği makro , mikro yapılarını , vickers sertlik , çekme , çentik darbe ve eğme testlerini yapıp , çıkan sonuçları incelemek,
  - 6.) Tezin belirleyici konusu olan, seçtiğimiz alüminyum alaşımlarımızın, kendi alüminyum alaşımının dan , tel erezyon yöntemi ile 2,4 mm kalınlığında kaynak elektrot telleri çıkarmak.
  - 7.) Çıkarılan elektrot tellerinin , kaynak elektrotu formuna getirip , kaynak elektrotu olarak kullanmak , seçilen alüminyum alaşımlarımızı , TIG kaynak metodu ile kaynaklı birleştirme imalatını yapmak,
  - 8.) alüminyum alaşımlarının , kendi metali ile yapılan kaynaklı birleştirmenin sonucu , laboratuarda yapılan testler sonrası gösterdiği ; makro , mikro yapılarını , vickers sertlik , çekme , çentik darbe ve eğme testlerini yapıp , çıkan sonuçları incelemek ,
  - 9.) alüminyum alaşımlarının önerilen kaynak elektrotları ile yapılan TIG kaynak metodu ile birleştirme ile ana malzemedan çıkarılarak kaynak elektrotu olarak kullanılan kaynak teli elektrotu arasındaki karşılaştırmaları yapmak . Kaynaklı imalat ta tercih edilen , TIG kaynağının değerlendirilmesi / karşılaştırılması aşamalarını içermektedir.
- Önerilen kaynak elektrotları ile yapılan TIG kaynağı yapılmış ve kaynak bölgesindeki değişimler incelenmiştir.

Alüminyum alaşımları tüm dünyada yaygın kullanım alanına sahip bir malzemedir. Hafifliği ve atmosferik ortamdaki üstün korozyon direnci gün geçtikçe farklı uygulamalarda kullanıldığını görüyoruz.

Endüstride alüminyum konstrüksiyonlar ve makine parçaları genellikle kaynaklı şekilde birleştirilerek kullanılmaktadır.

Birleştirme işlemi için seçilen kaynak yöntemi ve kaynak telleri alüminyumun mekanik özelliklerini değişimine uğratmaktadır. Bu değişimler dizayn sırasında kaynak işleminin göz önünde bulundurulmasını zorunlu hale getirmektedir. Ancak doğru kaynak prosedürü oluşturularak mekanik özelliklerdeki değişimi minimuma indirmek mümkündür.

Bu çalışmada 2024 T351 ve 7075 T651 Alüminyum Alaşım levhalarının kaynak davranışı incelenmiştir.

8 mm kalınlığındaki levhalar TIG kaynak yöntemi ile kendi alüminyum alaşımından çıkartılarak üretilen kaynak elektrotları ve her alüminyum alaşımı için elektrot üreticileri tarafından önerilen kaynak elektrotları ile TIG kaynak yöntemi ile kaynaklı birleştirme işlemi yapılmıştır.

Kaynak prosesinde , alaşımın mekanik özellikleri üzerine direk etki gösteren ilerleme hızı, verilen akım değeri üzerinde hassasiyetle durulmuştur.

2 farklı alüminyum alaşımından üretilen kaynak elektrot telleri, alüminyum alaşımları kaynak edilip , 4 farklı numune hazırlanmıştır.

Kullanılan kaynak telleri , tezin konusu olan 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarının üretici firma tarafından önerilen kendi kaynak telleri ile TIG Kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir.

**Tez ' e farklılık katan diğer kaynak elektrot teli secimi ;** 2024 ve 7075 alüminyum alaşım metallerinin ana malzeme yapısından tel erezyon yöntemi ile 2,4 mm kalınlıklarda kaynak elektrot teli kesilerek çıkarılmış ve deneyde kullanılan alüminyum alaşımlar kendi malzemesi ile TIG kaynak yöntemi ile kaynak edilmiştir.

Kaynaklı plakaların makro, mikro yapıları incelenmiş , kaynak bölgesinden ana metale doğru belirli aralıklarla sertlik ölçümü yapılmış, çekme, çentik – darbe ve eğme, testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen mukavemet verileri incelenmiştir.

**Havacılık ve savunma sanayinde kullanılan malzemeler ;** temel olarak

\*\* metalik malzemeler ve

\*\* metal dışı malzemeler olarak

ikiye ayırmak mümkündür.

Metalik malzemeler ; başta alüminyum ve alaşımları olmak üzere , titanyum ve alaşımları, nikel ve alaşımları , magnezyum ve alaşımları ile çeliklerdir.

Metal dışı malzemeler ise : her geçen gün biraz daha gelişme gösteren kompozit malzemeler ele alınmaktadır.

Uçak endüstrisinde kullanılan malzemelerden beklenen en önemli özellikler olan, yüksek dayanım, kolay işlenebilirlik ve düşük yoğunluğu sağlamada en etkin malzemelerden biri olan alüminyum, 1900 'lü yılların başından beri endüstrisinde kullanılmakta olup, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra bu endüstri dalındaki kullanımı daha da artmıştır.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	VI
ÖNSÖZ .....	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ .....	XX
TABLolar LİSTESİ .....	XXI
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	XXIV
RESİMLER LİSTESİ .....	XXVII

## 1 . BÖLÜM

### GİRİŞ

1.1. Giriş .....	1
1.2. Uçaklarda Kullanılan Malzemeler.....	2
1.3. Havacılık Sanayinde Kullanılan Malzemelerin Seçimi .....	4
1.4. Alüminyum Ve Alaşımları .....	5

## 2 . BÖLÜM

### ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Alüminyum .....	6
2.2. Neden Alüminyum .....	7
2.3. Alüminyumun Önemi .....	8
2.4. Alüminyumun Özellikleri .....	8
2.4.1. Temel Özellikler .....	8
2.4.2. Fiziksel Özellikler .....	9
2.4.3. Atom Özellikleri .....	9
2.4.4. Diğer Özellikler .....	9
2.5. Alüminyumun Elde Edilmesi .....	9

2.5.1. Birincil Alüminyum Üretimi .....	10
2.5.2. İkincil Alüminyum Üretimi .....	10
2.6. Alüminyum Kullanım Alanları .....	11
2.7. Saf metallerin sakıncaları .....	13
2.8. Alaşımların yararları .....	13
2.9. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması .....	13
2.10. 2XXX serisi .....	14
2.11. 7XXX serisi .....	15
2.12. Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	15
2.13. Alaşım Elementlerin Etkisi .....	17
2.14. Alüminyum Alaşımları Akma Dayanımı Üzerine Etkisi .....	18
2.15. Otomotiv Uygulamaları .....	18
2.16. Havacılık Uygulamaları .....	18

### 3. BÖLÜM

#### 2024 - T351 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI

3.1. 2024 T351 Serisi Alüminyum Alaşımı Kimyasal Bileşimi .....	19
3.2. 2024 T351 Serisi Alüminyum Alaşımı Fiziksel Özellikleri .....	19
3.3. 2024 T351 Serisi Alüminyum Alaşımı Mekaniksel Özellikleri .....	20
3.4. 2024 T351 Serisi Alüminyum Alaşımı Uygulanan Isıl İşleme Göre Gösterdiği Mukavemet Özellikleri .....	20
3.5. 2024 T351 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Isıl İşlemler .....	21
3.6. 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Malzeme Kompozisyonunun Standartları .....	21
3.7. 2024 T351 Serisi Alüminyum Alaşımı Isıl İşlem Çeşitlerinde Tedarik .....	21
3.8. 2024 T351 Serisi Alüminyum Alaşımı Uygulama Alanları .....	22
3.9. 2024 T351 Serisi Alüminyum Alaşımı Karakteristik Özellikleri .....	22
3.10. 2024 Serisi Alüminyum Alaşımı Ürün Şekilleri , Stok Durumları.....	22

## 4. BÖLÜM

### 7075 - T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMI

4.1. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Kimyasal Bileşimi .....	23
4.2. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Fiziksel Özellikleri .....	23
4.3. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Mekaniksel Özellikleri .....	24
4.4. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Malzeme Kalınlığına Göre Mukavemet Özellikleri .....	24
4.5. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Malzeme Kalınlığına Göre Mukavemet Özellikleri .....	24
4.6. 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Uygulanan Isıl İşlem Göre Gösterdiği Mukavemet Özellikleri .....	25
4.7. 7075 T651 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Isıl İşlemler .....	25
4.8. 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Malzeme Kompozisyonunun Standartları .....	25
4.9. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Isıl İşlem Çeşitlerinde Tedarik .....	25
4.10. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Uygulama Alanları .....	26
4.11. 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Karakteristik Özellikleri .....	26
4.12. 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Ürün Şekilleri , Stok Durumları .....	26

## 5. BÖLÜM

### KAYNAK ÖNCESİ ALÜMİNYUM TEMİZLİĞİ

5.1. Alüminyum Kaynağı öncesi Temizlik .....	27
5.2. Alüminyum Kaynak öncesi Gerçekleştirilecek İşlemler .....	27
5.3. Alüminyum Alaşımınızı Tanıyın .....	28
5.4. Doğru Ekipman .....	29
5.5. Doğru Koruyucu Gaz Akış Oranı .....	29
5.6. Malzemenin Temiz Kalmasını Sağlayın .....	30
5.7. Dokuma ve Salınım Tekniği .....	30
5.8. Kaynak Telinin Doğru Şekilde Depolanması .....	30
5.9. Ön Tav .....	31

5.10. Parçaların Uygun Şekilde Temizlenmesi .....	31
---	----

## 6. BÖLÜM

### TIG KAYNAĞI

6.1. TIG ( Argon ) Kaynağı .....	32
6.2. TIG Kaynağı , ( Argon Kaynağı ) tanımlar.....	32
6.3. TIG Kaynak Yöntemi .....	32
6.4. Argon Gazı .....	33
6.4.1. Argon Gazının Avantaj Ve Dezavantajları .....	35
6.4.2. Helyum Gazının Avantaj ve Dezavantajları .....	35
6.5. Alüminyum TIG Kaynağında Kullanılan Akım Çeşitliliği .....	38
6.5.1. Dadk.....	39
6.5.2. Datk.....	39
6.5.3. Alternatif Akım .....	39
6.6. TIG Kaynağının Üstünlükleri .....	42
6.7. Alüminyum Alaşımlarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri .....	44
6.8. TIG Kaynağı Donanımı Oluşturan Elemanlar .....	44
6.9. TIG Kaynağı Pahalı Bir Teknik Olmasına Rağmen Neden Tercih Edilir ? .....	45
6.10. Kullanım Alanları .....	45
6.11. Kaynak Torçları .....	45
6.11.1. Hava Soğutmalı Torçlar .....	46
6.11.2. Su Soğutmalı Torçlar .....	46
6.12. TIG Kaynak Elektrotlar .....	47
6.12.1. Saf Tungsten TIG Kaynak Elektrotlar .....	47
6.12.2. Alaşımlı Tungsten Elektrotlar .....	47
6.13. Elektrot Ucunun Kirlenmesinin Nedenleri .....	49
6.14. Kaynak Sırasında Tüketilen Malzemeler .....	49
6.14.1. Alüminyum Alaşımlı Dolgu Malzeme Seçilirken Dikkat Edilmesi Gereken Konular .....	49

6.15. Dolgu Metali Seçimi .....	50
6.15.1. Çatlak Oluşumu .....	50
6.15.2. Çekme ve Kesme Dayanımı .....	51
6.15.3. Yüksek ve Düşük Çalışma Sıcaklıkları .....	51
6.15.4. Korozyon Dayanımı .....	51
6.15.5. Renk uyumu .....	51
6.16. 2024 ve 7075 Alüminyum Alaşımlarında Kullanılan Kaynak Telleri .....	52
6.17. TIG Kaynak Yönteminde Arkın Tutuşturulması .....	52
6.18. Kaynak Ağzı Şekilleri .....	52
6.19. Kaynak Parametrelerinin Seçimi .....	56
6.19.1. Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler.....	56
6.19.2. Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler .....	56
6.19.3. İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler.....	56
6.20. 2024 ve 7075 Serisi Alüminyum Alaşımlarında Kaynak Uygulamalarında Karşılaşılan Sorular ...	57
6.21. TIG Kaynağında İlave Tel Hareketi .....	60
6.22. Kaynakta İlerleme Hızı .....	60
6.23. Tel Besleme .....	61
6.24. Tungsten Elektrot Çeşitleri ve Uç Bileme Yöntemleri .....	61
6.25. Kaynaklı Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri .....	66
6.25.1. Metalürjik Etki.....	66
6.25.2. Kaynak Metali .....	67
6.25.3. Isı Etkisi Altındaki Bölge .....	67
6.25.4. Oksit Film Tabakasının Kaldırılması .....	68
6.26. Kaynak Hataları .....	68
6.26.1. Nufuziyet Azlığı .....	68
6.26.2 Birleştirme Azlığı ( Yetersiz Erime ) .....	68
6.26.3. Yanma Olukları veya Çentikleri .....	69



6.26.4. Kalıntılar .....	69
6.26.5. Kaynak Metalinde Ve Ana Metalde Oluşan Çatlaklar .....	70
6.26.5. Gözenekler .....	70
6.26.6. Azot Nedeni ile Gözenek Oluşumu .....	70
6.26.7. Hidrojen Gazı ile Gözenek Oluşumu .....	71
6.26.8. Karbon Monoksit Gazı İle Gözenek Oluşumu .....	71
6.26.9. Sıçramalar .....	71

## 7. BÖLÜM

### ISIL İŞLEM

7.1. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem .....	74
7.1.1. Giriş .....	74
7.2. Isıl İşlem .....	75
7.3. Tavlama .....	76
7.3.1. Isıl İşlemin Meydana Gelmesi İçin Temel Olarak Üç Kademe Mevcuttur.....	76
7.4. Çözeltiyeye Alma İşlemi .....	77
7.4.1. Çözeltiyeye Alma İşleminin Faydaları .....	79
7.4.2. Çözeltiyeye Alma İşleminin Prosesi .....	79
7.5. Su Verme İşlemi .....	80
7.6. Yaşlandırma İşlemi .....	81
7.6.1. Yaşlanma Nedir ? .....	82
7.6.2. Yaşlanmaya Etki Eden Faktörler .....	83
7.7. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Kodları .....	84
7.8. Önceden Tayin Edilen Bir Sıcaklığa Kadar Isıtma .....	85
7.9. Isıtmanın Meydana Getirdiği Değişikler .....	85
7.9.1. Üniform Dağılım .....	85
7.9.2. Toparlanma .....	85
7.9.3. Yeniden Kristalleşme .....	86

7.9.4. Dane Büyümesi.....	86
7.10. Su Verme .....	86
7.10.1. Soğuk Suda Su Verme .....	87
7.10.2. Sıcak Suda Su Verme .....	87
7.10.3. Püskürterek Su Verme .....	87
7.11. Solüsyona Alma Ve Su Verme Sırasında Karşılaşılan Zorluklar.....	87
7.12. Solüsyona Alma .....	88
7.13. Çökelme .....	88
7.13.1. Çökelme Sertleşmesinin Önemi Ve Uygulama Alanları .....	88
7.14. Tane Boyutunu Küçültme .....	88
7.15. 2XXX Ve 7XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşleme Bağlı Değişen Akma Dayanımı Değerleri .....	90
7.16. 2024 T351 Alüminyum Alaşımları .....	90
7.16.1. Al - Cu Alaşımı .....	91
7.16.2. 2024 T351 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlem.....	92
7.17. Yeniden Kristalleşme Ve Kinetiği .....	94
7.18. TTT Diyagramı .....	94
7.19. 7075 T651 Alüminyum Alaşımları .....	96
7.19.1. 7075 T651 Alüminyum Alaşımlarında Çözeltiyeye Alma ve Yaşlandırma Sertleşmesi .....	100
7.19.2. 7075 T651 Proses Değerleri .....	100

## 8. BÖLÜM

### TIG KAYNAK TELLERİ

8.1. Alüminyum Alaşım Serisi 7075 .....	102
8.2. 7075 T651 - ER5356 - AlMg5 , Tıg Kaynak Teli Özellikleri .....	102
8.3. Genel Tanımı .....	102
8.4. Klasifikasyonu .....	102
8.5. Mekanik Özellikler .....	103

8.6. Koruyucu Gazlar .....	104
8.7. Fiziksel Özellikler .....	104
8.8. Kaynak Metali Mekanik Özellikleri .....	104
8.9. Ambalaj ve Çap Bilgileri .....	104
8.10. Diğer Bilgiler .....	104
8.11. Alüminyum Alaşım Serisi 2024 .....	105
8.12. 2024 T351 - ER4043 - AlSi5 , TIG Kaynak Teli Özellikleri .....	105
8.13. Genel Tanımı .....	105
8.14. Klasifikasyonu .....	105
8.15. Mekanik Özellikler .....	106
8.16. Koruyucu Gazlar .....	106
8.17. Fiziksel Özellikler .....	106
8.18. Kaynak Metali Mekanik Özellikleri .....	106
8.19. Ambalaj ve Çap Bilgileri .....	107
8.20. Diğer Bilgiler .....	107
8.21. ( 2024 T351 - ER4043 - AlSi5 ) ve ( 7075 T651 – ER5356 - AlMg5 ) Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri .....	107

## 9. BÖLÜM

### LABORATUAR VE DENEY CALIŞMALARI

9.1. Malzeme ve Metot.....	108
9.1.1. Elektrot Seçimleri Nasıl Yapılmıştır ? .....	108
9.1.2. Kaynak Yapılırken Uyguladığımız Hususlar .....	108
9.1.3. T351 ve T651 Isıl İşlemleri Arasındaki Fark .....	109
9.1.4. Laboratuar Test Aşamaları .....	110
9.1.5. Değişken Parametreler Nelerdir.....	110
9.1.6. 2024 – T351 Alüminyum Alaşımı Deney Plakaları Hazırlama .....	111
9.1.7. 7075 - T651 Alüminyum Alaşımı Deney Plakaları Hazırlama.....	111

9.1.8. AISi5 ve AlMg5 Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri .....	112
9.1.9. AISi5 ve AlMg5 Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri .....	112
9.2. 2024 T351 ve 7075 T651 - Alüminyum Plakalarına Kaynak Ağzı Açılması .....	113
9.3. Ön Tavlama .....	113
9.3.1. Ön Tavlama Niçin Yapıldı .....	114
9.4. Laboratuar Deney Numunelerinin Ölçüleri .....	115
9.4.1. Kaynak Öncesi Parçaları sabitleme .....	116
9.5. Ön Tavlama İşlemi .....	116
9.6. Laboratuar Test Numuneleri.....	118
<b>9.7. Makroyapı ve Mikroyapı Karakterizasyonu.....</b>	<b>120</b>
9.7.1. Zımparalama İşlemi .....	120
9.7.2. Parlatma İşlemi .....	120
9.7.3. Dağlama İşlemi .....	121
9.8. Makro Sertlik Fotoğrafları , Test Numuneleri , ITAB Bölgesi .....	122
9.9. Mikro Sertlik - Mikroskop Çekimi Fotoğrafları .....	124
9.10. Isıl İşlemin Yapıldığı Fırın Görüntüleri .....	131
9.11. Vickers Sertlik Ölçüm Deneyi.....	131
9.12. Çekme Deneyi .....	136
9.12.1. Çekme Deneyinin Amacı .....	137
9.13. Eğme Deneyi .....	152
9.13.1. Giriş .....	152
9.13.2. Hesaplamalar .....	152
9.13.3. Deneyin Uygulanması .....	153

## **10. BÖLÜM**

### **SONUÇ**

10.1. Çentik Darbe Deneyi Verilerinin Yorumlanması .....	160
10.2. Eğme Deneyi Verilerinin Yorumlanması .....	161

10.3. Çentik Deneyi Verilerinin Yorumlanması .....	161
10.4. Vickers Sertlik Deneyi Verilerinin Yorumlanması .....	162
10.5. Mikrosertlik Fotoğraflarının Yorumlanması .....	163
10.6. Makrosertlik Fotoğraflarının Yorumlanması .....	163

## **11. BÖLÜM**

### **KAYNAKÇA**

11. Kaynakça .....	161
--------------------	-----



## KISALTMALAR LİSTESİ

TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
AB – CEN	:	Avrupa Standardizasyon Komitesi
Bk.	:	Bakınız
m	:	Metre
cm	:	Santimetre
N	:	Newton
m /s	:	Metre/Saniye
mm	:	Minimetre
h	:	Saat
N /m	:	Newton / Metre
MPa	:	MegaPaskal
F	:	Kuvvet
KN	:	Kilo Newton
Rm	:	Çekme Dayanımı
J	:	Joule
ITAB	:	Isı Tesiri Altındaki Bölge
° C	:	Derece
Б	:	Gerilme
A	:	Alan
d2 , d1	:	İz çapı
gr	:	Gram
TIG	:	Tungsten Inert Gaz
A.A.	:	Alüminyum Alaşımı
Min	:	Minimum
Max	:	Maksimum
sn	:	Saniye
AMS	:	American Military Society

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 1.1.</b> Alüminyum Alaşımlarının Uçaklar da Genel Kullanım Yerleri .....	5
<b>Tablo 2.1.</b> Cevher metalden ve Hurda metalden Alüminyum Alaşım üretimi .....	10
<b>Tablo 2.2.</b> Alüminyum alaşımları ve ısıt işlemlerinin grafikselleştirilmesi .....	10
<b>Tablo 2.3.</b> Katkı ( alaşım ) Elementlerinin Alüminyuma Etkileri .....	12
<b>Tablo 2.4.</b> Amerikan Alüminyum Birliğinin Dövme Alaşımları için İsimlendirme Kriterleri .....	15
<b>Tablo 2.5.</b> Döküm Alüminyum Alaşımları .....	16
<b>Tablo 2.6.</b> Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	16
<b>Tablo 2.7</b> Alaşım Elementlerin Etkisi .....	17
<b>Tablo 2.8.</b> Alüminyum Alaşımları Akma Dayanımı Üzerine Etkisi .....	18
<b>Tablo 3.1.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Kimyasal Kompozisyonu .....	19
<b>Tablo 3.2.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Fiziksel Özellikleri .....	19
<b>Tablo 3.3.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Mekanik Özellikleri .....	20
<b>Tablo 3.4.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı, Uygulanan Isıt İşleme Göre Gösterdiği Mukavemet Özellikleri .....	20
<b>Tablo 3.5.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Isıt İşlemler Dereceleri .....	21
<b>Tablo 4.1.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Kimyasal Kompozisyonu .....	23
<b>Tablo 4.2.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Fiziksel Özellikleri .....	23
<b>Tablo 4.3.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Mekanik Özellikleri .....	24
<b>Tablo 4.4.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı . Malzeme Kalınlığına Göre Mukavemet Özellikleri.....	24
<b>Tablo 4.5.</b> 7075 T651 Serisi Alüminyum Alaşımı Malzeme Kalınlığına Göre Mukavemet Özellikleri .....	24
<b>Tablo 4.6.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı, Uygulanan Isıt İşleme Göre Gösterdiği Mukavemet Özellikleri .....	25
<b>Tablo 4.7.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Isıt İşlemler Dereceleri .....	25
<b>Tablo 6.1.</b> Argon Ve Helyum Gazlarının TIG kaynağında Davranışlarının Karşılaştırılması .....	37
<b>Tablo 6.2.</b> Çeşitli Malzemelerin Kaynağında Kullanılan Koruma Gazları .....	38
<b>Tablo 6.3.</b> TIG kaynağında akım tipine göre nüfuziyet ve elektrot kapasitesi .....	40

<b>Tablo 6.4.</b> Alüminyum kaynağında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların giderilmesi.....	54
<b>Tablo 6.5.</b> Örnek Tungsten Elektrot Çeşitleri .....	61
<b>Tablo 6.6.</b> Tungsten Elektrotların Karakteristik Özellikleri .....	62
<b>Tablo 6.7.</b> Malzemelerin Kaynak Yapılma Akım Tipleri .....	63
<b>Tablo 6.8.</b> Kaynak Kabiliyeti .....	64
<b>Tablo 6.9.</b> Malzemelere Ait Kaynak Kabiliyeti Dereceleri .....	65
<b>Tablo 6.10.</b> Alaşımların Kaynak Kabiliyeti Dereceleri .....	66
<b>Tablo 6. 11.</b> Hacimsel Hata oluşumu .....	73
<b>Tablo 7.1.</b> Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu .....	77
<b>Tablo 7.1.</b> 2XXX Ve 7XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşleme Bağlı Değişen Akma Dayanımı Değerleri .....	90
<b>Tablo 8.1.</b> Kimyasal Bileşimi , Kimyasal Analizi .....	103
<b>Tablo 8.2.</b> ER5356 Kaynak Telinin Sınıflandırılması .....	103
<b>Tablo 8.3.</b> ER5356 Kaynak Telinin Sınıflandırılması .....	105
<b>Tablo 8.4.</b> Kimyasal Bileşimi , Kimyasal Analizi .....	106
<b>Tablo 8.5.</b> ( 2024 T351 - ER4043 - AlSi5 ) ve ( 7075 T651 – ER5356 - AlMg5 ) Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri.....	107
<b>Tablo 9.1.</b> ( 2024 – T351 ) - ( 7075 T651 ) Alüminyum Alaşımı için seçilen , TiG kaynak telinin parametreleri verilmiştir.....	111
<b>Tablo 9.2.</b> AlSi5 ve AlMg5 Kaynak Tellerinin Tipik Analizi ( % ) .....	112
<b>Tablo 9.3.</b> AlSi5 ve AlMg5 Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri .....	112
<b>Tablo 9.5.</b> Laboratuvar Test Numune Ölçüleri.....	119
<b>Tablo 9.6.</b> Malzeme Kalınlığı ile Vickers Sertlik Değeri Arasındaki Bağlantı.....	132
<b>Tablo 9.7.</b> Vickers Sertlik Metodu – Test Durumu – Uygulanan Yükler .....	133
<b>Tablolar 9.8.</b> Vickers Sertlik Ölçüm Değerleri Ve Grafikleri .....	134
<b>Tablo 9.9.</b> Çekme deneyi ile ölçülebilen malzeme değerleri .....	137
<b>Tablolar 9.10.</b> Çekme Deneyi Verileri ve Grafikleri.....	138
<b>Tablolar 9.11.</b> Çentik Darbe Deneyi Verileri .....	142



<b>Tablolar 9.12.</b> ( -45 dereceye soğutulmuş ) Çentik Darbe Deneyi Verileri .....	145
<b>Tablolar 9.13.</b> Eğme Deneyi Verileri ve Grafikleri .....	154
<b>Tablo 9.8.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Çentik Darbe Deneyi Verileri.....	155
<b>Tablo 9.9.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Çentik Darbe Deneyi Verileri.....	156
<b>Tablo 9.10.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı (-45 Derece ) Çentik Darbe Deneyi Verileri.....	156
<b>Tablo 9.11.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı (-45 Derece ) Çentik Darbe Deneyi Verileri.....	156
<b>Tablo 9.12.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı - Eğme Deneyi Verileri .....	157
<b>Tablo 9.13.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı - Eğme Deneyi Verileri .....	157
<b>Tablo 9.14.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı - Çekme Deneyi Verileri .....	157
<b>Tablo 9.15.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı - Çekme Deneyi Verileri .....	158
<b>Tablo 9.16</b> 7075 - 2024 Alüminyum Alaşımı Vickers Sertlik Değerleri .....	159

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 6.1. TIG Tungsten Inert Gaz Kaynağı Yönteminin Şematik Gösterimi .....	33
Şekil 6.2. TIG Kaynağı Şeması .....	34
Şekil 6.3. Argon ve helyumun kaynak sırasında penetrasyona etkisi.....	36
Şekil 6.4. Alüminyum TIG Kaynağında Alternatif Akım Kullanımı .....	41
Şekil 6.5 TIG Kaynak Metodu Şematik Gösterimi .....	41
Şekil 6.6. TIG Kaynak Metodu Şematik Gösterimi.....	41
Şekil 6.7. Kaynak Torçu .....	46
Şekil 6.8. Su soğutmalı bir TIG kaynak ekipmanının temel elemanları.....	46
Şekil 6.9. Alüminyumun kaynağında kullanılan tipik bağlantı şekilleri .....	53
Şekil 6.10. TIG kaynağında kullanılan akıma ve kutba göre dikiş formları.....	56
Şekil 6.11. İlave Telin Kaynak Sırasındaki Hareketi .....	60
Şekil 6.12. Tunsten Uç Hazırlama .....	62
Şekil 6.13. Alüminyum ve AC Akım Etkisi .....	63
Şekil 6.14. Kaynak Bölgesi Gösterimi .....	67
Şekil 6.15. Yaşlandırma İşlemine Tabi Tutulmuş 7075 T651 Alaşımının Kaynak İşlemiyle Mukavemet Değişimi .....	67
Şekil 6.16. Ergime yetersizliğinin şematik gösterimi.....	68
Şekil 6.17. Yanma oluklarının şematik gösterimi .....	69
Şekil 6.18. Kaynak dikışı içerisinde kalan oksit partiküller .....	69
Şekil 6.19. Kaynak Banyosunda Gaz Hapsolması .....	70
Şekil 6.20 . Ortam koşullarının ve yanlış kaynak parametrelerinin neden olduğu gözenekler.....	71
Şekil 6.21. Yanlış kaynak parametreleri ve kaynak işleminde meydana gelen etkiler nedeniyle gözenek oluşumu .....	72
Şekil 6.22. Alın Kaynaklarında Torç , İle Kaynak Yapılan Alüminyum Alaşımı Arasındaki Acılar...73	
Şekil 6.23. Alın Kaynaklarında Torç , İlave Tel, Kaynak Yapılan Alüminyum Alaşımı Arasındaki Acılar .....	73
Şekil 7.1 Isıl işlem prosesi .....	78

<b>Şekil 7.2</b> Çözeltili alma işlemi .....	78
<b>Şekil 7.3.</b> Çözeltili alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözeltili .....	80
<b>Şekil 7.4.</b> Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen Çekirdeklenme .....	81
<b>Şekil 7.5</b> Aşırı doymuş katı çözeltili .....	81
<b>Şekil 7.6.</b> Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişimi .....	82
<b>Şekil 7.7.</b> İkinci kademe değişimi .....	82
<b>Şekil 7.8.</b> Yaşlandırma işleminde son kademe yapı değişimi .....	82
<b>Şekil 7.9.</b> Yaşlanma süresi - sertlik diyagramı .....	89
<b>Şekil 7.10. Al-Cu</b> Çökelme Sertleşmesi Gösteren Alüminyum Alaşımları .....	90
<b>Şekil 7.11.</b> Al – Cu Faz diyagramı .....	91
<b>Şekil 7.12.</b> Al – Cu sisteminde çökelme dayanımı diyagramı .....	92
<b>Şekil 7.13.</b> Sertlik ile Yaşlanma Zamanı Grafiği.....	93
<b>Şekil 7.14.</b> Al – Cu denge diyagramında, çözeltili alma , tavlama ve çökelme işleminin yapıldığı sıcaklık aralıkları belirtilmiştir . .....	94
<b>Şekil 7.15.</b> Sertlik, Çekme dayanımı ve Yaşlandırma basamakları grafiği .....	94
<b>Şekil 7.16.</b> Isıl işlem (yaşlandırma) sıcaklığı ve zamanının Al- %4 Cu alaşımının akma dayanımına etkisi .....	95
<b>Şekil 7.17.</b> Akma Dayanımı - Yaşlandırma zamanı etkisi .....	95
<b>Şekil 7.18.</b> Al-Cu Faz Diyagramında Çok Ani Su Vermenin Malzeme Yapısına Etkisi .....	96
<b>Şekil 7.19.</b> Al – Zn Faz Diyagramı .....	97
<b>Şekil 7.20.</b> 7075 T6 Alüminyum Alaşımının gerilme diyagramı.....	98
<b>Şekil 7.21.</b> Çalışmada kullanılan RRA ısıl işlem çevrim grafiği .....	99
<b>Şekil 9.1.</b> Deneilerde kullandığımız alüminyum alaşımlarına acılan kaynak ağzı .....	112
<b>Şekil 9.2.</b> Kaynak ağzını açan ; 30° pahta'nın fotoğrafı .....	112
<b>Şekil 9.3.</b> Kaynak Ağzı Açılmış Parçamız Ve Ölçüleri .....	113
<b>Şekil 9.4.</b> Çekme deneyinde üniform uzama, büzülme ve kopma .....	137
<b>Şekil 9.5.</b> ( A ) Gevrek malzeme ( B ) Sünek bir malzeme kırılma Şekilleri .....	137
<b>Şekil 9.6.</b> Gevrek ve Sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği .....	137
<b>Şekil 9.7.</b> Eğilme Halindeki Çubuk Üzerindeki Gerilme Dağılımı .....	153

<b>Şekil 9.8.</b> Nokta Eğme Deneyi Düzenegi .....	153
<b>Şekil 9.9.</b> 3 nokta için serbest cisim diyagramı .....	153
<b>Şekil 9.10.</b> Eğilme deneyi sonucunda malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli formüller.....	153



## RESİMLER LİSTESİ

<b>Resim 1.1.</b> Boeing Uçaklarda Kullanılan Malzemelerin Yüzde Dağılımları .....	3
<b>Resim 1.2.</b> Boeing Uçaklarda Kullanılan Malzemelerin Uçak üzerinde Kullanılan yerler .....	3
<b>Resim 2.1.</b> Alüminyum ve Alaşımları Kullanım Yerleri .....	11
<b>Resim 2.2.</b> 2XXX ve 7XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Uçak Üzerindeki Kullanım Yerleri ....	16
<b>Resim 6.1.</b> TIG Kaynak Uygulama Gösterimi .....	35
<b>Resim 6.2.</b> TİG Kaynak Makinası şematik gösterimi .....	44
<b>Resim 6.3.</b> Bileme Acısına Göre Tungsten Uçların Verdiği Kaynak Geometrileri .....	62
<b>Resim 7.1.</b> Taneler ve Tane Sınırı .....	89
<b>Resim 7.2.</b> Hızlı soğutma sonucu oluşan aşırı doymuş $\alpha$ fazı.....	89
<b>Resim 7.3.</b> Yaşlandırma işlemi sonucu oluşan aşırı doymuş $\alpha$ fazı içerisinde meydana gelen $\beta$ faz çökeltileri.....	89
<b>Resim 7.4.</b> Al - %Cu sisteminde sürekli tane sınırlarında çökelen $\theta$ fazı.....	94
<b>Resim 9.1</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımı kaynak ağzı açılma operasyonu .....	113
<b>Resim 9.2</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımı kaynak ağzı açılma operasyonu.....	113
<b>Resim 9.3.</b> TIG Kaynağı yapım sırasında kullanılan koruyucu argon gazının analiz sertifikası aşağıda verilmiştir. ....	114
<b>Resim 9.4.</b> 2024 T351 ve 7075 T651 Alüminyum Alaşımlarının fotoğrafları paylaşılmıştır.....	115
<b>Resim 9.5.</b> 7075 T651 Alüminyum Alaşımının Kendi Kaynak Teli .....	115
<b>Resim 9.6.</b> 2024 T351 Alüminyum Alaşımının Kendi Kaynak Teli .....	115
<b>Resim 9.7.</b> Kaynağı yaptığımız TİG Kaynak Makinası .....	115
<b>Resim 9.8.</b> Kaynak öncesi parçaları sabitleme.....	116
<b>Resim 9.9.</b> Ön Tavlama işlemi .....	116
<b>Resim 9.10.</b> 7075 – T651 Alüminyum Alaşımın kaynak sonrası , kaynak dikişi .....	117
<b>Resim 9.11</b> 2024 – T351 Alüminyum Alaşımının kaynak sonrası , kaynak dikişi .....	118
<b>Resim 9.12.</b> Test Numunelerinin Kesilmiş Fotoğrafları.....	119
<b>Resim 9.13.</b> Zımparalama işlemi görüntüleri .....	120

<b>Resim 9.14.</b> Parlatma İşlemi Görüntüleri .....	121
<b>Resim 9.15.</b> Makro Görüntülerin Bakıldığı Mikroskop .....	122
<b>Resimler 9.16.</b> Makro Sertlik Fotoğrafları , Test Numuneleri ITAB Bölgesi.....	122
<b>Resim 9.17.</b> Mikro Sertliğin Bakıldığı Mikroskop .....	124
<b>Resimler 9.18.</b> Mikrosertlik mikroskop çekimi fotoğrafları .....	124
<b>Resimler 9.19.</b> Isıl İşlemin Yapıldığı Fırın Görüntüleri .....	131
<b>Resim 9.20</b> Vickers Sertlik Ölçüm cihazı .....	133
<b>Resim 9.21</b> Vickers sertliği ölçülen kaynak noktaları .....	133
<b>Resim 9.22.</b> Çekme deneyinde kullanılan cihaz fotoğrafları .....	136
<b>Resimler 9.23.</b> Çentik Darbe Deneyi - Kırılan Parçaların Resimleri .....	147
<b>Resimler 9.24.</b> Çekme Deneyi Kırılan Parçaların Kırılma Yerleri ve Kırılma Şekilleri .....	149
<b>Resimler 9.25.</b> Laboratuar Deneyleri İçin Hazırlanmış Numunelerin Deney Sonrası Fotoğrafları ...	150
<b>Resimler 9.26.</b> Eğme Deneyi – Parçaların Eğilme Yerleri Ve Eğilme Şekilleri .....	154

# 1 . BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1. GİRİŞ

Havacılık sanayinde , ilk uçuş denemelerinden , günümüze kadar gecen sürede , savunma sanayinde , kullanılan stratejik düşünceler , bir asırlık kısa sayılabilecek bir sürede , büyük gelişmeleri beraberinde getirmiştir.

Uzun mesafelerin kısa sürelerde aşmak başta olmak üzere , yüksek hareket kabiliyeti ve esnekliği gibi üstünlükler, uçakları diğer araçlardan önemli bir noktaya getirmiştir. Uçak sanayinin hızlı gelişmesinin ana sebepleri de bu üstünlükleridir.

Geçtiğimiz yüzyılda insan oğlu gerek askeri savunma sanayinde , gerekse ticari faaliyetlerde havacılıkta uçakların bütün faydalarından yararlanırken, önemli bir gerçeği de öğrenmiştir. Buda en ufak hataların bile bedelinin çok ağır olabileceği gerçeğidir. Öğrenilen bu gerçek üretimden kontrole , kullanımdan bakıma bütün uygulamaların ciddiyetini arttırmıştır. [ 7 ]

Son yıllarda sürekli olarak gelişen ve bu gelişmesini durmaksızın devam ettiren uzay - uçak endüstrisinde kullanılmak üzere hafif, dayanımı yüksek ve istenilen özelliklere sahip malzemelere olan ihtiyaç artmakta olup, bu ihtiyaçları karşılamak üzere malzeme bilimi alanında yoğun çalışmalar yapılmakta, yeni metal esaslı, kaynaklı birleştirme teknikleri , malzemelerin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

Uçak sanayisinde en çok kullanılan alüminyum alaşımları, 2000 T351 ve 7000 T 651 serisi hadde alüminyum alaşımları ile nispeten bu iki seriye oranla daha düşük mukavemet özelliklerine sahip olmasına karşın sahip olduğu yüksek kaynak kabiliyetlerinden dolayı tercih edilen ( örnek : 6000 serisi ) alüminyum alaşımlarıdır. [ 28 ]

Yakın geçmişte, kaynaklı imalatta kat edilen yol , yeni metotların ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi ile kaynaklı imalatta tercih edilmeyen 2000 T351 ve 7000 T 651 serisi alüminyum alaşımlarının yüzünü güldürmüş hem askeri hem de sivil uçaklardaki kullanım yüzdelerinin artması, alüminyum üreticilerini araştırmalara sevk ederek bu iki tip seriden yeni tip kaynak metotları ile uzay – uçak sanayisinde kullanım oranını arttırmıştır.

Bu çalışmada, uçak sanayisinde kullanılan haddelenmiş alüminyum alaşımlar ile bu alaşımların kimyasal bileşimleri, kullanım yerleri, yorulma dayanımları , korozyon dirençleri, mekanik ve fiziksel özellikleri konularında detaylı bilgiler verilmiştir .

Yine ayrıca bu haddelenmiş alüminyum alaşımlarının birleştirilme yöntemleri ile TiG kaynağı ve elektrot tellerinin secimi , kaynak özellikleri üzerine ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Havacılığın diğer önemli bir gerçeği ise uçabilmekle hafifliğin neredeyse eş anlamlı olmasıdır. Uçakların daha hızlı uçabilmesinin, menzillerinin daha uzun, yakıt sarfiyatının daha az

olabilmesinin, daha yüksek irtifalara çıkabilmesinin ve daha fazla yük taşıyabilmesinin yolu hafiflikten , hafifliğin yolu ise kullanılan malzemelerden geçmektedir.

Bahsedilen bu sebepler ; yüksek dayanımdan vazgeçmeden hafif ve uzun ömürlü malzemelerin, halen devam etmekte olan gelişim , üretim ve kullanım durumu yaratmıştır.

Havacılık sanayisinin savunma sanayinden , uzay sanayisinden bağımsız olarak düşünmemek gerekir. Her iki alandaki gelişmeler de birbiriyle bağlantılı ve paraleldir. Burada bahsedilen iki önemli gerçek havacılık ve savunma sanayinde gelişmelere paralel olarak önemini her geçen gün biraz daha arttıran uzay araçlarında ki gelişmelerdir.

Gerek havacılık ve savunma sanayinde , gerekse uzay çalışmalarında sorumluluklar, maliyetler ve olası kayıplar çok yüksek olduğu için üretilen, kullanılan ve geliştirilmekte olan malzemeler olabileceğinin en doğrusu ve en iyisi olmak zorundadır.

Bu çalışma, havacılık ve savunma sanayinde kullanılan alüminyum alaşımları 2024 T351 ve 7075 T651 malzemeleri ve özelliklerini tanımaya yönelik olarak hazırlanmış bir çalışmadır.

Belirttiğim alüminyum alaşımlarının tek başlarına işe yaramadığı düşünülmelidir. Kaynaklı birleştirme endüstrisindeki ilerleme , kaynak yapılmasında zorluk gösteren bu alaşımları kaynaklanabilir hale getirmeye yönelik çalışmaların tamamını içermektedir.

Uzun zamandan beri adından en çok bahsettiren Alüminyum Alaşım malzemeleri 2024 T351 ve 7075 T651 serisi malzemeler , havacılıkta ve savunma sanayinde bir çok kullanım sahası bulmuştur. Gelecek yüzyılda kullanım oranlarının giderek artacağı gözükmemektedir. Bu nedenle alüminyum ve alaşımlarından 2024 ve 7075 serisi detaylı olarak değinilmiştir.

## **1.2. UÇAKLARDA KULLANILAN MALZEMELER**

Günümüzde uçaklarda kullanılan malzemeleri ; [ 29 ]

\*\* metal malzemeler

\*\* kompozit malzemeler

\*\* plastik malzemeler

\*\* cam malzemeler

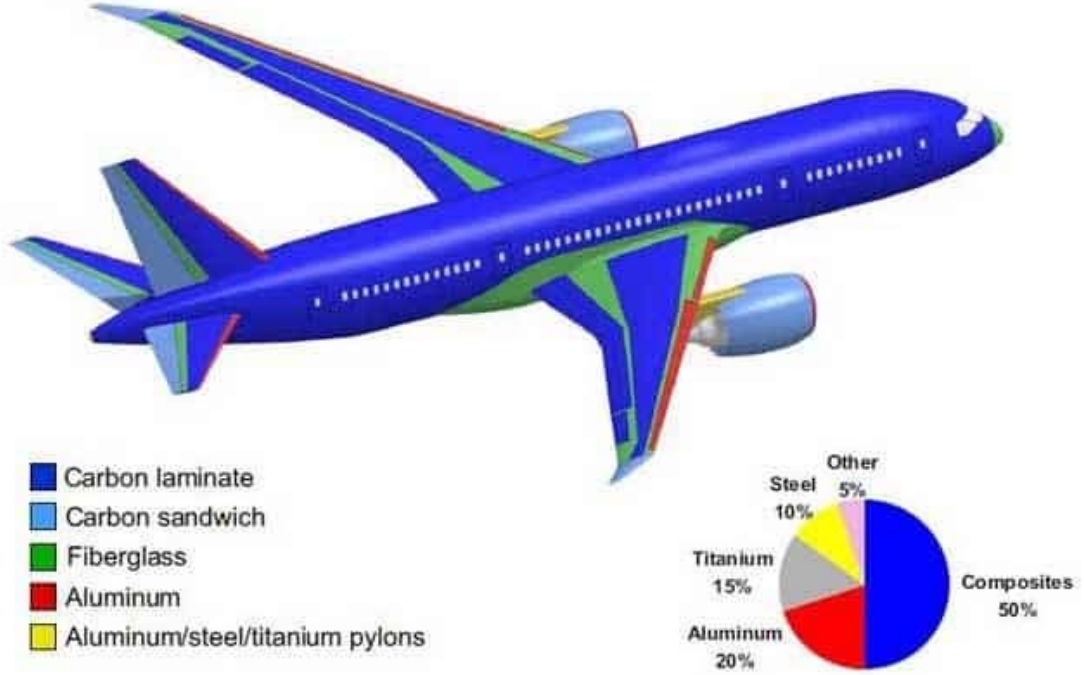
Olarak 4 grupta sınıflandırabiliriz. Metal esaslı malzemeleri acarsak, \*\* paslanmaz çelikler

\*\* nikel alaşımlar

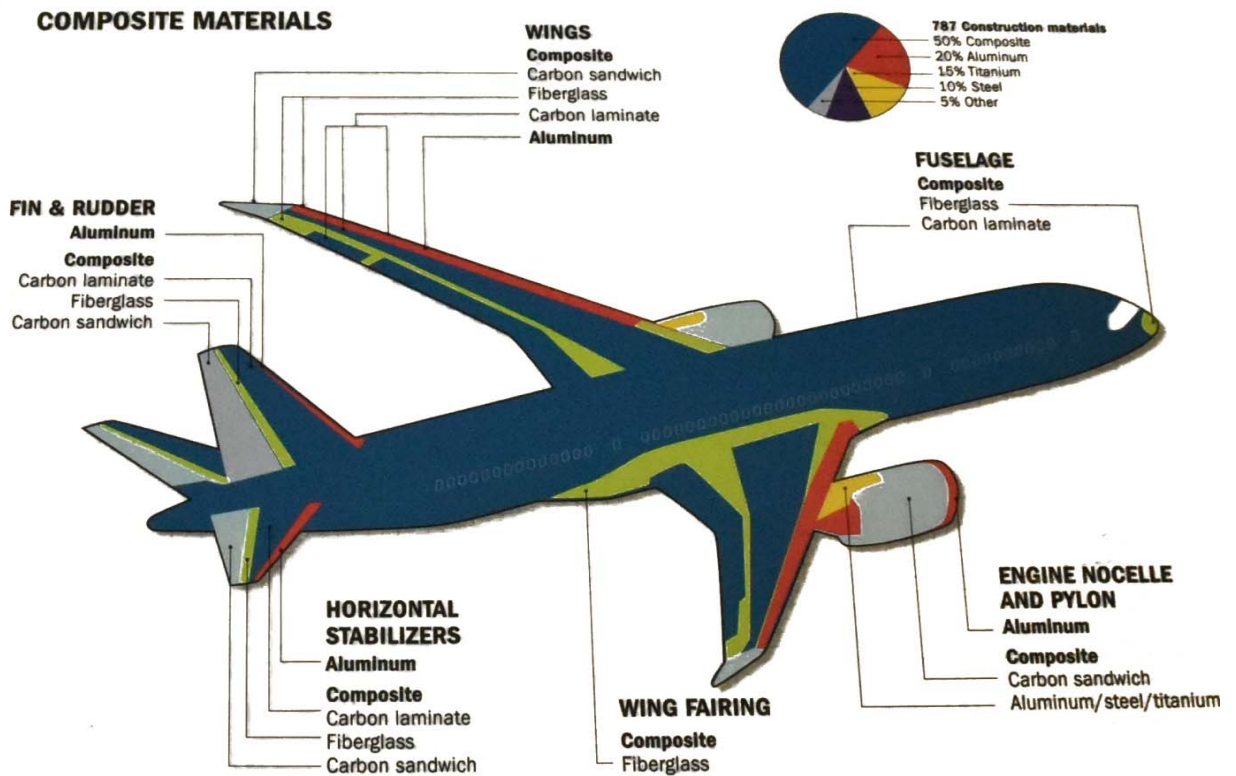
\*\* alüminyum alaşımları

\*\* titanyum alaşımları





Resim 1.1. Boeing Uçaklarında Kullanılan Malzemelerin Yüzde Dağılımları Gösterilmiştir



Resim 1.2. Boeing uçaklarında kullanılan malzemelerin , uçak üzerinde kullanım yerleri gösterilmiştir.

### 1.3. HAVACILIK SANAYİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN SEÇİMİ

Her alanda , her sektörde hızla gelişen teknoloji , imalat sektöründe , imalat mühendislerini , malzeme mühendislerini farklı çözüm yolları bulmaya kanalize etmektedir. Hassaslık gerektiren uygulamalarda , yeni teknolojinin kullanım eğilimi artarken , diğer taraftan malzeme seçim kriterleri kendi önemini hissettirmektedir. Çoğu gelişmiş ülkeler gelişmişliklerini değerlendirirken havacılık , savunma , uzay sanayisinde gösterdikleri performans ile kendilerini değerlendirmektedirler. Havacılık , savunma , uzay sanayisinde uygulamaların başında risk faktörü gelmektedir. Bu endüstri temelde incelendiğinde etkili faktörlerin başında malzeme konusunun büyük rol oynadığı görülmektedir. Uçak malzemelerinin seçimine karar verirken birçok hususu göz önünde bulundurmak gerekir. Bu hususların en önemlileri , malzemelerin mekanik özellikleri ile ilgili olanlardır. Bu özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz. [30]

Havacılık , savunma , uzay sanayinde kullanılacak malzemelerin seçiminde

- \*\* Dizayn ( tasarımın ) mukavemetinin ağırlığa oranı
- \*\* Kırılma dayanımı ve çatlak yayılma davranışı , Yorulma karakteristikleri
- \*\* Baskın arıza tipleri
- \*\* Hasar ve korozyon toleransı , korozyon özellikleri
- \*\* Mevcut imalat kolaylıkları
- \*\* Malzemenin maliyeti , imalat maliyeti
- \*\* Pazar gerekleri
- \*\* Çevresel şartlara gösterdiği kararlılıklar ( özellikle ısı ve strese maruz kaldığı çalışma ortamında, orijinal fiziksel ve de mekaniksel özelliklerini devam ettirebilmesi )

v.s bahsettiğim faktörler önemli rol oynamaktadırlar .

Kabul edilebilir bir maliyette ve de istenilen formda nihai ürünün elde edebilmekte önemlidir.

Bu genel özelliklerin yanında, malzemelerin kullanım alanlarına bağlı olarak , istenilen bazı özel kriterler ise şunlardır.

- \*\* Erozyon ve abrazyon
- \*\* Diğer malzemelerle uyumluluk ,
- \*\* Isı ve elektriksel karakteristikler
- \*\* Aşınma dayanımı ( wear ) yükseltmek için sert yüzey kaplaması

Bütün bu kriterlerin ışında, gerekli mukavemet değerlerine sahip, düşük yoğunlukta malzemeler seçildikten sonra onlara konstrüksiyonda istenilen şekillerin verilebilmesi ancak uygun birleştirme yönteminin ve buna bağlı olarak ısıl işlemlerin uygulanması ile mümkün olabilmektedir. [28]

## 1.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Alüminyum ve alüminyum esaslı alaşımlar spesifik mukavemetlerinin oldukça iyi olması ve yüksek korozyon dirençleri nedeniyle uçak endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulmaktadırlar. Son zamanlarda, alüminyum alaşımlarına kaynaklanabilme özelliğinin de kazandırılması ile bu endüstrideki kullanımları önemli ölçüde arttırılmıştır.

Alüminyum ve alaşımları, havacılık endüstrisine, savunma sanayisine 1930 'larda girmiştir. O günden bu güne hem alüminyum sektöründe hemde havacılık ve savunma sanayisinde bir çok gelişmeler olmuş ve bu gelişmeler birbirini etkileyerek alüminyum alaşımlarını havacılık ve savunma endüstrisinin demirbaş malzemesi durumuna getirmiştir.

Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri çok az miktarlarda da olsa metalin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun yanında alaşıma uygulanan çeşitli işlemler sonucunda mekanik özelliklerin uygun kombinasyonları elde edilebilmektedir.

Alüminyum hava taşıtlarında kullanımının ilk zamanlarında oldukça iyi bilinen **Al-Cu ( 2XXX )** **Al-Zn ( 7XXX )** serisi alaşımlar kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sonrası ticari taşımacılık amacıyla kullanılan hava taşıtlarının geliştirilmesi yüksek mukavemetli üst kanat alaşımlarını ön plana çıkarmıştır. [2-31- 7]

Kullanım Yeri	Alaşım
Silindir kafalarında	2024 - T6 veya T72
Uçak kanadı ana kirişi ve diğer Bağlantı malzemelerinde	2024 - T6 7075 - T6
Uçak dış kaplamasında	2024 - T6 7075 - T6
Motor pistonlarında	2024 - T6
Pervanelerde	2024 - T6
Perçinlerde	2024 - T4
Yağ boruları ve burçlarda	2024 - T4
Hidrolik ( borularda ) aksamında	2024 - T3

**Tablo 1.1.** Alüminyum Alaşımlarının Uçaklar' da Genel Kullanım Yerleri

## 2 . BÖLÜM

# ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ

### 2.1. ALÜMİNYUM

Alüminyumun endüstride kullanımı her geçen gün artmakta olup, alüminyum ve alaşımlarının üstün özelliklerinden dolayı hafifliğin, mukavemetin , korozyon dayanımının, önde olduğu bir çok tasarımda vazgeçilemez malzeme olmuştur.

Alüminyum ağırlıkça hafiftir. Ayrıca elektrik ve ısı iletkenlik açısından çok iyidir. Korozyon dayanımı açısından da başarılı olup, ayrıca zehirli değildir ve doğa dostudur.

Alüminyum döküm yöntemi ile üretilip döküm şekli ile de kullanılabilir, ayrıca dövülüp dövme şeklin' dede üretimi söz konusudur. Çünkü şekillendirilebilme kabiliyeti oldukça iyi olup, şekillendirmeden sonra üstün yüzey kalitesi elde edilir. Alüminyum, sahip olduğu dile getirilen bu olumlu özellikleri sayesinde mühendislik malzemesi olarak pek çok alanda yer bulabilmektedir.

Alüminyumun yoğunluğu  $2,7 \text{ g/cm}^3$  olup, çelik  $7,83 \text{ g/cm}^3$  ve bakır  $8,93 \text{ g/cm}^3$  gibi metallerin yoğunluğu ile kıyaslandığında oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dayanım açısından çeliklerden zayıf olmasına rağmen geometrik açıdan yapılacak iyileştirmelerle çeliğe yakın bir dayanıma ulaşabilmektedir. Pek çok yapı ve makine elemanlarında alüminyum alaşımlarının kullanılması hafiflikten dolayı avantaj sağlamaktadır. Düzgün bir mühendislik tasarımı sonrasında, elde edilen yapı neredeyse yarından daha fazla olacak kadar bir hafiflik sağlayabilmektedir.

Alüminyum ve alaşımlarından imal edilmiş ürünlerin hemen hemen dörtte biri taşıtlarda kullanılmaktadır. Tahmin edileceği üzere bir aracın ne kadar hafif olması , o kadar az enerji tüketmesini sağlayacaktır. Bu sayede yakıt tüketimi azalacak, sağlanan hafiflikten dolayı daha çok yük taşıma kapasitesi artacaktır.

Alüminyum hafif metaller grubuna giren ve teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Alüminyum düşük özgül ağırlığının (  $2,7 \text{ g/cm}^3$  ) yanı sıra, yüksek elektrik ve ısı iletkenlik.

Periyodik cetvelde 13 atom numarası ve Al simgesi ile IIIA grubunda yer alan sünek bir metaldir.

Yumuşak ve hafif bir metal olan alüminyum, mat gümüşümsü bir renktedir. Rengini havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından alır.

Pasivasyon özelliği sayesinde oksidasyona karşı üstün direnç gösterir.

**Alüminyum diğer avantajlarına gelecek olursak ;**

- \*\* Alüminyum çelikten 3 kat hafiftir.
- \*\* Çelikten daha dayanıklı alüminyum alaşımları vardır.
- \*\* İyi iletkenidir.
- \*\* Estetik görünümlüdür.

- \*\* Mukavemeti yapı çeliğinden daha güçlüdür.
- \*\* Elastikiyeti ve düşük sıcaklıklardaki darbe dayanımını yüksektir.
- \*\* Elektriği ve ısıyı bakır kadar iyi iletir.
- \*\* Kolay şekil alır ; ekstrüzyon , döküm, haddeleme



Genellikle boksitten elde edilir.

Boksitten alüminyum üretimi oldukça maliyetli bir işlemdir.

Hurda ergitme için enerji kullanımında en önemli metal Al ' dir. Benzer sonuç aynı oranda' da olsa Zn için de geçerlidir. Buna karşılık Cu ' da hurdadan üretim için gerekli enerji cevherden Cu elde si için gerekli enerjiden daha fazladır. Çünkü hurdadan Cu elde sinde çok enerji kullanımı oldukça fazladır.

Alüminyum ilk hafif alaşım ve oksijen ve silisyumdan sonra yer kabuğunda çok bulunan 3. Elementtir. En çok kullanılan 2. Önemli metaldir. ( 1. sırada çeliktir ) ve uçak endüstrisinde oldukça yaygın kullanılır.

Yer kabuğunun ağırlıkça 46.1 % ' i oksijen ( gaz ) ve % 28.2 ' si Silikondur ( yarı metal ) . Bu iki elementin ardından ağırlıkça en baskın 3. Element % 8.2 ile alüminyumdur. Dolayısıyla alüminyum, yer kabuğundaki elementler içinde ağırlıkça en baskın olan metaldir. Aynı zamanda alüminyum, demir ve çelikten sonra en çok kullanılan metaldir

Uzay , savunma , uçak, nakliye araçları, mimari uygulamalar, inşaat sektörü , elektrik, ambalaj , elektronik , makine , kimya , gıda endüstrilerinde yaygın olarak kullanım alanlarına sahiptir.

## 2.2. NEDEN ALÜMİNYUM ?

Alüminyum , fiyat, dayanıklılık ve hafiflik özellikleri ile birlikte değerlendirildiğinde birçok sektöre için en optimal malzeme olarak karşımıza çıkıyor.

\*\* Daha ucuzu yada daha hafifi var mı ? var ama bu kadar dayanıklı değil

\*\* Daha dayanıklısı var mı ? var ama bu kadar hafif değil

Bu sebeple de alüminyum farklı sektörlerde farklı uygulamalarda tercih ediliyor. Alüminyumu farklı üretim metodlarıyla işlemek mümkündür. Bu üretim metodlarının gerektirdikleri ve kullanım alanının ihtiyacına göre, farklı alüminyum alaşımları kullanılarak belli fiziksel, kimyasal yada elektriksel özellikleri optimize edebiliyoruz.

Alüminyum orijinal özelliklerinden herhangi birini kaybetmeksizin % 100 oranında geri dönüştürülebilir bir malzemedir.

Dünya üzerinde üretilen alüminyumun % 75 'i halen kullanımdadır ve alüminyum geri kazanımda , birincil alüminyum üretiminde kullanılan enerjinin % 5 'i kullanılır. Buda birlikte düşünüldüğünde sürdürülebilir ve çevreciliğiyle ön plana çıkar . Avrupa'da bulunan tüm alüminyum kutuların yaklaşık % 70 'i geri dönüştürülmüştür.

Alüminyum , hava koşullarına ve korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Alüminyum' un doğal korozyon önleyici kaplaması bulunur. Ayrıca eloksal ( kontrollü oksitlendirme ) ile oksitlenmesi ( korozyon ) engellenir. ( eloksal aynı zamanda istenen yüzey görünümünün elde edilmesini sağlar. )

Alüminyum doğası gereği yüksek bir kimyasal dirence sahiptir, yani bakımı kolaydır.

Alüminyumun, çeliğe kıyasla enerjiyi emme yeteneği daha fazladır. Bu sebeple yangın ve patlama direnci, kurşun geçirmez ve hırsızlığa dirençli sistemler gibi güvenlik amaçları için kullanılır.

Gemi uygulamalarında düşünüldüğünde ise çeliğe kıyasla **100 kat** daha yavaş korozyona uğrar.

Alüminyum bakıra kıyasla ise daha hafif ve ucuzdur.

### **2.3. ALÜMİNYUMUN ÖNEMİ**

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımlı malzemelerin üretimi ve birleştirilebilirliği üzerine yapılan araştırma ve çalışmaların büyük bir çoğunluğunda, önemli başarılar elde edildiği görülmektedir.

Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları, kopma olmaksızın çelikte aynı yükü taşımaları halinde aynı kesit ve boy için çelikten daha hafiftir.

### **2.4. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ**

Alüminyum ' un fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmekle beraber genelde alaşım olarak karşımıza çıkacak alüminyumun kimyasal kompozisyonunu, üretim prosesini ve sertleştirme aşamalarının tanımlamadan bu değerler yanıltıcı olacaktır. [ 18 - 19 ]

#### **2.4.1. Temel özellikleri**

Atom numarası 13

Element serisi metaller

Grup , periyot, blok 13, 3, p

Görünüş ; Gümüşümsü

Atom ağırlığı 26,9815386(8) g/mol

Elektron dizilimi 1s<sup>2</sup>, 2s<sup>2</sup>, 2p<sup>6</sup>, 3s<sup>2</sup>, 3p<sup>1</sup>

Enerji seviyesi başına elektronlar 2, 8, 3

## 2.4.2. Fiziksel özellikleri

Maddenin hali katı  
Yoğunluğu 2,70 g/cm<sup>3</sup>  
Sıvı haldeki yoğunluğu 2,375 g/cm<sup>3</sup>  
Ergime noktası 660,32 °C  
Kaynama noktası 2519 °C  
Ergime ısı 10,71 kJ/mol  
Buharlaşma ısı 294,0 kJ/mol  
Isı kapasitesi 24,2 J ( mol.K)

## 2.4.3. Atom özellikleri

Kristal yapısı yüzey merkezli kübik ( YMK yapıdır )  
Yükseltgenme seviyeleri ( 3+ ) ( amfoter oksit )  
Elektronegatifliği 1,61 Pauling ölçeği  
İyonlaşma enerjisi 577,5 kJ/mol

## 2.4.4. Diğer özellikleri

Elektrik direnci 26,50 nΩ ·m ( 20 °C ' de )  
Isıl iletkenlik 237 W(m·K)  
Isıl genleşme 23,1µm/( m·K) (25 °C ' de )  
Ses hızı 5000 m/s ( 20 °C ' de )  
Mohs sertliği 2,75  
Vickers sertliği 167 MPa  
Brinell sertliği 245 MPa

## 2.5. ALÜMİNYUMUN ELDE EDİLMESİ

Doğada çok bulunan bir metal olmasının getirdiği avantaja rağmen serbest halde çok nadir görülen alüminyum genelde boksit cevheri halinde bulunur. Saf alüminyum, boksitten alümine çıkarılmasıyla elde edilir. Bunun gerçekleştirilmesi 1886 ' da Bayer Prosesi ' nin kullanılmaya başlamasıyla ancak mümkün olur.

Boksitten alümina elde edildikten sonra da elektroliz yöntemi ile Alümina'dan Alüminyum elde edilmesi gerekir.

Yerkabuğunun en baskın metal, bir zamanlar altın dan bile değerliydi. Elektroliz yöntemi 1920' lerde kullanılmaya başlandığında Alüminyum 'un maliyeti % 80 azaldı. Dolayısıyla alüminyum üretiminin hızlıca artması ancak 1960' lardan sonra mümkün oldu.

Ağırlıkça örneklendirdiğimizde ; 4 birim boksit : birim alümina 'ya,

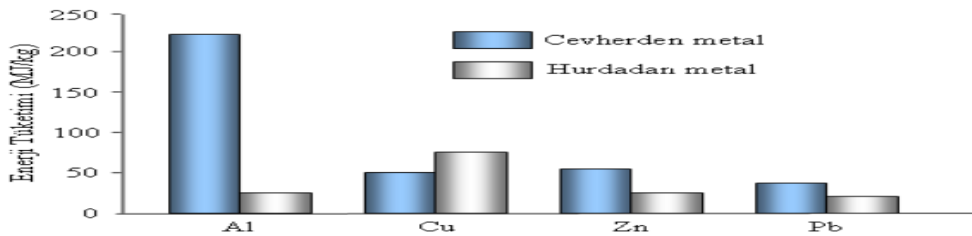
2 birim alimina da : 1 birim alüminyum'a dönüştürülmüş olur.

## 2.5.1. Birincil alüminyum üretimi

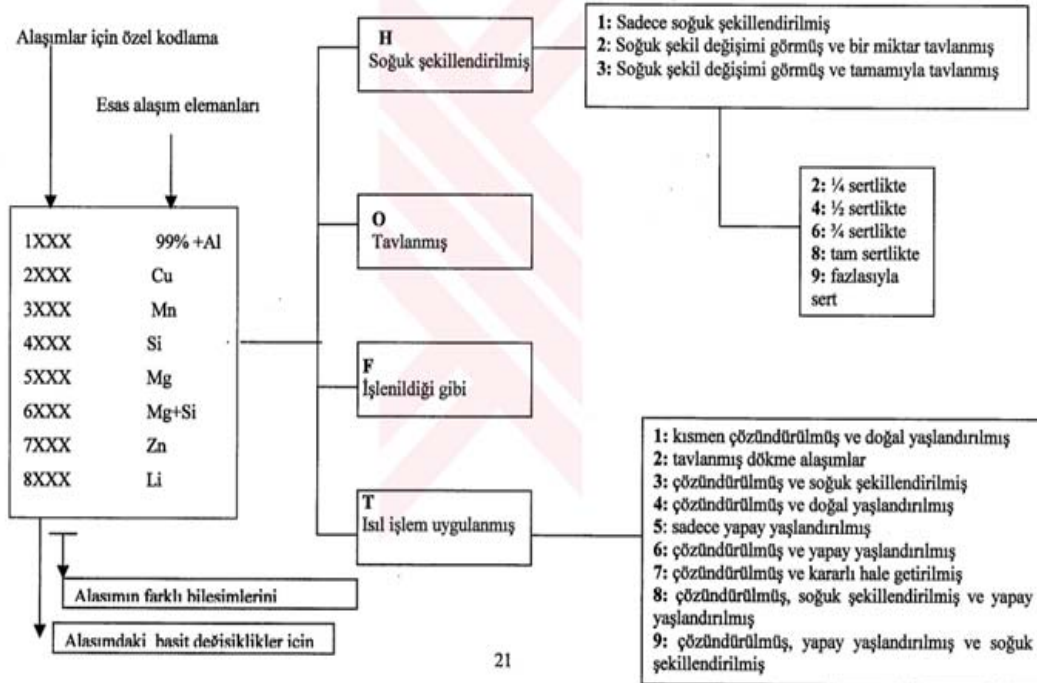
Boksit madenciliğiyle başlayan, boksit cevherinden bayer prosesi ile alümina, alüminadan da elektroliz yoluyla alüminyum elde' sine birincil alüminyum üretimi diyoruz.

## 2.5.2. İkincil alüminyum üretimi

Alüminyumun geri kazanımının, cevherinden eldesine göre ekonomik olması ve % 100 geri dönüştürülebilirliği sayesinde zaman içinde hurdalardan geri kazanıma verilen önem de arttırmıştır. Hurdalardan geri kazanımla alüminyum elde edilmesine ikincil alüminyum üretimi diyoruz. İkincil alüminyum üretimi, birincil alüminyum üretimine göre % 5 – 8 daha az enerji gerektirdiğinden ekonomiktir.



Tablo 2.1. Cevher metalden ve Hurda metalden Alüminyum Alaşım üretimi



21

Tablo 2.2. Alüminyum alaşımları ve ısıl işlem süreçlerinin grafikselleştirilmesi



## 2.6. ALÜMİNYUM KULLANIM ALANLARI

- \*\* Savunma sanayi
- \*\* Gemi sanayi
- \*\* Havacılık ve Uçuş sanayi
- \*\* Kalıp ve sanayi
- \*\* Plastik ve Ambalaj sanayi
- \*\* İhtiyacın olduğu, uygun inovatif çözümlerin istenildiği yerlerde



Resim 2.1. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım yerleri

## KATKI ( ALAŞIM ) ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİLERİ

<b>ÇİNKO</b>	Dökülebilirliği artırır, Yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler. % 10' dan yüksek alaşımlar zayıf gerilmeli korozyon direnci gösterirler
<b>BAKIR</b>	Alüminyuma; sertlik, dayanım, dökülebilme özelliği ve işlenebilme kolaylıkları sağlar. Bakır % 33 oranında alüminyumla ötektik bileşim verir.
<b>SİLİSYUM</b>	Alüminyumun içinde çok az ergir (%1-1.5). Silisyum %12 oranında alüminyumla ötektik bileşim yapar. Kristalleri inceltir iyi özellikler kazandırır. Ergime derecesi düşer(565 °C), mekanik özellikleri ve sıcak dayanımı yükselir, akıcılığı artar. Silisyum miktarı artınca işlenmeye karşı sertlik meydana gelir.
<b>MANGANEZ</b>	Alüminyum içinde çok az (%0.3) ergir Ergime derecesini yükseltir, Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır. Alaşımların tokluk ve süneklik özelliklerini artırır.
<b>MAGNEZYUM</b>	Magnezyum % 33 oranında alüminyumla ötektik bileşim verir. Özgül ağırlığı az olduğu için girdiği alaşımın özgül ağırlığını düşürür. % 6'dan fazla Mg içeren alaşımlarda çökelme sertleşmesi oluşur.
<b>DEMİR</b>	İğneli doku biçiminde kristallenir. İğneli doku kristallerin oluşması tehlikeli olur. Mekanik dayanımları azaltır.
<b>NİKEL</b>	Korozyon dayanımını iyileştirir, parçalara kalıcı parlaklık verir.
<b>TİTAN</b>	Bor ile birlikte alüminyum alaşımlarında tane inceltici olarak kullanılır.

Tablo 2.3 : Katkı Elementlerinin Alüminyuma Etkileri

## 2.7. SAF METALLERİN SAKINÇALARI

- Saf metallerin elde edilmeleri zor ve pahalıdır
- Hacimsel çekmeleri fazladır.
- Saf metaller yumuşaktır.
- Özellikleri sınırlıdır.
- Ergime sıcaklıkları yüksektir.
- Akıcılıkları düşüktür.
- Dökülebilmeleri oldukça zordur [ 6 ]

## 2.8. ALAŞIMLARIN YARARLARI

- Alaşımın özellikleri katkı maddelerine bağlı olarak sınırsız oranda değiştirilebilir.
- Hacimsel çekmeleri azdır.
- Ergime sıcaklıkları düşüktür.
- Akıcılıkları fazladır . [ 6 ]

## 2.9. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI



**Alüminyum elementlerine ve ısı işlemlere bağlı olarak , alüminyum sınıflandırılması ;**

- Görünüşe
- Fabrikasyon kolaylığı .
- İyi bir korozyon direnci .
- Yüksek dayanım - ağırlık oranı
- Kaynak edilebilirlik .
- Yüksek kopma dayanımı

gibi birçok çeşitli özellikler sağlayabilmektedir. Uygun alüminyum sınıfı seçimi, istenilen uygulamaya ve çalışma koşullarına bağlı olmaktadır.

**Alüminyum alaşımlarının, \*\* mekanik, \*\* fiziksel ve \*\* kimyasal özellikleri**

- 1.) alaşım elementlerine
- 2.) mikro yapısına bağlı olarak değişir.

Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri

**\*\* bakır, \*\* mangan, \*\* silisyum, \*\* magnezyum ve \*\* çinkodur.**

**Alüminyum alaşımları \*\* dövme ve**

**\*\* döküm alaşımları ,** olarak iki gruba ayrılır.

**Dövme alaşımlarının** : plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıl işlem uygulanabilmektedir.

Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri **bakır, mangan, silisyum, magnezyum** ve çinkodur. Alüminyum alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum alaşımlarının büyük bir kısmına ısıl işlem uygulanabilmektedir. Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

## **2.10. 2XXX SERİSİ** [14]

Al - Cu alaşımları olarak adlandırılır. Esas alaşım elementi bakırdır.

%6,3'e kadar bakır içerir.

Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir.

Çökelme sertleştirmesi gösterir.

Diğer alüminyum alaşımları kadar iyi bir korozyon direncine sahip değildir.

Kaynak kabiliyeti, alaşıma bağlı olarak kötü ile orta arasındadır.

Bu serilerin iyi tarafı 150°C (300°F)'ye kadar olan sıcaklıklarda iyi bir dayanım göstermeleridir.

Yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe, uçak gövdesi yapımında ve mekanik elemanları, araç gövde panelleri gibi ürünlerin imalatında yaygın bir şekilde kullanılır.

Bu işlemler akma dayanımını -uzamadan kaynaklanan kayıplar-, arttırmakta ve çekme dayanımının çok iyi olmamasına sebep olmaktadır.

2024 alüminyum serisi, en yaygın alüminyum çeşidi olup, uçak tasarımında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Mekanik özelliklere eşdeğer veya biraz üstündeki ısıl işlem koşulları çözümleri ve bu düşük karbon çeliklerindeki optimum özellikleri elde ederek için ısıl işleme çözüm sağlamaktadır. anılmaktadır.

2xxx alüminyum alaşım serileri, diğer alüminyum alaşımları kadar iyi bir korozyon direncine sahip değildir ve bu korozyon koşullar altında tanecikler arası korozyona maruz kalabilirler.

Yalnız 2219 serisi bu durumun dışında olmakta ve kaynak edilebilirlik yönünden sınırlı tutulmaktadır ancak, bu serideki bazı alaşımlar üstün işlenebilme kabiliyetine sahiptirler.

Bazı durumlarda, ısıl işlemden çökelmeleri, diğer mekanik özellikleri arttırmak için kullanılır

Bu alüminyum sınıfları - *Alaşımları: 2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 2010, 2030, 2060, 2240, 2420 vs.*

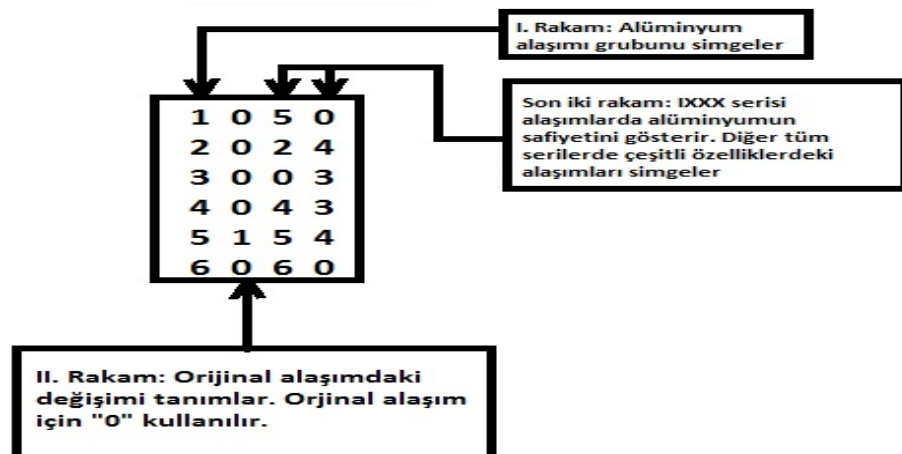
## 2.11. 7XXX SERİSİ [14]

- \*\* Al - Zn alaşımları olarak adlandırılır.
- \*\* Bakır esaslı alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. Çinko esas alaşım elementi olup ( % 1 ile % 8 arasında Zn bulundurur )
- \*\* 1 – 8 % miktarında ana alaşım elementi Çinko içeren ve küçük miktarda magnezyum ve diğer ve bileşenleri içerir
- \*\* 7XXX serisi alüminyum alaşımları genellikle mukavemetini daha çok arttırmak için Mg, Cu, ve düşük oranlarda Mn ve Cr ile birlikte kullanılır.
- \*\* Ayrıca bakır ve krom gibi diğer elementler de genellikle az miktarlarda eklenebilmektedir. Isıl işlenebilir ve yüksek dayanım gösterebilmektedir.
- \*\* 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır.
- \*\* 7XXX serisi alaşımları uçak gövdesi yapımında, mobil ekipmanlarda ve diğer stresli ortamlarda kullanılmaktadır.
- \*\* Yüksek dayanımdaki 7XXX alüminyum alaşımları gerilme korozyon çatlaklarını azaltmak ve hafifce temperlenerek daha iyi koşullar olan ; dayanım , korozyon ve kopma dayanımı sağlayarak sık sık kullanılmaktadır.
- \*\* Gerilmeli korozyonun problem olduğu yerlerde kullanılmaktadır.
- \*\* Uçaklarda ve uçak parçalarının yapımında ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde sıklıkla kullanılır.
- \*\* Uçaklarda ve uçak parçalarının yapımında ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde sıklıkla kullanılır
- \*\* Bakırlı alaşımlar çökeltme sertleştirilebilir.
- \*\* Alaşım ve yöntemle bağlı olarak kötüden çok iyiye uzanan kaynak kabiliyeti yelpazesi vardır.

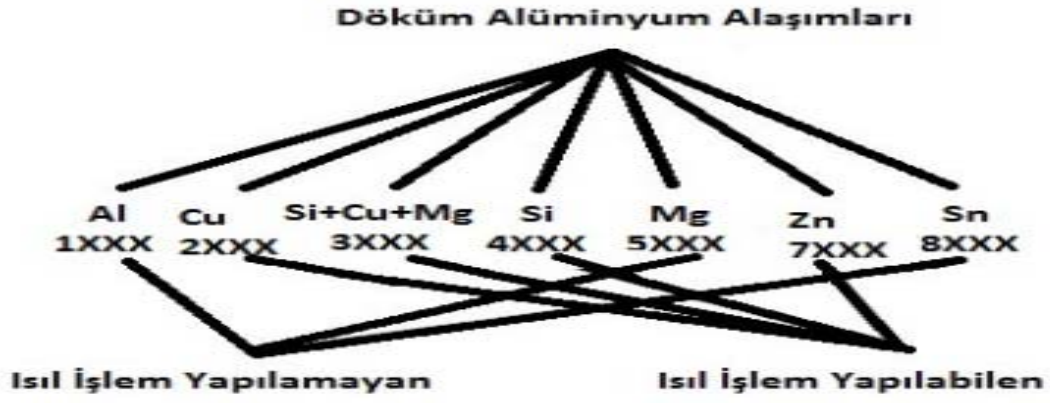
Bu alüminyum sınıfları - *Alaşımlar: 7075, 7050, 7049, 7100, 7110 vs.*

## 2.12. DÖVME ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

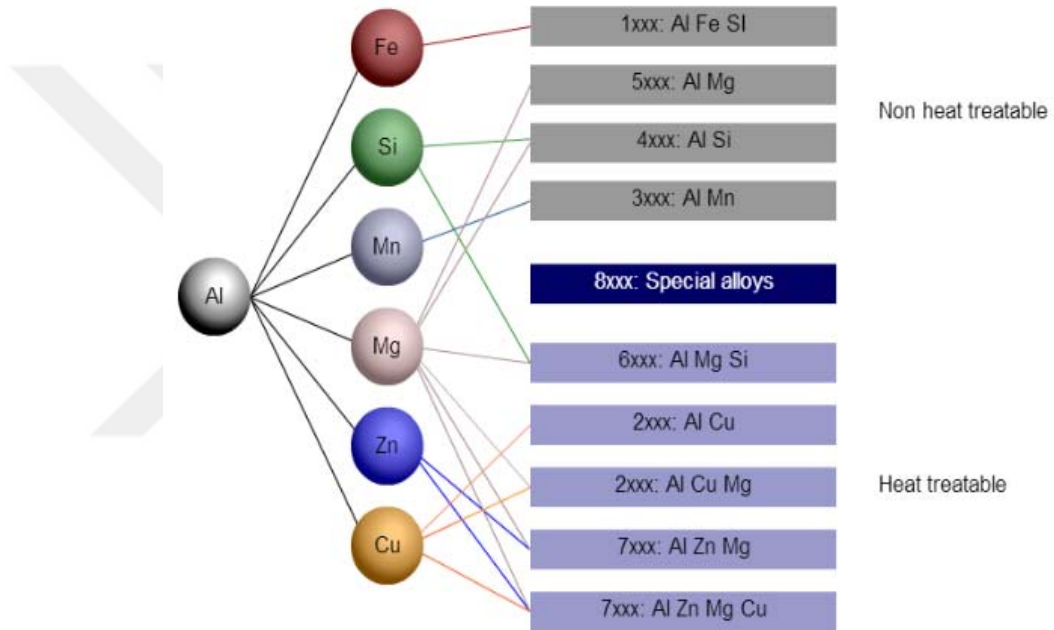
1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serisi dövme alüminyum alaşımları ısıl işlem uygulanmayan alaşımlardır. Bu alaşımlar sadece şekil değiştirme yolu ile sertleştirilebilirler. **2XXX, 6XXX, 7XXX** ve **8XXX** serisi alaşımlar ise ısıl işlem ile sertleştirilebilmektedir.



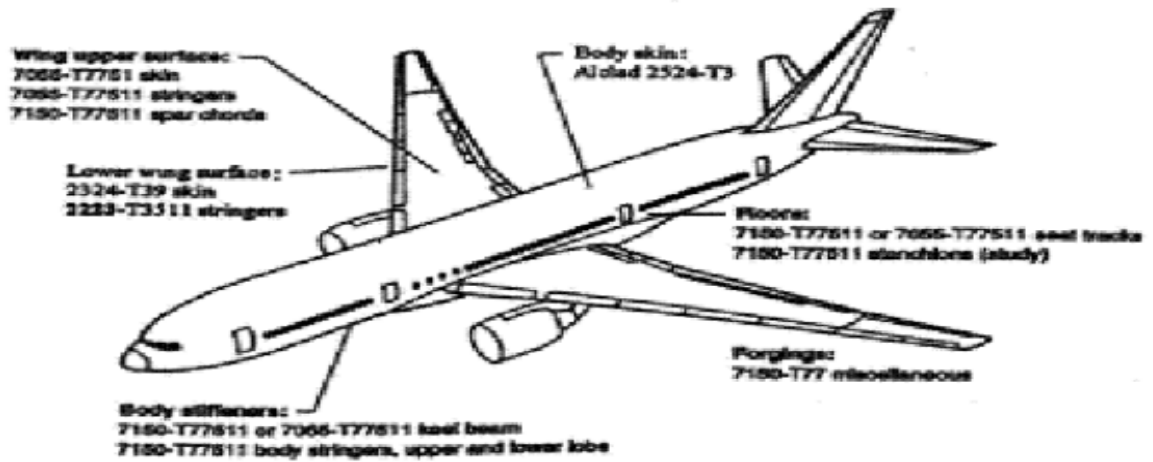
Tablo 2.4. Amerikan Alüminyum Birliğinin Dövme Alaşımları İçin İsimlendirme Kriterleri [ 20 ]



Tablo 2.5. Döküm Alüminyum Alaşımları [ 20 ]



Tablo 2.6. Alüminyum Alaşımlarının sınıflandırılması



Resim 2.2. 2XXX VE 7XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Uçak Üzerinde Yerleri

## 2.13. ALAŞIM ELEMENTLERİN ETKİSİ

NİTELİKLER	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Co	Ti	Mn	Fe	Cr
Çekme dayanımı	++	+	+	++	+	+	+			-
Elastik sınır	++	+	-	+	-					
Sertlik	++		-	-	+			+	+	
Isıya dayanma	++		++		+				+	
Kaynaklanabilirlik	-	++	+	-	-		+	+		+
İşlenebilirlik	++	-	+	+	+		++	+	++	+
Elastikiyet modülü	+	++	-	+	+	++		+	-	
Döküme elverişlilik	+	++	-	+			+	-	-	
Süneklik	-	--	+				+		--	
Korozyona dayanma	-	+	++	+				-	--	++

++ Önerilir

+ İyi

-- Kaçınılacak

- Ortanın altında

**DİKKAT :** Al' u sertleştiren bütün elementler elektrik ve ısısal iletkenliği ve iletkenliği ve uzamayı azaltırlar. Isıl işlemler süneklik ve sertliği

**Tablo 2.7.** Alaşım Elementlerin Etkisi [ 19 ]

## 2.14. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI AKMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİ

Alaşım serisi	Tipik Kompozisyon	Akma Dayanımı ( MPa )	
		Yavaş Soğuma	Hızlı Soğuma
2000	Al + %4Cu + Mg, Si, Mn	130	465
6000	Al + %0,5Mg + %0,5 Si	85	210
7000	Al + %6Zn + Mg, Cu, Mn	300	570

**Tablo 2.8.** Alüminyum Alaşimleri Akma Dayanımı Üzerine Etkisi



## 2.15. OTOMOTİV UYGULAMALARI

\*\* Çelik ile kıyaslandığında % 65 daha hafif

\*\* Ford otomotiv firması çeliğe kıyasla %46 daha hafif otomobil üzerine çalışmaktadır

## 2.16. HAVACILIK UYGULAMALARI

\*\* 7075 isimli alüminyum alaşımı havacılıkta kullanılmaktadır.

\*\* 7075 has çinko ve bakır içermektedir. Bu alüminyum alaşımının kaynaklanmasının zor olmasının nedeni budur.

\*\* 7075 şekillendirilme işlenmesi oldukça iyidir.



## 3. BÖLÜM

### 3.1. 2024 T351 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - KİMYASAL BİLEŞİMİ

AMS 4037 / AlCu4Mg1 / 2024 / T3 / 7351

Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zi + Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	3,8 - 4,9	0,1	0,3 - 0,9	1,2 - 1,8	0,25	0,15	0,15	Kalan

Kimyasal Kompozisyonu	Sembol	% Değer
Silicon	Si	0,00 - 0,50
Chromium	Cr	0,00 - 0,10
Manganese	Mn	0,30 - 0,90
Magnesium	Mg	1,20 - 1,80
Copper	Cu	3,80 - 4,90
Titanium	Ti	0,00 - 0,20
Iron	Fe	0,00 - 0,50
Zinc	Zn	0,00 - 0,25
Aluminium	Al	Balance

**Tablo 3.1.** 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Kimyasal Kompozisyonu [1-3-5-13]

### 3.2. 2024 T351 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Fiziksel Özellikler	Değer
Yoğunluk - 20 ° C ' da	2,74 g/cm <sup>3</sup>
Erime Sıcaklığı - Likudus Sıcaklığı	640 ° C
Isıl Genleşme Katsayısı ( 20 - 200 ° C ' da )	23,1 x 10 <sup>-6</sup> / K
Elastisite Modülü	73 GPa
Isıl Kapasite	121 W/m.K
Elektriksel İletkenlik	% 30 IACS
Solidus Sıcaklığı	502 ° C

**Tablo 3.2.** 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Fiziksel Özellikleri [1-3-5-13]

### 3.3. 2024 T351 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Mekanik Özellikler	Değer
Akma Dayanımı	350 MPa
Çekme Dayanımı	490 MPa
Kesme Dayanımı	285 MPa
Uzama	16%
Elastisite	73 GPa

**Tablo 3.3.** 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Mekanik Özellikleri [1-3-5-13]

### 3.4. 2024 T351 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI UYGULANAN ISIL İŞLEME GÖRE , GÖSTERDİĞİ MUKAVEMET ÖZELLİKLERİ

Temper	Akma Mukavemeti ( Mpa ) min - max	Çekme Mukavemeti ( Mpa ) min - max	Uzama ( % 50 ) min - max	Sertlik ( brinel ) min - max
0	75	185	20	55
T3	340	475	18	120
T6	230 - 300	310 - 395	10 - 12	110
T8	275 - 315	370 - 420	10 - 12	115

**Tablo 3.4.** 2024 T351 Alüminyum Alaşımı Uygulanan Isıl İşleme Göre Gösterdiği Mukavemet Özellikleri [1-3-5-13]

% Uzama ( a ) 3 mm kalınlığındaki levha ,

% uzama ( b ) 12 mm çapındaki yuvarlak numunelerdeki % uzamayı göstermektedir.

Elastik modülü her iki tip üründe de aynı olup,  $7,4 \cdot 10^3$  kg / mm<sup>2</sup> dir. Bu tipik mekanik özellikler çeşitli şekil ve boyuttaki parçaların ortalama mekanik özelliklerini göstermektedir.

### 3.5. 2024 T351 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

	Sıcaklık ° C	Zaman ( saat )	Soğutma hızı
Tam Tavlama	413	2 - 3	260 ° C ' a kadar fırında soğutma
Soğuk işlemin giderilmesi	343	yok	Kritik değil
Solüsyona alma	488 - 499	Tuz banyosunda 10 dakika - 1 saat	Soğuk suda soğutma
Çökeltme ( T4 )	oda sıcaklığı	48	Kritik değil
Çökeltme ( T81 )	188 - 193	11 - 13	kritik değil

**Tablo 3.5.** 2024 T351 Alüminyum Alaşımı 'nın Isıl İşlem Dereceleri [1-3-5-13]

### 3.6. 2024 T351 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - MALZEME KOMPOZİSYONUNUN STANDARTLARI

AMS 4037 aşağıdaki standartlarda olabilir.

AMS QQ – A - 250/4, Alloy 2024, UNS A92024, BS L97

AMS 4041, DIN AlCuMg2, AIR 9048 . 630, 3.1354

AMS 4036, ISO AlCu4Mg, EN 6000 . ABS 5032

### 3.7. 2024 T351 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI ISIL İŞLEM ÇEŞİTLERİNDE TEDARİK

2024 aşağıdaki ısıl işlem çeşitlerinde tedarik edilmektedir. [5]

- O
- T 3
- T 42
- T 81
- T 351
- T 4
- T 62
- T 851
- T 361
- T 72

- T 861

### **3.8. 2024 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - UYGULAMA ALANLARI [5]**

- \*\* Uçak sanayi
- \*\* Havacılık sanayi
- \*\* Uzay sanayi
- \*\* Genel Mühendislik uygulamaları
- \*\* Askeri Ekipman
- \*\* Yüksek sertlik ve işlenebilirlik gerektiren parçalarda
- \*\* Kamyon tekerlekleri
- \*\* Yapısal uygulamalar
- \*\* Perçin
- \*\* Savunma sanayi
- \*\* Otomatik

### **3.9. 2024 T351 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ**

- \*\* Isıl işlem uygulanabilir.
- \*\* Yorulma dayanımı yüksek tir.
- \*\* Kaplama ile korozyon özelliği artar.
- \*\* Orta seviye dayanıma sahip [5]

### **3.10. 2024 T351 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - ÜRÜN ŞEKİLLERİ - STOK Durumları**

- \*\* Levha / Plaka
- \*\* Sac
- \*\* Çubuk
- \*\* Boru
- \*\* Lama
- \*\* Profil çeşitleri [5]

## 4. BÖLÜM

### 4.1 7075 T651 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - KİMYASAL BİLEŞİMİ

Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zi + Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	1,2 - 2,0	0,18 - 0,28	0,3	2,1 - 2,9	5,1 - 6,1	0,25	0,15	Kalan

### AMS QQ - A - 250/ 24 / AlZn5,5 Mg Cu / 7075 / T 651

**Tipik Kullanım Yerleri ;** Çok üstün dayanım ve iyi korozyon direnci gerektiren yerlerde kullanılır . Uçaklarda yapısal malzeme olarak kullanılır

Kimyasal Kompozisyonu	Sembol	% Değer
Silicon	Si	0,00 - 0,12
Tin	Sn	0,00 - 0,00
Chromium	Cr	0,00 - 0,04
Manganese	Mn	0,00 - 0,10
Magnesium	Mg	1,90 - 2,60
Copper	Cu	2,00 - 2,60
Lead	Pb	0,00 - 0,00
Lead	Pb	0,00 - 0,60 / 0,08
Titanium	Ti	0,06 - 0,21
Iron	Fe	0,00 - 0,15
Zinc	Zn	5,70 - 6,70
Nickel	Ni	0,00 - 0,00
Titanium + Zirconium	Ti + Zr	0,00 - 0,25
Aluminium	Al	Balance

**Tablo 4.1.** 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Kimyasal Kompozisyonu [1-5-10]

### 4.2. 7075 T651 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Fiziksel Özellikler	Değer
Yoğunluk	2,80 g/cm <sup>3</sup>
Erime Sıcaklığı - Solidüs Sıcaklığı	477 ° C
Isıl Genleşme Katsayısı ( 20 - 200 ° C ' da )	23,2 x 10 <sup>-6</sup> / K
Elastisite Modülü	72 GPa - KN/mm <sup>2</sup>
Isıl Kapasite - İletkenlik	130 W/m.K
Elektriksel İletkenlik	% 33 IACS
Likidus Sıcaklığı	638 ° C

**Tablo 4.2.** 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Fiziksel Özellikleri [1-5-10]

#### 4.3. 7075 T651 SERİSİ – ALÜMİNYUM ALAŞIMI – MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Mekanik Özellikler	Değer
Akma Dayanımı	540 MPa
Çekme Dayanımı	590 MPa
Uzama	9%
Elastisite	72 GPa

**Tablo 4.3.** 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Mekanik Özellikleri [1-5-10]

#### 4.4. 7075 T651 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - MALZEME KALINLIĞINA GÖRE , MUKAVEMET ÖZELLİKLERİ

Kalınlıklar ( mm ) -	Çekme Mukavemeti ( Mpa ) min - max	Akma Mukavemeti ( Mpa ) min - max	Yüzde Uzama min - max	Sertlik ( brinel ) min - max
100 mm kadar	533	462	8,50	150
100 - 200 mm	492	426	7,30	150
200 - 300 mm	501	434	5,70	150

**Tablo 4.4.** 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Malzeme Kalınlığına Göre Mukavemet Özellikleri [1-5-10]

#### 4.5. 7075 - T651 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - MALZEME KALINLIĞINA GÖRE , MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Kalınlık ( mm )	Akma Dayanımı ( Min )	Çekme Dayanımı ( Min )
6,3 mm - 12,6 arası	462 MPa	538 Mpa
12,7 mm - 25,4 arası	469 MPa	538 Mpa
25,4 mm - 50,8 arası	462 MPa	531 Mpa
50,8 mm - 63,5 arası	441 MPa	524 Mpa
63,5 mm - 76,2 arası	421 MPa	496 Mpa
76,2 mm - 88,9 arası	400 MPa	490 Mpa
88,9 mm - 101,6 arası	372 MPa	462 Mpa

**Tablo 4.5.** 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Malzeme Kalınlığına göre gösterdiği mukavemet özellikleri [1-5-10]

#### 4.6. 7075 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI UYGULANAN ISIL İŞLEME GÖRE MUKAVEMET ÖZELLİKLERİ

Temper	Akma Mukavemeti ( Mpa ) min - max	Çekme Mukavemeti ( Mpa ) min - max	Uzama ( % 50 ) min - max	Sertlik ( brinel ) min - max
0	105	225	17	60
T6	460 - 505	530 - 570	10	140 - 160
T7	435	505	12	140

**Tablo 4.6 :** 7075 T651 Alüminyum Alaşımı Uygulanan Isıl İşleme Göre Gösterdiği Mukavemet Özellikleri

#### 4.7. 7075 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - UYGULANAN ISIL İŞLEM

	Sıcaklık ° C	Zaman ( saat )	Soğutma hızı
Tam Tavlama	413	2 - 3	Havada soğutulur
Soğuk işlemin giderilmesi	349	Bekletme gerekmez	Kritik değil
Solüsyona alma	460 - 499	Tuz banyosunda 10 dakika - 1 saat arasında havada daha uzun	Soğuk suda soğutma
Çökeltme	118 - 124	24 - 28	kritik değil

**Tablo 4.7.** 7075 T651 Alüminyum Alaşımı 'nın Isıl İşlem Dereceleri [1-5-10]

#### 4.8. 7075 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI MALZEME KOMPOZİSYONUNUN STANDARTLARI

AMS QQ - A – 250 / 24 , 7075 aşağıdaki standartlarda olabilmektedir.  
Alloy 7075, UNS A97075, ASTM B209  
AlZn5,5 MgCu, AIR 9048.710  
Al Zn Mg Cu 1.5 DIN 3.4265

#### 4.9. 7075 T651 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI ISIL İŞLEM ÇEŞİTLERİNDE TEDARİK [5-7]

- O
- F
- T 6
- T 62
- T 651

- T 6510
- T 6511
- T 73
- T 7351
- T 735100
- T 73511
- T 76
- T 7651
- T 76511

#### **4.10. 7075 T651 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - UYGULAMA ALANLARI [5-7]**

- \*\* EN - AW 7075
- \*\* Kolay işlenebilen kalıplık alüminyumdur.
- \*\* Korozyon dayanımı çeliklere göre çok daha iyidir.
- \*\* Krom ve nikel kaplanabilir.
- \*\* Şişirme kalıplarında, plastik profil makinelerin kalibratörlerinde kullanılır.
- \*\* Makine ve parça imalatında kullanılır.
- \*\* Prototip parça üretiminde, kolay işlenebilirliği ve yüksek sertliği sebebi ile çelik yerine kullanılabilir.
- \*\* Askeri ve Uçak sanayinde yüksek mukavemet gerektiren bileşenler
- \*\* Kauçuk ve plastik kalıplar
- \*\* Kayak direkleri
- \*\* Yüksek mukavemet istenilen makine parçaları
- \*\* Otomotiv sanayi
- \*\* Perçin
- \*\* Nükleer uygulamalar
- \*\* Isıl işlem görmüş durumda teslim edilir.
- \*\* Korozyon direnci çok düşük olan ve Havacılık - Uzay sanayinin yoğun kullanıldığı bir malzemedir

#### **4.11. 7075 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ [5-7]**

- \*\* 7010' a göre daha kolay yüksek sertliğe ulaşılabilir
- \*\* Yorulma dayanımı yüksektir
- \*\* Yapıştırıcı, perçin çivisi, vidalara katılması önerilir
- \*\* Dış ortamlarda koruyucu ile kullanılmasını önerilir

#### **4.12. 7075 SERİSİ - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - ÜRÜN ŞEKİLLERİ - STOK Durumları**

- \*\* Levha
- \*\* Çubuk
- \*\* Boru
- \*\* Lama
- \*\* Profil Çeşitleri
- \*\* Plaka
- \*\* Sac



## 5. BÖLÜM

### KAYNAK ÖNCESİ ALÜMİNYUMUN TEMİZLİĞİ

Yağ / Gres ve Oksit temizleme

#### 5.1. ALÜMİNYUM KAYNAĞI ÖNCESİ TEMİZLİK



Alüminyumun kaynak öncesi temizliği için iki işlem gereklidir ; yağ / gres ve oksit temizleme.

Aşağıdaki sıralamada görüldüğü gibi öncelikle yağ ve gresi, ardından da oksitleri temizleyin.

Bu işlemi belirtilen sırayla yapmanız kritik bir önem taşımaktadır. [1-4]

#### 5.2. ALÜMİNYUM KAYNAK ÖNCESİ GERÇEKLEŞTİRİLECEK İŞLEMLER

1. Organik bir çözücü (örneğin aseton) veya bir yumuşak alkali çözelti (örneğin etkili bir sabun) kullanarak yağ, gres ve su buharını giderin. Sitrüs bazlı yağ çözücüler de kullanabilirsiniz; ancak, kaynak öncesinde parçayı mutlaka yıkayıp kurutun.
2. Paslanmaz çelik tel fırça(sadece alüminyum için kullanılan), güçlü bir alkali veya asit kullanarak yüzeydeki oksitleri giderin. Birçok kaynak tedarikçisi bölgesel uygulamalar için sprey veya krem tüpü halinde oksit giderici çözeltiler satmaktadır. Bu çözeltileri kullanırken son derece dikkatli olun ve kaynak öncesinde parçayı yıkayıp kurutun.
3. Parçaları gerekli pozisyonda birleştirin. Kaynak işlemi hemen uygulanmayacaksa, havadaki kir ve tozun birleşim bölgesine girmemesi için bu bölgeyi kahverengi Kraft kağıdı ile kaplayın.
4. Alüminyum oda sıcaklığında ve kuru tutun.
5. Kaynak işlemini birkaç gün içinde gerçekleştirin. Daha fazla bekletildiyse, kaynak öncesinde birleşim bölgesini tekrar temizleyin. [1-4-5]

## ADIM – 1 En İyi Alüminyum Kaynak Uygulamaları İçin Yapılacaklar

### Alaşımı Tanıma ve Doğru Dolgu Alaşımı Kullanma

#### Adım – 1 Alaşımı Tanıma ve Doğru Dolgu Alaşımı Kullanma

Alüminyum alaşımdan yapılan kaynak düzenekleri git gide artmaktadır.

Alaşım çeşitli ilginç özelliklere sahip olmakla birlikte, taşımacılık sektöründeki kullanımının artmasındaki en büyük etmen hafif olmasıdır.

Bir çok deneyimli kaynak uzmanı, yanlış bir şekilde alüminyumun çeliğe oranla daha zor kaynak yapılan bir alaşım olduğuna inanmaktadır.

Bu düşünce, büyük ölçüde operatörlerin çelik kaynak alışkanlıklarını ve deneyimlerini bu malzemeye uygulamalarından kaynaklanmaktadır.

Burada en iyi alüminyum kaynak uygulamaları için uygulanacak adımları inceleyeceğiz. [1-4-5]

### 5.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMINIZI TANIYIN [1]

1XXX, 3 XXX, 4XXX, 5XXX ve 6XXX serilerindeki alaşımların neredeyse hepsi, **TIG veya MIG / MAG** prosesi kullanılarak kaynak yapılabilir.

>>> 2XXX ve 7XXX serilerindeki bir çok **alüminyum alaşıma kaynak işlemi uygulanamaz.**

>>> 2XXX serisinde yalnızca 2219 ve 2519 alaşımlarına;

7XXX serisinde ise yalnızca 7003, 7004, 7005 ve 7039 alaşımlarına kaynak yapılabilir.

>>> **2024 ve 7075** alaşımlarına özellikle dikkat edilmelidir. Bu alaşımlar dayanıklıdır ve

yaygın olarak kullanılır, ancak kaynak yapılamaz

>>> “Kaynak yapılamaz” bir alaşıma kaynak yapılması veya yanlış dolgu alaşımı kullanılması,

alaşımın hemen kırılmasına veya kısa süreli bir kullanımın ardından sorun oluşmasına

neden olabilir.

Kaynak işleminden önce, her zaman \*\*\* doğru alaşım belirlenmeli ve  
\*\*\* doğru dolgu metali ile eşleştirilmelidir. [6]

**ADIM İKİ** : Kaynak Telinin Doğru Şekilde Depolanması, Ön Tav ve Parçaların Uygun Şekilde Temizlenmesi . **\*\* Doğru Ekipman, \*\* Doğru Koruyucu Gaz Akış Oranı, \*\* Dokuma ve Salınma Tekniği Nasıl Olmalı?**

**ADIM ÜÇ** : 1.) Doğru Ekipman,  
2.) Doğru Koruyucu Gaz Akış Oranı,  
3.) Dokuma ve Salınım Tekniği

#### **5.4. DOĞRU EKİPMAN**

Kaynakçıların, alüminyuma uygunluğundan emin olmak için kaynak ekipmanlarını her kullanımdan önce gözden geçirmeleri gerekir.

Ekipman farklı malzemelerin kaynak işleminde kullanılmış ise, bu kontrolün özellikle yapılması gerekir. [1-4]

#### **Özellikle :**

Makara adaptörünün çok sıkı ayarlanmadığından emin olun.

Telin fazla gerilmesi besleme sorunlarına neden olur. Adaptör, tel durduğunda makara kendi kendine dönmeyecek kadar sıkı olmalıdır.

Alüminyum ve çap için doğru makaralarının kullanıldığından emin olun. Çelik kaynak için yapılmış V oluklu makaraların alüminyumda kullanılması, teli deforme eder ve beslemede zorluklara neden olur.

Gerginliği, tahrik makaralarının teli kaydırmayacağı kadar sıkı şekilde ayarlayın. Fazla gerginlik, dolgu telinde deformasyona neden olur.

Plastik giriş ve çıkış kaynak kılavuzlarının doğru ve yerinde olduğunu kontrol edin. Çelik teli beslemek amacıyla kullanılan parçalar, besleme sorunlarına yol açar.

Torç spiralinin, alüminyuma uygun plastik malzemeden olduğunu kontrol edin. Genellikle çelik telin beslenmesinde kullanılan sarmal çelik torç spirali, yumuşak alüminyumdan küçük parçalar koparır ve spiralin tıkanmasına yol açar.

Kontak memesinin, alüminyum tel boyutuna uygun olduğunu kontrol edin. Bazı kişiler, 1.2 mm' lik teli beslemek için, 1.6 mm gibi daha büyük bir temas ucu kullanılmasının iyi bir fikir olduğuna inanmaktadır. [1-4]

#### **BUNU YAPMAYIN!**

Kontak memesinin, telin rahatça geçebileceği kadar geniş ama aynı zamanda kontak memesi ile tel arasında homojen elektrik kontağı oluşturacak kadar dar olması gerekir. Büyük boyutlu kontak memesi, homojen akım transferi sağlamayarak, fazla sayıda yanmaya neden olur.

#### **5.5. DOĞRU KORUYUCU GAZ AKIŞ ORANI**

Argon korumalı gaz akış oranı, MAG için minimum 35 SCFH ve TIG için minimum 25 SCFH olmalıdır. Geniş çaplı bir gaz kupası veya gaz nozulu kullanılması halinde, akış oranı bu değerlerin üstüne çıkabilir. ( SCFH : Nm<sup>3</sup>/hr) [1-4]

## 5.6. MALZEMENİN TEMİZ KALMASINI SAĞLAYIN

Parçalar ayrı ayrı temizlendikten ve yerlerine takıldıktan sonra, hemen veya mümkün olduğunca hızlı bir şekilde kaynak işlemini gerçekleştirin. Fabrika ortamındaki kir, yağ, su buharı vb., hazırlanan malzemenin üzerine yapışabilir ve kaynağa bulaşabilir.

Temizlenmesini, takılmasını ve montajını takiben parçayı gece veya hafta sonu boyunca açıkta bırakmayın. Parçanın bir süre boyunca kaynak yapılmamış olarak beklemesi gerekiyorsa, kaynak dikişi üzerine kahverengi kraft kağıdı koyun ve bantla sabitleyin. [1]

## 5.7. DOKUMA VE SALINIM TEKNİĞİ

Dikiş boyunca yan yana dokumanın fazla ısı girişine neden olduğu ve kullanılmaması gerektiği konusunda hemfikir olmasına rağmen, kaynakçılar çoğunlukla sıralı dokuma veya salınım tekniklerini kullanmaktadır. Salınım genişliği çok büyük olmadığı sürece bu teknik iyi sonuçlar verir.

Salınımın amacı, kaynak üzerinde katlı görünüm elde etmektir.

Bu tekniğin en büyük avantajı, net bir şekilde TIG kaynağına benzeyen belirli aralıklarda kaynak dalgaları oluşturmaktır. Bu işlem, treyler sektöründe alüminyum sektöründe neredeyse mecburiyet gibi görünmektedir.

Salınım genişliği kontrol altına alınabildiği sürece salınım tekniği iyi sonuçlar verir. Salınım genişliği yaklaşık 3 mm - 4mm arasında olmalıdır.

Salınım genişliği daha büyük ise, her kaynak dalgası arasında düşük noktalar oluşabilir. Bu da kaynak geçişini uygunsuz bir şekilde daraltabilir. [1]



## 5.8. KAYNAK TELİNİN DOĞRU ŞEKİLDE DEPOLANMASI

Alüminyum kaynak telini temiz ve kuru bir ortamda, tercihen orijinal paketinde saklayın. Bu koşullar altında tel, birkaç yıllık raf ömrüne sahip olur.

Kaynak teli suya maruz kalmamalı ve düşük bağıl nem koşullarında saklanmalıdır. Bu koşulları sağlamanın en kolay yolu, telin 60 vat ampul ile aydınlatılmış kapalı metal bir dolap içinde orijinal paketinde saklanmasıdır. Ampulde yayılan ısı, dolap içindeki sıcaklığı yaklaşık 10 derece artırarak, bağıl nem oranını düşürecektir.

Kısmi olarak kullanılan tel makaraları, kullanım sonrası orijinal paketlerine konulmalı ve gece boyunca kaynak makinesi üzerinde açıkta bırakılmamalıdır. Alternatif olarak, tel makarasının tamamen kullanılıncaya kadar plastik bir kaptaki muhafaza edilmesi de uygundur. [2]

Telin klimalı bir ortamda depolanması sorunlara neden olabilir. Nispeten soğuk olan telin sıcak, nemli bir günde paketinden çıkarılması durumunda, nemli hava tel üzerinde yoğunlaşabilir.

Telin klimalı bir odada depolanması gerekirse, çalışma alanına açılmamış halde getirin ve ısınıncaya kadar bekletin. [2]

## 5.9. ÖN TAV

Yaygın olarak bilinenin tersine, TIG ve MIG / MAG kaynaklarının her ikisi de ön tav gerektirmez. Aslında ön tav, doğru ekipmanla nadiren gereken bir işlemdir. Bunun dışında, uzun süreli ön tav mekanik özellikleri önemli derecede azaltabilir.

Isıtma işleminde son adım olan yaşlandırma, 325 ve 400 derece arasında sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Aşırı sıcaklıklar en yüksek yaşlandırma sıcaklığında veya daha yüksek bir sıcaklıkta ön ısıtma işlemine tabi tutarsanız, alaşımın mekanik özelliklerini bozarsınız.

Bu, tüm ön ısıtma işlemlerinin kötü olduğu anlamına gelmiyor. Örneğin, nem oranı çok yüksek ise, nemi ortadan kaldırmak için **200 derecede** ön ısıtma yapmanız uygundur.

## 5.10. PARÇALARIN UYGUN ŞEKİLDE TEMİZLENMESİ

Alüminyumun kaynak yapılmadan önce temizlenmesi, iki ayrı ve farklı işlemde oluşmaktadır.

- İmalatta kullanılan tüm yağlar, kayganlaştırıcılar, soğutucular ve diğer hidrokarbonlar temizlenmelidir. Temizlenmemesi halinde, bu hidrokarbonlar, kaynak yayına geçerler ve hidrojen gazı yayarak kaynakta gözenekler oluşmasına neden olurlar. Hidrokarbonlar iki yöntemden biri kullanılarak temizlenebilir.

En yaygın olan yöntem, kaynağın aseton, tolüen, MEK veya karbüratör temizleyici gibi iyi bir yağ çözücü içeren temiz bir bezle silinmesidir. Alkol iyi bir yağ çözücü değildir ve alüminyum temizliğinde kullanılmamalıdır.

Alternatif olarak, ancak pek yaygın olmayan yöntem ise, alüminyumun hafif alkalin çözeltisi içeren bir depoya batırılması, ardından durulanması ve kurutulmasıdır.

- Tüm ağır oksitler çıkarılmalıdır. Bu genellikle paslanmaz çelik telden bir fırça kullanılarak elle veya elektrikli tel fırçalama cihazı ile yapılır.

Malzemelerin dış ortamda depolanması ve ağır gri bir oksit oluşması durumunda, oksidin zımpara veya taşlama diski kullanılarak temizlenmesi gerekebilir. [6]

# 6. BÖLÜM

## TIG KAYNAĞI

### 6.1. TIG ( ARGON ) KAYNAĞI

TIG KAYNAĞI ( TUNGSTEN INERT GAS )

GAZ KORUMALI TUNGUSTEN ELEKTRİK ARK KAYNAĞI ( TIG )

(GTAW –Gaa Tungsten Electrode Arc Welding )



### 6.2. TIG KAYNAĞI, ( ARGON KAYNAĞI ) TANIMLAR [ 8 ]

**TIG** - Argon kaynağı kaynak yöntemine adını veren Tungsten Inert Gas kelimesidir.

Kaynak, bu kelimenin baş harfleriyle anılır.

**TIG** : Tungsten erimeyen elektrot

**INERT** : Asal

**GAZ** : Gaz koruması altında kaynak yöntemi .

Almanya gibi ülkelerde tungsten metaline volfram denildiğinden kaynak Wolfram Inert Gas olarak anılmaktadır.

### 6.3. TIG KAYNAK YÖNTEMİ

Ergitme esaslı buna karşın dolgu oranı düşük bir kaynak yöntemi olmasına karşın ısı girdisi yerel olduğundan ısı iletimi yüksek olan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında çarpılmaları en aza indirdiği için tercih edilen bir gaz altı kaynak yöntemidir. ( Şekil 6.1 ) [ 18 ]

Kaynak işlemini gerçekleştirecek ısı, ergime derecesi oldukça yüksek olan tungsten metalinden yapılmış elektrotlar ile kaynatılacak parçalar arasında oluşur.

TIG kaynağı, elektrik ark kaynak yönteminin daha ileri bir aşamasıdır.

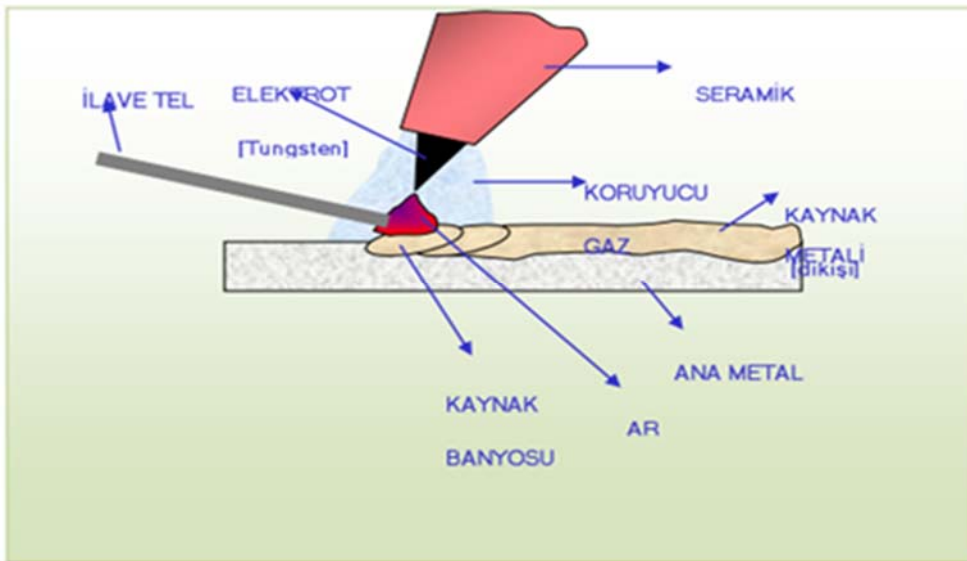
TIG kaynağı, kaynak için gerekli ısının tükenmeyen bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir.

TIG – Argon kaynağı yönteminde kullanılan elektrotlar kendileri erimeden, kaynak yapılan gereci ergiterek birleştirmeyi sağlar.

Ondan çıkan ark malzemeyi ısıtır ve eritir. Gerekirse kaynak teli sürmesi elle veya tel sürme ünitesi ile gerçekleştirilir. Çoğu durumda küçük bir boşluk kesinlikle kaynak dolgu malzemesi gerektirmez. Arkın ateşlemesi normalde tungsten elektrot iş parçasına dokunmadan meydana gelir. Ateşleme sırasında geçici olarak devreye giren bir yüksek gerilim kaynağını gerektirir. [ 18 ]

TIG kaynağında, doğru ya da alternatif akım kullanılabilir. Fakat alüminyum alaşımlarının kaynağında alternatif akım kullanılması gerekir.

Elektrot kaynak banyosu , ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz ( nozülde gönderilen bir koruyucu gaz ), ( argon, helyum veya argon helyum karışımı ) tarafından korunur. Gaz, kaynak bölgesini tam olarak koruyabilmelidir, aksi takdirde çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde hataya neden olur. [ 18 ]



Şekil 6.1. TIG Tungsten Inert Gaz Kaynağı Yönteminin Şematik Gösterimi

Gerekli görüldüğü hallerde ilave kaynak çubukları, oksijen gaz kaynağında olduğu gibi, kaynakçı tarafından veya otomatik tel sürme tertibatlarıyla kaynak bölgesine iletilir.

Kaynak bölgesine hiç ilave metal verilmeden sadece kaynak edilecek ana metal veya metaller eritilerek yapılabildiği gibi erimeyen tungsten elektrot ile oluşturulan ark bölgesine ayrıca ilave metal tel beslenerek de kaynak metalini oluşturulur.

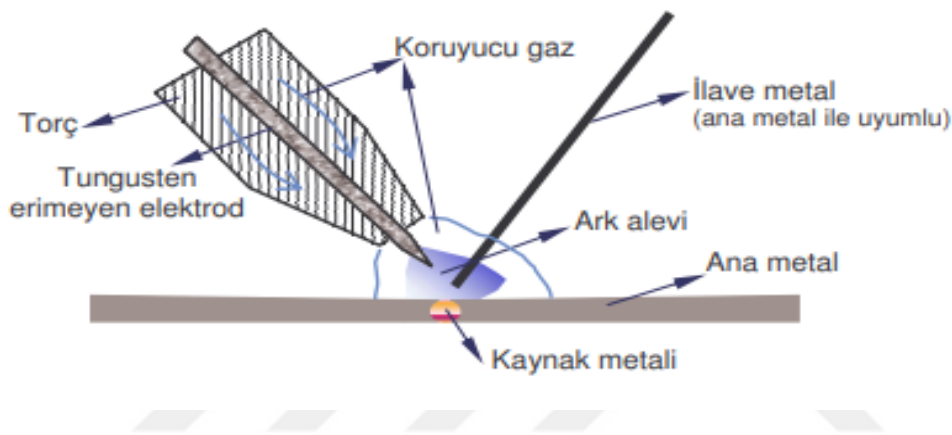
**6.4. ARGON GAZI** İnert yani, bir soy gazdır. Herhangi bir tepkimeye girmez. Güçlü bir koruma sağlar. Ancak ; argon gazı yatay pozisyon kaynaklarında kullanılır. Bunun nedeni, argon gazı havadan ağır bir gazdır ve aşağı çöker.

Eğer tavan kaynağı yapılacak ise, diğer bir soy gaz olan **Helyum gazı** kullanılmalıdır. Helyum gazı havadan hafiftir ve yukarı çıkar. Bu da tavan kaynaklarında düzgün bir koruma sağlar.

Koruyucu bir gaz asal gaz atmosferi altında kaynak uygulaması ilk defa II. Dünya savaşında uçaklarda kullanılan bazı Magnezyum alaşımlı parçaların birleştirilmesi ile başlamıştır.

Bu yöntemle kaynak edilen parça ile eriyen elektrot ( Tungsten ve / veya alaşımları ) arasında oluşturulan bir elektrik arkı kaynak ( ergime ) için gerekli ısıyı sağlar. Atmosferin kaynak bölgesine olan olumsuz etkilerine mani olabilmek için kaynak banyosu ve elektrot kaynak esnasında ve hatta kaynaktan bir müddet sonrasında da bir asal gaz akımı ile örtülür.

İlave kaynak teli kullanılmadan da uygulanabilen yöntem, ilave tel kullanılması durumunda çalışma şekli bakımından aynı oksijen – gaz kaynak yöntemine benzemektedir. [15-16]



**Şekil 6.2** TIG Kaynağı Şeması

Kaynak edilebilen bütün metallere , paslanmaz çeliklere TIG kaynağı yöntemi uygulanabilir. Bu yöntemde kullanılan kaynak uçları **\*\* TORYUM, \*\* SERYUM \*\* LANTAN** ile alaşımlandırılan tungstenden imal edilmiştir.

Bu elektrotların en büyük avantajı, saf tungsten elektrotlara göre daha kararlı bir arka sahip olmaları ve daha yüksek kaynak akımları ile kullanılabilmeleridir. [17 -8]

TIG kaynağı için en çok kullanılan koruyucu gaz **argondur**. Ateşleme özelliklerini ve arkın kararlılığını optimize eder ve helyumdan daha iyi bir temizleme alanı elde edilmesine yardımcı olur.

**Helyum** ise ; Argona kıyasla dokuz kat daha yüksek olan ısı iletkenliği sayesinde özellikle geniş ve derin bir kaynak girimi sağlar. Ayrıca alüminyum ile bağlantılı olarak gözenek oluşumu daha az belirgindir.

**Hidrojen** de kullanılır, oran çoğu kez %2-5 arasındadır, geri kalan ise argondur. Hidrojenin ısı iletkenliği bile argondan on bir kat daha büyüktür, bu da çok derin bir kaynak girimine ve oldukça etkin gaz giderme ile sonuçlanır. [17 -8]

Alüminyum alaşımları, korozyona dayanıklı malzemelere kaynak yaparken, ısıtılan kenarlar kaçınılmaz olarak, oksijenin havayla temas etmesi sebebiyle oksitlenir. Meneviş rengi diye adlandırılan bir renk ortaya çıkar. Malzemenin üzerinde çalışılarak bu giderilebilir ancak korozyon direncinin



yenilenmesine sebebiyet verilir. Meneviş renginin, oluşmadan, ilk elden önlenmesi tercih edilir. Bu, “**forming gaz**” diye bilinen bir gazın yardımıyla gerçekleştirilir. Forming gazlar havayı kaynak dikişinin kenarlarından uzak tutar, hatta bazı durumlarda kaynak dikişinin oluşumuna etki eder. Forming gazlar, hidrojen ve azot bileşiğidir, ancak argon da kullanılır.

Kaynak gazı seçiminde, sadece argon ya da sadece helyum gazı kullanılabildiği gibi karışım gaz kullanılması da gayet mümkündür. Argona düşük miktarlarda azot karıştırılabilir. Bu hem nüfuziyeti arttırır hem de kök koruması sağlar. [17 -8]



**Resim 6.1.** TİG Kaynak Uygulama Gösterimi

#### **6.4.1. ARGON GAZININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI**

Düşük ark gerilimi sonrası ısı girdisinin azalması, 1.5 mm den ince parçaların elle kaynağında büyük avantaj sağlar.

Alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyi refrakter bir oksit tabakası ile kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha şiddetlidir.

Arkın tutuşması daha kolaydır. Ark daha sakin ve daha Stabil yanar.

Havadan ağır olması nedeniyle daha az koruyucu gaz ile daha etkin bir koruma sağlar.

Dik ve tavan kaynaklarında gaz sarfiyatının fazla olmasına karşın ısı girdisinin azlığı sonucu oluşan daha ufak kaynak banyosuna kaynakçının kolaylıkla hâkim olabilmesine olanak sağlar.

Otomatik kaynak işlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur.

Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır. [ 10 ]

#### **6.4.2. HELYUM GAZININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI**

Yüksek ark gerilim sonucu oluşan daha sıcak ark, ısı iletkenliği yüksek malzemeler ile kalın parçaların kaynağında daha iyi sonuçlar verir.

Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı, daha dar bir ITAB oluşturur ve bunun sonucu olarak kaynaklı bağlantının mekanik özellikleri iyileşir. Böylece çarpılma ve kendini çekmeler azalır.

Havadan çok daha hafif olması sonucu koruyucu gaz sarfiyatı yüksektir ve torçun memesinden çıkan gaz akımı hava hareketlerine hassastır.

Otomatik kaynak işlemlerinde yüksek kaynak hızlarında karşılaşılan gözenek ve yanma çentikleri oluşumu kontrol altına alınabilir.

Havadan daha hafif olması sonucu tavan kaynaklarında daha iyi koruma sağlar ve bu yüzden altlık olarak kullanımı uygundur.

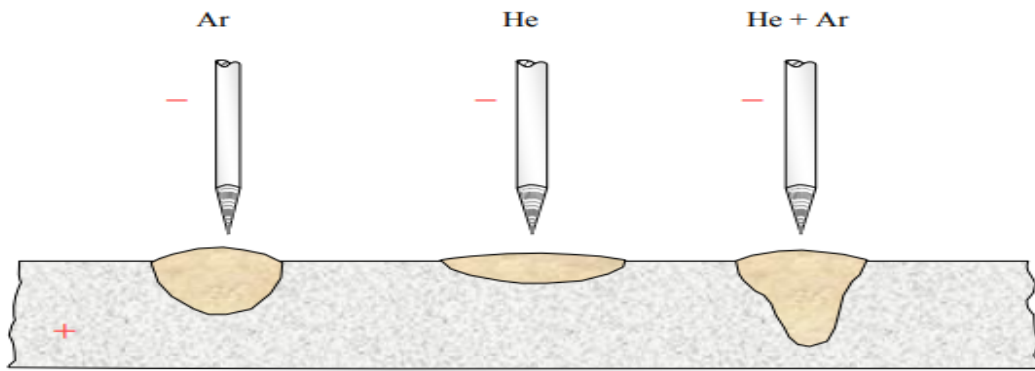
TIG kaynak yönteminin en önemli üstünlüğü olan ısı girdisinin ve ergiyen ilave kaynak metali miktarının birbirinden bağımsız olması ; bu yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesini sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylıklar getirmektedir

Helyum – Argon gaz karışımı : Argon gazı çok iyi derecede ark karakteristiği sunar,

Helyum gazı'nda argona nazaran daha yüksek olan ısı girdisi avantajı sunar iki gazın birleşimi kaynak dikişinde en iyi sonucu verir.

% 75 He ve % 25 Ar karışımı alternatif akımda yüksek kaynak hızına izin verir .

% 90 He ve % 10 Ar doğru akımda saf helyuma nazaran daha iyi bir ark başlama karakteristiği sunar. Gazlara ait nüfuziyet şekilleri aşağıda mevcuttur. [ 10 ]



İş parçası

**Şekil 6.3.** Argon ve helyumun kaynak sırasında penetrasyona etkisi [ 13 ]

## ARGON VE HELYUM GAZLARININ TIG YÖNTEMİNDE DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ARGON	HELYUM
<p>Düşük ark gerilimi sonucu ısı girdisinin azalması 1,5 mm ' den ince parçaların el ile kaynağında büyük bir üstünlük sağlar.</p>	<p>Yüksek ark gerimi sonucu oluşan daha sıcak ark, ısı iletkenliği yüksek malzemeler ile kalın parçaların kaynağında daha üstün sonuçlar verir.</p>
<p>Alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyleri refrakter bir oksit tabakası ile kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha şiddetlidir.</p>	<p>Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı daha dar bir ITAB oluşturur ve bunun sonucu kaynak bağlantısının mekanik özellikleri iyileşir</p>
<p>Arkın tutuşması daha kolaydır. Ark daha sakin ve daha stabil yanar.</p>	<p>ve çarpılması ve kendini çekmeler azalır.</p>
<p>Havadan ağır olması nedeni ile daha az koruyucu gaz ile daha etkin bir koruma sağlar.</p>	<p>Havadan çok daha hafif olması sonucu koruyucu gaz sarfiyatı yüksektir ve torcun memesinden çıkan gaz akımı hava hareketlerine hassastır.</p>
<p>Dik ve tavan kaynaklarında, gaz sarfiyatının fazla olmasına karşın, ısı girdisinin azlığı sonucu oluşan daha ufak kaynak banyosuna kaynakçının kolaylıkla hakim olabilmesine olanak sağlar.</p>	<p>Otomatik kaynak işlerinde yüksek kaynak hızlarında karşılaşılan gözenek ve yanma centiklerin oluşumu kontrol altına alınabilir.</p>
<p>Otomatik kaynak işlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur.</p>	
<p>Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır.</p>	

**Tablo 6.1.** Argon Ve Helyum Gazlarının TIG kaynağında Davranışlarının Karşılaştırılması [2-3-4]

## ÇEŞİTLİ MALZEMELERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN KORUMA GAZLARI

Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alaşımsız Çelikler	% 75 Ar + % 25 CO <sub>2</sub>	3 mm kalınlıklara kadar yüksek kaynak hızları ve en az distorsiyon ve az sıçrama sağlar.
	% 75 Ar + % 25 CO <sub>2</sub>	3 mm den kalın parçalarda en az sıçrama ve temiz kaynak görüntüsü sağlar. Düşey ve tavan pozisyonlarında iyi bir banyo kontrolü elde edilir.
	CO <sub>2</sub>	Daha derin nüfuziyet ve daha yüksek kaynak hızı elde edilir.
Paslanmaz Çelikler	% 90 He + % 7,5 Ar + % 2,5 CO <sub>2</sub>	korozyon direnci üzerinde kötü bir etkisi yoktur. ITAB dar olup yanma oluşu oluşmaz. En az distorsiyon sağlar.
Düşük Alaşımlı çelikler	% 60 - 70 He + % 25 - 35 Ar + % 4,5 CO <sub>2</sub>	En az reaktivite, mükemmel tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ıslatma özelliği ve dikiş profili sağlar.
	% 75 Ar + % 25 CO <sub>2</sub>	Orta derecede tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ıslatma özelliği ve dikiş profili sağlar. Çok az sıçrama oluşur.
Alüminyum, Magnezyum, Nikel ve alaşımları	Argon + Helyum	Saç parçalarda argon başarılı bir şekilde kullanılır. 3 mm den büyük kalınlıklarda ise argon + helyum karışımı tercih edilir.

**Tablo 6.2.** Çeşitli Malzemelerin Kaynağında Kullanılan Koruma Gazları [2-3-4]

## 6.5. ALÜMİNYUM TIG KAYNAĞINDA KULLANILAN AKIM ÇEŞİTLİLİĞİ [ 16 ]

- 1.) DADK ( elektrot — ),
- 2.) DATK ( elektrot + ), veya
- 3.) Alternatif akım ( AA ) ile yapılabilir.

**Biz tezimizde Alternatif Akım kaynağı ile yaptık.**

Genellikle , \*\* DATK, çok ince saçlar için

\*\* DADK, göreceli kalın kesitler ve otomatik üfleç ilerlemesi için

\*\* Alternatif Akım, AA da ince saç ve hafif levalar için kullanılır.

**6.5.1. DADK' ta ;** akım, elektrottan iş parçasına gider ; ark ısı yoğunlaşması %70 iş , parçasında, %30 elektrotta olur. [ 16 ]

**Bu yoğunlaşmanın etkileri ;**

- \*\* daha küçük elektrotlarla daha yüksek akım şiddetleri kullanma olanağı ;
- \*\* ark ısısının ana metal içine dar ve derin nüfuziyet ;
- \*\* kaynak hızının dakikada 12,5 cm ile 36 m arasında olabildiği şeklinde belirir.

Ark stabil olur. Ark ve /veya gazın hiçbir temizleme etkisi olmaz.

**6.5.2. DATK'ta :** akım, iş parçasından elektroda gider ; ark ısı yoğunlaşması %30 iş , Parçasında ; %70 elektrotta olur. [ 16 ]

**Bu yoğunlaşmanın etkileri ;**

- \*\* daha büyük çaplı elektrot gereği;
- \*\* geniş ve sığ nüfuziyet,
- \*\* DADK'a göre çok daha yavaş kaynak hızı şeklinde belirir.

Ark stabil olur.

Ark ve / veya gazın temizleme etkisi sürekli olup bu etki argonla mükemmeldir;

**DATK,** her üç akım şeklinin en iyi temizleme etkisine sahip olanıdır ;

Ancak nüfuziyet hususunda en zayıfıdır. [ 8 ]

**6.5.3. ALTERNATİF AKIM 'da :** ark ısı, dengeli güç kaynağı ile, her saykılta %50 oranında yoğunlaşır. Ark, dengeli AA veya sürekli yüksek frekansla AA (AAYF) da

stabilidir. Ark ve / veya gazın temizleme etkisi, argonla saykılın pozitif ( ters kutup )

bölümünde iyidir. [ 16 ]

Koruyucu gaz genellikle argon olup, özellikle kalın parçaların kaynağında Helyum ya da Helyum + Argon karışım gazları da kullanılabilir. Argon gazının en büyük avantajı akış hızının düşük olması ve buna bağlı olarak helyuma göre daha stabil bir ark oluşması ve ark voltajının daha düşük seviyede tutulmasıdır. Düşük voltaj kullanımı, ince sacların bağlantı bölgesinde yanık oluşmadan kaynak edilebilmesi açısından çok önemlidir.

TIG kaynağı için geliştirilen dolgu malzemeleri, otomatik kaynak uygulamalarında kullanılacaksa kangala sarılan, eğer elle beslenerek kullanılacaksa doğrultularak çubuk haline getirilen dolu tellerden üretilir.

Alüminyum alaşımlarının, kaynağında otomatik olarak TIG kaynağı yöntemi de kullanılabilir. Ark voltajı ark uzunluğu ile orantılıdır. Üretilen bir sinyal sayesinde ark voltajı kontrol ünitesi otomatik olarak devreye girer. Bağlantılarda ek dolgu malzemeleri kullanılabileceği gibi, özellikle ince sacların

birleştirilmesinde sadece bağlantıyı oluşturan kenarların eritilmesi ile de kaynak yapılabilir. Soğuk dolgu metalleri kullanılıyorsa, tel besleme işlemi her zaman kaynak banyosunun önünden yapılmalıdır.


Sıcak tel ile gerçekleştirilen TIG kaynağı yöntemi, özellikle metal yığıma hızında ve kaynak hızında önemli artışların elde edilmesine olanak sağlar.

Bu yöntemde, kontakt memenin içinden geçen tel özel bir güç ünitesi tarafından ısıtılır ve kontakt memenin uç kısmından çıkarak iş parçasına doğru ilerler. Bir direnç tarafından ön ısıtma uygulandığı için, kaynak banyosuna değmeden önce, tel erime noktasına kadar ısınmış olur.

Böylece tungsten elektrot daha çok ana metali eritmek için ısı üretir ve dolgu telinin erimesi için gereken direnç enerjisinin büyük bir bölümü AC güç ünitesi tarafından sağlanır.

Bu kaynak yöntemleri verimliliği kaliteden ödün vermeden önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Nispeten daha yavaş kaynak hızına ve daha az erime gücüne rağmen TIG prosesi bir çok uygulama için kuşkusuz mümkün olan en yüksek sonuç kalitesini garanti etmeye devam etmektedir.

Son ama çok önemli olarak güç kaynağı sektöründeki son gelişmeler TIG kaynağına sürdürülebilir gelecek fırsatları sağlamaktadır. Aşağıdaki açıklamalar temel durumları daha kesin şekilde ele almaktadır. [ 8 ]

AKIM TİPİ	DCEN	DCEP	AC
ELEKTROT KUTUP	Negatif	Pozitif	Dengeli
ELEKTROT VE İYON AKIŞI			
NÜFUZİYET KARAKTERİSTİĞİ			
OKSİT TEMİZLEME	Hayır	Evet	Her yarım saykılada bir
ARKTA ISI DENGESİ	%70 iş parçasında %30 elektrodun ucunda	%30 iş parçasında %70 elektrodun ucunda	%50 iş parçasında %50 elektrodun ucunda
NÜFUZİYET	Derin-dar	Siğ-geniş	Orta
ELEKTROT DAYANIMI	Mükemmel 3.2 mm 400A	Zayıf 6.4 mm 120A	İyi 3.2mm 225A

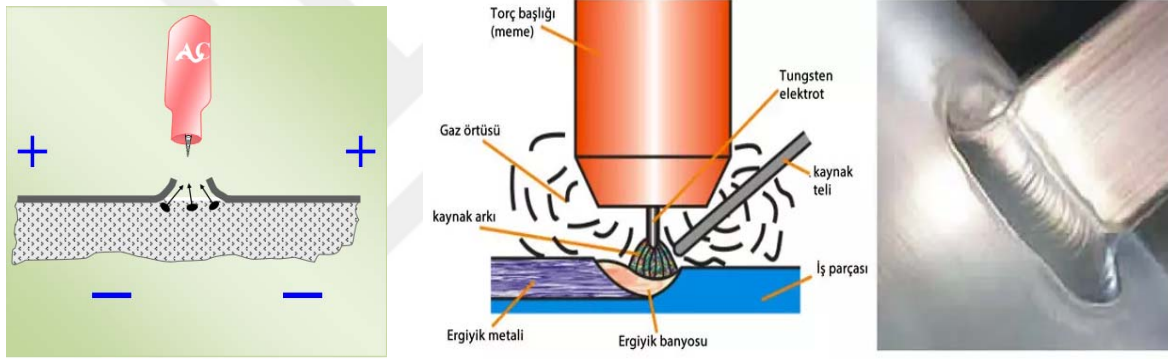
**Tablo 6.3.** TIG kaynağında akım tipine göre nüfuziyet ve elektrot kapasitesi [ 9 ]

**Argon** veya argon helyum karışımı koruyucu gaz ortamında AC ( Alternatif Akım ) ile yapılan Tungsten İnert Gaz kaynağında alüminyum üzerindeki oksit tabakası ark hareketi ile kalkar. Fakat bu temizleme aksiyonu gaz karışımı % 90 veya daha fazla helyum içerirse tatmin edici olmaz , kaynak öncesi yüzey temizlemesi gerektirir.

TIG kaynağında en yaygın koruyucu gaz olarak Argon kullanılır. Elektrotun tatminkâr şekilde korunabilmesi için koruyucu gazın saflık derecesi en az % 99,95 olmalıdır. Kural olarak 200 bar basınç altındaki 10 Nm<sup>3</sup> 'lük çelik tüplerde satılır. Hafif metallerde geniş ve derin nüfuziyet nedeniyle son yıllarda **Argon/Helyum karışımlarının kullanılmasına doğru bir eğilim mevcuttur.**

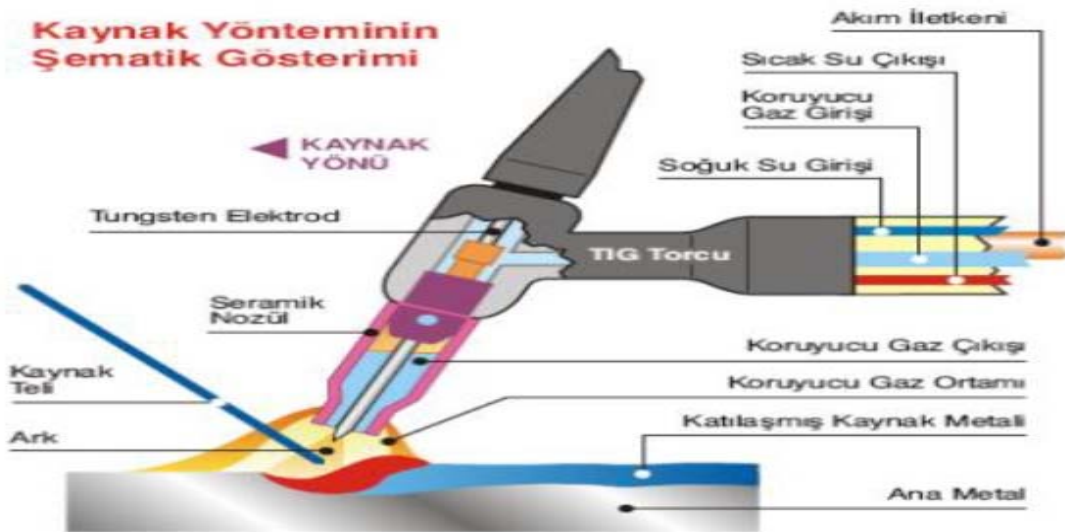
Saf helyum koruması AC ile kötü bir ark karakteristiği oluşturduğu için çok nadir kullanılır.

AC akımında, sadece elektrot her pozitif duruma geldiğinde oksit tabakası kalkar. Bu oksit tabakasının kalkması temiz kaynak dikişi elde edilmesini sağlar. Akım büyüklüğü, uygun ve dengeli bir güç ünitesi kullanılmadığı takdirde elektrotun her negatif olduğu durumda artar. Bundan dolayı, Alüminyum kaynağı dengeli AC üreteçleri kullanılması tavsiye edilir. Aşağıdaki çizelgede alüminyum AC ile kaynağı için örnek prosedür mevcuttur



**Şekil 6.4.** Alüminyumun TIG Kaynağında Alternatif Akım Kullanımı

**Şekil 6.5.** TIG Kaynak metodu şematik gösterimi [ 21 ]



**Şekil 6.6.** TIG Kaynak Yönteminin şematik gösterimi [ 18 ]

Kaynak üfleci kaynak esnasında, su ve hava ile soğutulmaktadır.

TIG kaynağında başlangıçta helyum daha sonra argon gazı kullanılmıştır. Fakat argon, havadan daha ağır olduğu için erimiş metali daha iyi korur.

Helyum aynı akım şiddetinde daha yüksek ark gerilimi verdiği için iletkenliği yüksek malzemelerde ( Cu ) helyum kullanılır.

Bu yöntem başlıca demir dışı metallerin, asal çeliklerin kaynaklanması için kullanılır. İstenirse ark içinde katkı çubuğu tutulur.

Genellikle doğru akım kullanılır ve elektrot erimemesi için ( - ) kutba bağlanır. Ancak alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında alternatif akım kullanılır. Böylece yön değişimi ile oksit tabakası bozulduğundan kaynak mümkün olur.

Doğru akımda elektrotun negatif kutba bağlanması durumunda (direkt kutuplama) derin bir nüfuziyet sağlanır, fakat erimiş banyoda elektriksel temizleme tesiri yoktur.

Bu sebepten yüzeyde oksit tabakasının meydana geldiği, hafif metallerin kaynağında böyle bir kutuplama uygun değildir. Direkt kutuplama bakır ve paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynağında uygun olmaktadır. Ters kutuplama halinde, elektrot fazla ısınır ve bu kutuplama hafif metallerde ince saçların kaynağında kullanılır.

## **6.6. TIG KAYNAĞININ ÜSTÜNLÜKLERİ [ 21-19 ]**

- 1.) Kaynak hızı yüksektir.
- 2.) Kaynak ısısı bir bölgeye teksif edilebilir.
- 3.) Isıl distorsiyonlar azdır.
- 4.) Kaynak dikişleri temizdir ve kaynaktan sonra temizlemeye gerek yoktur.
- 5.) Kolay mekanize edilebilir.
- 6.) Çok geniş bir uygulama alanına sahiptir.
- 7.) Kaynakçı tarafından kullanılması kolaydır.
- 8.) Prensip olarak gaz eritme kaynağını andırır, yalnız torç biraz değişiktir, yanıcı yakıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır.
- 9.) Erimeyen bir elektrot kullanıldığı için kıvrık alın kaynak ağzı hazırlanmış ince parçalar, ek kaynak metaline gereksinme göstermeden birleştirilebilir.
- 10.) Gerektiğinde esas metalin eritilerek, ek kaynak metaline olan gereksinmeyi ortadan kaldırması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden bir tanesidir.



- 11.) TIG kaynak yönteminin diğer bilinen ve endüstride sık uygulanan eritme kaynağı yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü, ısı girdisinin ve eriyen ek kaynak metali miktarının birbirlerinden bağımsız oluşudur. Bu önemli özellik yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesine olanak sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde, pozisyon kaynaklarında ve tamir işlerinde de kaynakçıya büyük kolaylıklar sağlamaktadır.
- 12.) Kaynağı kolay veya çok zor olan bütün metal ve alaşımları kaynatılabilir.
- 13.) Asal gaz kullanılması nedeniyle dikişte oksidasyon sonucu alaşım elemanlarının kayıpları söz konusu değildir. Bu nedenle dayanım ve kalite bakımında mükemmel dikişler elde edilir.
- 14.) Dekapana gereksinim yoktur.
- 15.) Kaynak dikişleri genellikle kaynaktan sonra olduğu gibi kullanılmaktadır. İşlenmeleri gerekse de yumuşak olduklarından işleme maliyetleri asgariye inmiş olur.
- 16.) Çok küçük alanın ısıtılması ve ısının sürekli transferi dolayısı ile diğer yöntemlere göre çarpılmalar ve gerilmeler çok daha zordur.
- 17.) Her pozisyonda kullanılabilir.
- 18.) Farklı cins metalleri birbiri ile kaynatmak mümkündür.
- 19.) Ana uygulama alanı paslanmaz çelik, alüminyum ve nikel alaşımlarıdır.
- 20.) Konsantre ve stabil ark, cüruf ve çapak olmaksızın yüksek kaliteli kaynatılmış metal temin eder. Bu kaynak yöntemi, reaktör inşası gibi kalite beklentisi yüksek olan uygulamalar için, ilk tercihtir.
- 21.) Dolgu malzemesinin kullanımı gerek duyulmaz. 4 mm'nin altındaki sac kalınlıklarında, mekanik tel sürme, ekonomik kaynak hızı oluşmasını sağlar.
- 22.) TIG kaynak yönteminde, yalnızca kalın saclara kaynak yapılması, kısıtlı efektiflik anlamına gelir, oysa yalnızca kök pasosu tavsiye edilmektedir. Dolgu pasosu için MIG/MAG veya toz altı ark kaynağı gibi güçlü yöntemler daha iyidir.
- 23.) Alüminyum havaya her temas ettiğinde, yüzeyde hemen oksit tabakaları oluşur. Tabakanın erime noktası 2015 °C'dir. Ancak alüminyum 650 °C'de erir. Oksit tabakası katı kaldığı takdirde, oksit tabakanın üzerinde eriyen alüminyum akacak ve kaynak dikişi imkansız hale gelecektir. Oksit tabaka, örneğin elektrotun pozitif kutbuyla giderilmelidir. Ancak bir dezavantaj, TIG kaynağında tungsten elektrot negatif olarak kutuplandığı için kaynak özelliklerinin deforme olmasıdır. Çözüm, alternatif akımla kaynak yapmaktır. Pozitif yarım dalga sırasında oksit tabakası açılır. Negatif yarım dalga, füzyon penetrasyonunu artırır ve gerekli kaynak gücünü oluşturur.
- 24.) TIG kaynağı – Argon Kaynağı genellikle Paslanmaz Çelik ve Alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır.

25.) TIG kaynak yöntemi her pozisyonda ve prensip olarak da her kalınlıktaki parçalara uygulanabilirse de, fazla kalın parçalar için işlem süresinin uzaması yöntemin ekonomikliğini yitirmesine neden olmaktadır, bu bakımdan 7 mm'den kalın parçaların kaynağı için önerilmez; bununla beraber yüksek kalite ve kaynak emniyetinin gerekli olduğu uçak ve uzay endüstrisinde çok pasolu kaynak uygulayarak bu olumsuzluğun etkisi azaltılmaya çalışılır.

## 6.7. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Şekillendirilebilir alaşımlar arasında kolaylıkla kaynak edilebilenler,

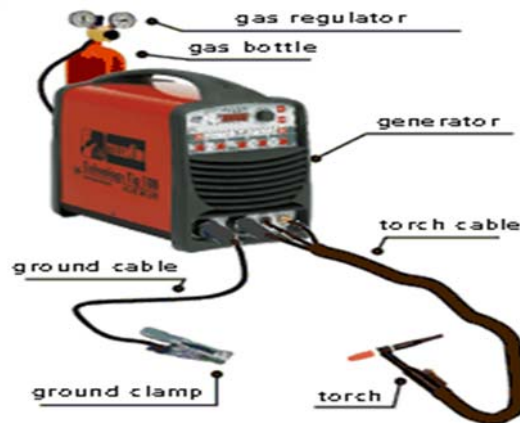
**2xxx serisi** : Isıl işlem kabul eden serilerinin alaşımları da kaynak edilebilirlerse de özel tekniklerin uygulanması gerekebilir ve biraz alçak süneklik elde edilebilir.

**7xxx serisi** : Yüksek mukavemetli ve ısıl işlem kabul eden de kaynak edilebilir ama bunların IEB'leri gevrek olur.

As Kaynak firması , yüksek mukavemetli alüminyum tasarımlarımızda, 2000 veya 7000 serileri yerine yüksek magnezyum içerikli bir 5000 serisi alaşım tercih etmemizi tavsiye eder. 5000 serisi alaşımlar kaynağa elverişlidir ve en iyi sonucu verir. [ 10 ]

## 6.8. TIG KAYNAĞI DONANIMINI OLUŞTURAN ELEMANLAR

- 1- Akım üretici
- 2- Torç
- 3- Koruyucu Gaz Tüpü ve Donanımı
- 4- Soğutma Sistemi
- 5- Torç üzerinden veya Ayakla Kontrol Edilen Kumanda



**Resim 6.2.** TİG Kaynak Makinası şematik gösterimi [ 21 ]

Argon kaynağı makinelerinin yapısı, diğer örtülü elektrot ile ark kaynağı yapana makinelerden farklı özellikler arz etmez. Çoğu kez gerekli olan sabit akımlı ya da düşen karakteristikli bir güç kaynak

makinesi, bu tür kaynakların yapılması için yeterli olabilir. Kaynak işlemi yapılacak metalin özelliklerine göre makinenin + ve – kutuplarda çalışmaya uygun olması yeterli sayılabilir.

Yalnız kaynak arkının başlatılabilmesi için yüksek frekansa ihtiyaç duyulur. Bütün argon kaynağı makinelerinde yüksek frekans kullanılma gereği, bu bölümde açıklanması gereken bir konu olarak karşımıza çıkar.

TIG torcu, hem gaz soğutmalı hem de su soğutmalı versiyonlarda bulunmaktadır. Gaz soğutmalı kaynak torçlarının soğutması püskürtülen koruyucu gaz üzerinden yapılır. Su soğutmalı kaynak torçları ise güçlü bir pompalı su soğutma cihazı ve bir ısı eşanjörü tarafından soğutulur. Entegre mekanik tel sürme tertibatları olan TIG torçları da bulunmaktadır.

## **6.9. TİG KAYNAĞI PAHALI BİR TEKNİK OLMASINA RAĞMEN NEDEN TERCİH EDİLİR ?**

TIG prosesi, elbette ki en ekonomik kaynak yöntemi değildir. Bununla birlikte, güç kaynağı sektöründeki ve mekanik ve otomatik uygulamalardaki gelişmeler, TIG kaynağını büyük çaplı üretim için uygun kılıyor. Her halükarda, TIG kaynak yöntemi yüksek standart gerektiren uygulama yelpazesinde hep ilk tercih olmuştur.

## **6.10. KULLANIM ALANLARI**

- \*\* İlk başlarda havacılık endüstrisinde magnezyum alaşımlarının birleştirilmesi.
- \*\* Alüminyum
- \*\* Endüstriyel demir dışı metal ve alaşımları
- \*\* Paslanmaz çelikler.

## **6.11. KAYNAK TORÇLARI**

\*\* TIG kaynak yönteminde torç, iş parçası ile ucundaki tungsten elektrot arasında kaynak için gerekli olan elektrik arkını oluşturabilmek için, akım kablosundan aldığı akımı elektroda iletmek, koruyucu gazı kaynak banyosunun üzerini örtecek biçimde sevk etmek görevlerini yerine getirmek için geliştirilmiş bir elemandır.

\*\* Çekirdek kısmını erimeyen tungsten elektrotun tutucusu oluşturur.

\*\* Elektrot tutucusu, elektrot tutucusu kovani diye adlandırılan bir parçanın içine girer ve bu parça da özel bir somun ile torç gövdesine tespit edilir.

\*\* Torç gövdesinin uç kısmına takılan koruyucu gaz nozulu çeşitli çaplarda üretilir, aynı torca gaz gereksinimine ve kaynak işlemine göre çeşitli büyüklüklerde gaz nozulu takılabilir.



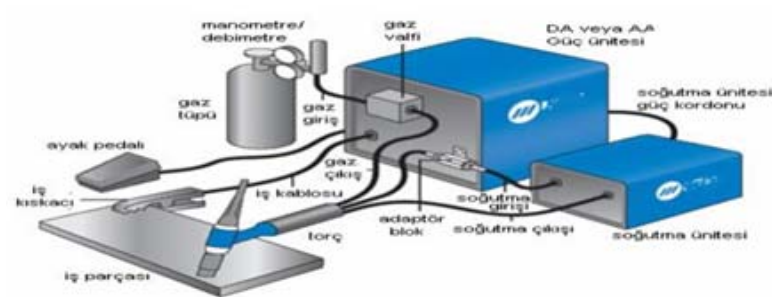
Şekil 6.7. Kaynak Torçu [ 14 ]

### 6.11.1. HAVA SOĞUTMALI TORÇLAR

\*\* Hava soğutmalı torçlarda, soğutma torcun dış kısmından hava yardımı ile iç kısmından ise akan koruyucu gaz tarafından gerçekleştirilir, bu neden ile bunlar gaz soğutmalı torçlar adı ile de anılırlar.

### 6.11.2. SU SOĞUTMALI TORÇLAR

\*\* Su soğutmalı torçlar ile daha yüksek akım kapasitelerinde çalışılabildiğinden bunlar daha büyük daha ağır ve daha pahalıdır. Bunlar yüksek akım şiddetlerinde su soğutmalı metalse gaz nozulları ile kullanılmak koşulu ile standard olarak 1000 Amper akım kapasitesine kadar üretilirler ; otomatik TIG kaynak sistemlerinde sadece bu tür torçlar kullanılır . Doğal olarak bu tür bir torcun kullanılabilmesi için kaynak donanımının bir soğutma suyu devresine ve birde su soğutma ünitesine sahip olması gereklidir.



Şekil 6.8. Su soğutmalı bir TIG kaynak ekipmanının temel elemanları [ 18 ]

## 6.12. TIG KAYNAK ELEKTROTLAR

\*\* TIG kaynak yöntemi ile diğer elektrik ark kaynağı yöntemleri arasındaki en önemli fark, ek kaynak metalinin elektrot tarafından sağlanmaması ve elektrotun sadece ark oluşturma görevini üstlenmiş olmasıdır; bu bakımdan burada, erime sıcaklığı 3500°C civarında olan Tungsten, elektrot malzemesi olarak seçilmiştir.

\*\* Yüksek erime sıcaklığının yanı sıra tungsten çok kuvvetli bir elektron yayıcıdır ve yayılan elektronlar ark sütunu içinde kuvvetli bir elektron akımı oluşturur ve ark sütunundaki atomları iyonize ederek, arkın kararlılığını sağlar. Günümüz endüstrisinde ticari safliktaki tungsten (% 99.5 W) ile toryum, zirkonyum ve lantanyum ile alaşımlandırılmış elektrotlar kullanılmaktadır.

Uygulamada karşılaşılan TIG kaynak elektrotlarını ;

\*\* saf tungsten elektrotlar,

\*\* alaşımlı elektrotlar

\*\* çizgili elektrotlar

olmak üzere üç grup altında toplamak mümkündür.

**Uygulamada elektrot çapı ;** elektrotun maksimum akım yüklenebilme kapasitesi göz önüne alınarak seçilmelidir, bu değere yaklaşıldığında arkın ısı yoğunluğu artmakta, daha stabil bir ark ile nüfuziyeti fazla, dikiş yüksekliği az bir dikiş elde edilebilmektedir.

### GÖSTERİM ŞEKLİ

\*\* DIN 32528'e göre tungsten elektrotlar şu biçimde gösterilmektedir :  
Elektrot ; DIN 32528 2.4 - 75 - WT 10

Burada 2.4 elektrotun mm. olarak çapını,

75 mm. Olarak boyunu

WT 10 da bileşiminde % 0.9 ila 1.2 toryum - oksit bulunduğunu belirtmektedir.

### 6.12.1. SAF TUNGSTEN TIG KAYNAK ELEKTROTLAR

\*\* En ucuz elektrot türü olan saf tungsten elektrotlar alternatif akımda alüminyumun kaynağında tercih edilirler.

\*\* Bu elektrotlar iyi bir elektron emisyon özeliğine sahip olmalarına karşın, toryum alaşımlılara nazaran daha düşük akımda yüklenme kapasitesine sahiptirler, kirlenmeye ve oksitlenmeye daha yatkındırlar.

\*\* Kaynak sırasında elektrotun ucu tungstenin erime sıcaklığı olan 3350°C'nin üzerinde bir sıcaklıktadır, bu uç kaynak banyosu veya kaynak dolgu teli ile temas ettiğinde, uca yapışan metalin bir kısmı hemen buharlaşır ve bir kısmı da, elektrotun uç kısmında bir yarım küre biçiminde olan tungsten damlacığını alaşımlandırarak arkın stabilitesinin bozulmasına neden olur. Kirlenmiş elektrot ile yapılan kaynakta arkın stabilitesini kaybetmesine, elektrot ucunun biçiminin değişmesi ile kirlenmiş metalin buharlarının ark yoluna geçmesine neden olmaktadır.

Bu durum karşısında yapılacaklar ;

- \*\* Elektrotun ucunu kırıp yeniden şekillendirip kullanmak.
- \*\* Bir bakır parça üzerinde, yüksek akım şiddeti ile bir ark oluşturup, kirlenmiş metal buharlaşmış yok oluncaya kadar arkı devam ettirmek.

### **6.12.2. ALAŞIMLI TUNGSTEN ELEKTROTLAR**

- \*\* Bileşiminde % 1-2 toryum oksit (ThO<sub>2</sub>) içeren tungsten elektrotlardır.
- \*\* Saf tungsten elektrotlara göre daha yüksek bir akım yüklenme kapasitesine,
- \*\* iyi bir elektron yayınımına,
- \*\* daha uzun bir kullanma ömrüne,
- \*\* kirlenme oksitlenmeye karşı daha büyük bir dirence,
- \*\* daha kolay bir tutuşma ve daha kararlı bir ark oluşturma özeliğine sahiptirler.
- \*\* Toryum-Oksit miktarının % 4'de kadar yükselmesi ile ark karakteristikleri daha da iyi bir duruma gelir.
- \*\* Yüksek akım şiddetlerinde daha küçük çaplı elektrot ile çalışabilme olanağı sağlar.
- \*\* iyi bir ark stabilitesi sağladıklarından, daha üniform kaynak dikişleri elde edilir.
- \*\* düşük bir akım direncine ve yüksek bir sıcaklık dayanımına sahip olmaları nedeni ile yüksek bir akım ile yüklenebilme kapasitesine sahiptirler
- \*\* kaynak sırasında elektrotun uç kısmında çok dengeli bir sıvı tungsten damlacığı oluşur ve elektrodan kaynak dikişine damlama ve sıçrama görülmez, kaynak metalin tungsten ile kirlenmesi olayı ile karşılaşılmaz
- \*\* bu elektrotlar ile arkın tutuşması daha kolay bir biçimde gerçekleşir ve kaynak sırasında ark gerilimi değişme göstermez .
- \*\* bütün metal ve alaşımların kaynağında uygun sonuçlar verir, saf tungsten elektrotlardan daha iyi bir performansa sahiptirler
- \*\* alüminyum kaynağında elektrot kaynak banyosunda veya ek dolgu metaline değme sonucu kirlenme göstermez .

### 6.13. ELEKTROT UCUNUN KİRLENMESİNİN NEDENLERİ

- \*\* Elektrot ucunun kaynak banyosuna değmesi,
- \*\* Elektrot ucunun kaynak dolgu teline değmesi,
- \*\* Koruyucu gaz debisinin yeterli olmaması ve gereken biçimde koruma gerçekleştirememesi,
- \*\* Kaynak biter bitmez elektrot ucu henüz daha kızgın iken koruyucu gaz akımının kesilmesi.

### 6.14. KAYNAK SIRASINDA TÜKETİLEN MALZEMELER

Kaynak dikişinin kaynak işleminden sonra çalışacağı ortam şartları karşısında göstereceği uyum ve dikişten beklenen verim, alüminyum dolgu malzemesinin seçimi aşamasında önemli bir rol oynamaktadır. [ 2 - 3 - 4 - 5 ]

Birçok ana metal alaşımı ve bunların birbiri ile olan bağlantısı farklı özelliğe sahip dolgu malzemelerinden herhangi birinin kullanılması ile gerçekleştirilebilir. Ancak bunlardan sadece bir tanesi söz konusu uygulama için en uygun ürün olma özelliğine sahiptir. [ 2 - 3 - 4 - 5 ]

#### 6.14.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI DOLGU MALZEMELERİ SEÇİLİRKEN DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KONULAR

- a.) Kaynak edilecek olan ana metalin cinsi ve bağlantı bölgesinin kalınlığı doğru olarak belirlenmelidir.
- b.) Uygulanacak kaynak yöntemi ve kaynak ağzı şekli önceden belirlenmelidir.
- c.) Kaynaktan beklenen özellikler iyi belirlenmelidir.
  - \*\* Bağlantının çatlak ilerlemesi
  - \*\* Kaynak metalinin çekme veya kesme dayanımı
  - \*\* Kaynağın sünekliliği
  - \*\* Yüksek veya düşük çalışma sıcaklıkları
  - \*\* Korozyon dayanımı
  - \*\* Anodlama işlemi sonrasında elde edilen renk uyumu
- d.) Isıl işlem uygulanmayan alüminyum alaşımlarında, yukarıda belirtilen koşullara da dikkat ederek mutlaka dolgu metali seçim tablosu kullanılmalıdır.

**2XXX** serisi ve **7XXX** serisi alüminyum alaşımları magnezyum ( Mg ) içerdikleri için sıcak çatlama riskine karşı hassas oldukları unutulmamalıdır.

Eğer mukavemet değeri uygulama açısından önemliyse, bu gibi malzemelerin kaynağında nüfuziyet seviyesine özellikle dikkat edilmelidir.

## **Isıl işlem uygulanabilen alaşımlarda ise ;**

- > nüfuziyet ,
- > sıcak çatlama ,
- > ısının etkisi altında kalan bölgede oluşan çatlaklar,
- > süneklik
- > kaynak sonrası uygulanacak olan ısıl işlem konularının ayrıca göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Kalın kesitli bağlantılardaki köşe kaynağı uygulamalarında en yüksek maliyet tasarrufu, kaynak pasolarının sayısında azalma sağlayan, yüksek dayanıma sahip dolgu malzemelerinin kullanılması ile elde edilir.

Döküm alaşımlarda döküm işlemi sırasında oluşan hatalar onarılırken kaynağın homojen bir yapıya sahip olması istenir. Bu nedenle, dolgu malzemesi döküm alaşımı ile aynı kimyasal analize sahip olmalıdır.

### **6.15. DOLGU METALİ SEÇİMİ**

Uygun dolgu metal seçiminin uygun olarak yapılması kaynak bölgesinin servis ömrü üzerinde büyük bir etki yaratır. Döküm alüminyum parçaların onarılmasında, genellikle söz konusu dökümün analize uygun olan hatta bazı durumlarda dökülen parçanın üretiminde kullanılan karışım dan elde edilen dolgu malzemelerinin kullanılması tercih edilir. [ 2 – 3 - 4 - 5 ]

#### **6.15.1. Çatlak Oluşumu**

Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları genellikle ana metal ile aynı kimyasal analize sahip dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilir.

**Isıl işlem uygulanabilen** alüminyum alaşımları ise metalurjik açıdan daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve kaynak dikişinin soğuma çevrimi sırasında " Sıcak Çatlak " oluşumu konusunda hassasiyet gösterirler .

**Isıl işlem uygulanabilen** alüminyum alaşımlarının kaynağında genellikle ana malzemeninkinden daha düşük ergime sıcaklığına sahip ve dayanımları ana malzemeninki ile aynı ya da daha düşük olan dolgu malzemeleri kullanılır. Örneğin 2024 ( 650 °C ) ve 7075 ( 650 °C ) Ana metalin kaynak dikişine komşu bölgede bünyesinde düşük ergime sıcaklığına sahip katkı elementleri içermesine izin verilmesi ile banyonun katılma hızı arttırılır, soğuma sırasında ana metalde oluşan gerilmeler en aza indirilir ve taneler arası çatlak oluşumu eğilimi büyük ölçüde azaltılır.

**Al-Cu ( 2XXX )** ve **Al-Zn ( 7XXX )** serisi alüminyum alaşımı üzerindeki kaynak metallerine ait çatlama hassasiyetleri, yüksek oranda silisyum ( Si ) ve magnezyum ( Mg ) içeren alüminyum alaşımları sahip oldukları düşük çatlama hassasiyeti sayesinde kolayca kaynak edilebilir.

Isıl işlem uygulanabilen, örneğin % 6,3 Cu içeren 2219 gibi alaşımlar ise kendilerine yakın alaşımlar olan 2319 türü dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilir.



**4145** türü dolgu malzemeleri, 2014 ,**2024** , 2618 gibi **2XXX** serisi alüminyum alaşımlarının, **Al-Cu** ve Al-Si-Cu türü döküm alüminyum alaşımlarının kaynağında çatlamaya karşı düşük hassasiyet sergilerler

**7XXX** serisi alaşımların sahip olduğu yüksek çatlama hassasiyeti, içerdikleri bakır oranına bağlı olarak değişir. 7004, 7005, 7039, **7075** gibi düşük oranda bakır içeren alaşımlar **5356** , 5183 yada 5556 türü dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilir. **7075** yada 7178 gibi daha yüksek oranda bakır içeren alüminyum alaşımlarında ise ark kaynağı yöntemlerinin kullanılması uygun değildir.

### **6.15.2. Çekme ve Kesme Dayanımı**

Genellikle, çeşitli dolgu malzemeleri, kaynak edildikleri halleri ile, kabul edilebilir minimum mekanik özellikleri sağlamaya uygundur. Farklı dolgu malzemelerinin oluşturduğu kaynak metallerine ait tipik çekme dayanımları ve minimum kesme dayanımları

**Isıl işlem uygulanabilen yapıdaki bir alaşımdan oluşan kaynak dikişine eğer kaynak işleminden sonra ısıtılacaksa ;** dolgu metali seçimi aşamasında bazı sınırlamalarla karşılaşılır. Genellikle, dolgu malzemeleri ısıtılabilir bir kimyasal analize sahip değildir ya da ısıtılarak dayanımın yükseltilmesi konusunda düşük hassasiyet gösterirler.

### **6.15.3. Yüksek ve Düşük Çalışma Sıcaklıkları**

**%3 ün üzerinde Mg** içeren alüminyum dolgu metallerinin **66 °C** ' in üzerindeki sıcaklıklarda çalışacak olan uygulamalarda kullanılması gerilmeli korozyona karşı hassas bir yapımının oluşmasına neden olacağı için sakıncalıdır. Kaynaktan sonra gerçekleştirilen uzun süreli yaşlandırma ısıtılmasında da bu konuya mutlaka dikkat edilmelidir.

### **6.15.4. Korozyon Dayanımı**

Bazı kimyasallarla birlikte çalışan ve korozyon ortamlarda kullanılan bağlantıların , kazanların, depoların, tankerlerin kaynağında özel dolgu malzemelerinin kullanılması gerekebilir. [ 2 - 3 – 4 – 5 ]

### **6.15.5. Renk Uyumu**

Ana metal ile kaynak metali arasında renk uyumu özellikle görselliği ön planda olan konstrüksiyonlarda ve son olarak parça geneline kimyasal veya elektrokimyasal bir işlem uygulanan kaynak bağlantılarında aranan bir özelliktir. Elde edilen son renk , dolgu metalinin alaşımına ve ana metalde yer alan özel elementlerin kaynak dikişi içerisinde ne oranda bulunduğuna bağlıdır. Bu konuyu yakından etkileyen iki element silisyum ( Si ) ve krom ( Cr ) ' dir.

Silisyum miktarının yükselmesi ile renk griden beyaza doğru değişir. Al – Si dolgu malzemeleri ile gerçekleştirilen kaynak dikişleri , Al-Si kaplı malzemeler ya da Al –Si döküm alaşımları dışında kalan bütün ana metaller üzerinde keskin bir renk kontrastı oluşturur.

Krom elementi, anodlama işlemi sonrasında, rengin sarıya ya da altın rengine dönmesine neden olur. Bu nedenle ana metaldekine yakın oranda krom içeren sık tercih edilen dolgu malzemeleridir. Alüminyum alaşımında bulunan bakır ( Cu ) ve mangan ( Mn ) ise dikiş renginde hafif bir kararmaya neden olur. [ 2 – 3 – 4- 5 ]

## 6.16 2024 ve 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KULLANILAN KAYNAK TELLERİ

**ER5356**, ER5556, ER5183, ve ER5087 türündeki kaynak ürünleri kaynak edilebilen **7XXX serisi** malzemelerle kaynağına uygundur.

Buna karşın yapılarında %3 ' ün üzerinde Mg içerdikleri için, gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyet gösterdikleri ve beklenmedik anlarda erken hasarlarla karşılaşılmasına neden oldukları için çalışma Sıcaklığı 66 °C oluşan ortamlardaki uygulamalarda bu alaşımlarının kullanılması sakıncalıdır. [ 2 ]

Bu gruba giren kaynak alaşımları, bazı özel nedenlerden dolayı yapılması zorunlu olan kaynak sonrası gerilme giderme veya yaşlandırma ısı işlemlerinin uygulanmasına da elverişli değildir.

**2XXX serisi** alüminyum alaşımlarında **ER4043** ve ER5356 kaynak telleri ile kaynak edilebilir. Özellikle **ER4043** tercih edilmektedir. 4043 döküm alüminyumların kaynağında da kullanılabilir. 4043 magnezyum ( Mg ) içermediği için yüzeyinde daha az is lekesi barındıran ve dolayısı ile daha **parlak görümlü Tiğ kaynağı dikişlerinin** elde edilmesine de olanak sağlar. [ 2 ]

NOT : manuel kaynak uygulamalarında argon gazı tercih edilir.

## 6.17 TIG KAYNAK YÖNTEMİNDE ARKIN TUTUŞTURULMASI

- \*\* Elektrotu değdirerek tutuşturma
- \*\* Yüksek frekans akımı ile arkin tutuşturulması
- \*\* Yüksek gerilim darbesi ile arkin tutuşturulması

## 6.18 KAYNAK AĞIZI ŞEKİLLERİ [ 2 ]

Alüminyum ark kaynağı için önerilen bağlantı şekilleri çeliklerinki ile benzer özellikler taşımaktadır. Ancak çeliklerle ile karşılaştırıldığında, alüminyum bağlantılarında kullanılan kaynak ağızlarının kök açıklıklarının daha az, ağız açılarının ise daha geniş olduğu görülür. Alüminyumun çeliğe göre daha akışkan olması ve daha geniş kaynak torcu nozüllerinin kullanılması bu farklılığın temel nedenidir.

Bu tasarımın tam bir bağlantı nüfuziyetinin elde edilmesi konusunda göstereceği başarı kaynak metalinin sahip olduğu yüzey gerilimine bağlıdır.

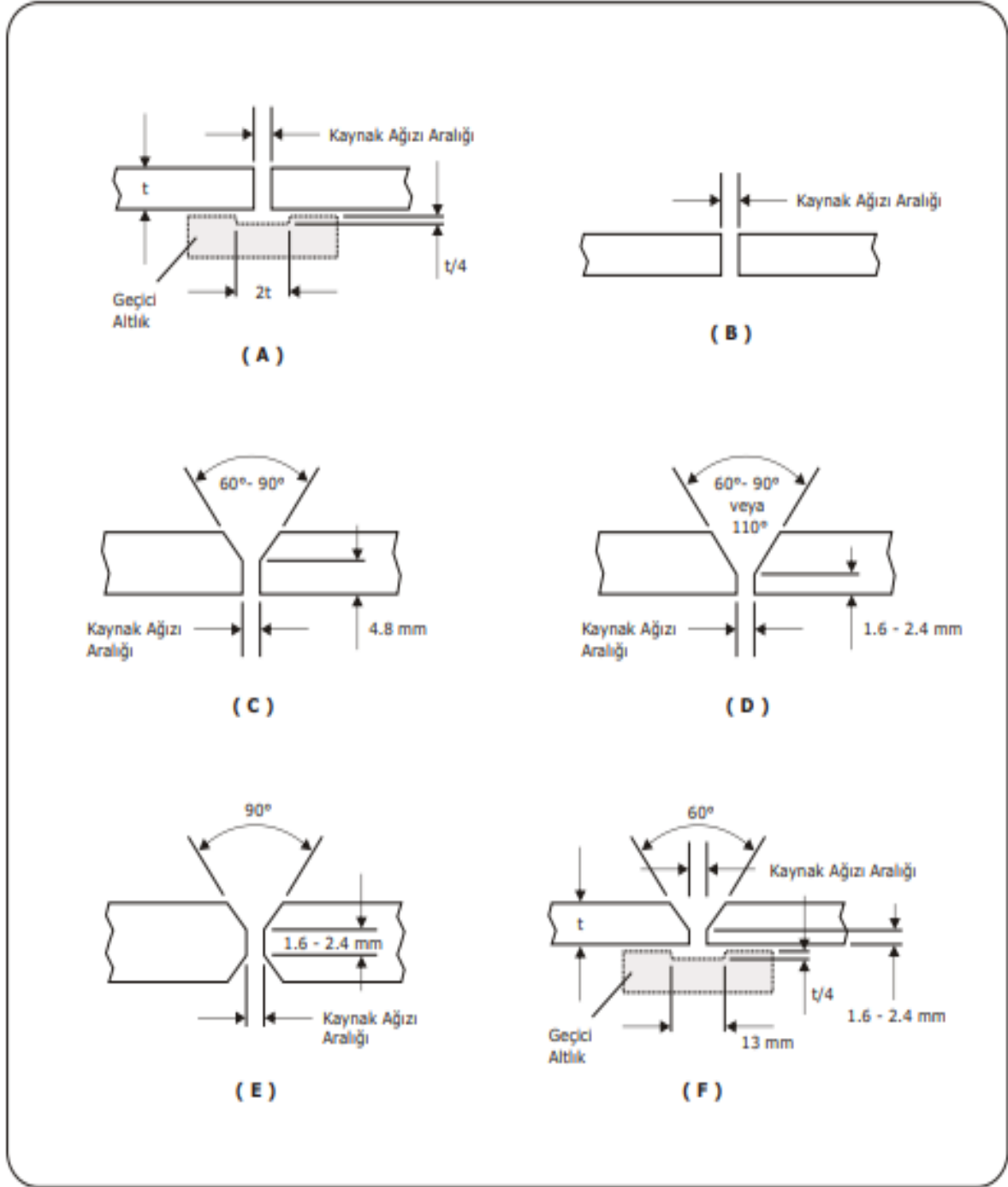
Bu tür kaynak ağızları **3 mm ' den daha kalın kesitli** parçalar üzerinde gerçekleştirilen bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. Kaynak ağızlarının ön kesitleri ilk kaynak pasosunda tam bir bağlantı nüfuziyetinin elde edilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tür kaynak ağızı tasarımlarının konvansiyonel kaynak ağızlarındakine oranla daha geniş olduğu ve dolayısı ile bağlantı bölgesini doldurmak için daha fazla dolgu metali kullanımı gerektirdiği unutulmamalıdır.

Tüm bunlar **çarpılma riskini de arttırıcı** bir etki yaratmaktadır. Alüminyum borular üzerinde gerçekleştirilen dairesel kaynak işlemleri bu tür kaynak ağızlarının en çok kullanıldığı uygulamalardır.

" V " profili kaynak ağızı tasarımları her iki taraftan da ulaşılabilen alın kaynağı uygulamaları için idealdir. Genel bir kural olarak kesiti **3 mm'** den daha kalın olan parçalar için uygun olan minimum

ağız açısı  $60^\circ$  dir. Kalın kesitli parçalar, uygulanan kaynak yöntemine de bağlı olarak  $75 - 90^\circ$  gibi daha geniş kaynak ağızı açıları ile çalışmayı gerektirir.

Kalın plakaların kaynağında, " U " profili kaynak ağızları, yığılan dolgu metali miktarını azalttığı ve torcun kök noktasına kadar ulaşmasına olanak sağladığı için V – profili kaynak ağızlarına oranla daha çok tercih edilir.



Şekil 6.9. Alüminyumun kaynağında kullanılan tipik bağlantı şekilleri [ 2 – 3 – 4 - 5 ]

## ALÜMİNYUM KAYNAĞINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE BU SORUNLARIN GİDERİLMESİ

SORUN	NEDENİ	ÇÖZÜMÜ
Gözenek	<p>Kaynak banyosunda düzensizlik var.</p> <p>Çalışma ortamı nemli</p> <p>Ana malzeme hidrojen kirliliği var.</p> <p>Koruyucu gaz kirli veya gaz akışı yetersiz.</p> <p>Kaynak banyosu hızlı katılıyor</p>	<p>Kısa kontakt kullanın</p> <p>-</p> <p>Teli kuru ve kutusunda kapalı tutun. Kaynak öncesi ana metali temizleyin.</p> <p>Akış hızını azaltarak tüpün çığlenme sıcaklığını - 57 ° C altında tutun, kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden koruyun, küçük gaz nozülü kullanın.</p> <p>Daha yüksek kaynak akımı ve / veya daha düşük kaynak hızı kullanın. Ana metale ön tav verin .</p> <p>Dikey kaynakta ilerleme yönü yanlış olabilir, aşağıdan yukarı kaynak yapın.</p>
Kaynak Dikişinde Çatlama	<p>Dolgu metali hatalı seçilmiş</p> <p>Dolgu metaline ait kimyasal değerler kritik seviyede.</p> <p>Kaynak ağzı hatalı, ağız aralığı uygun değil</p> <p>Seçilen kaynak tekniği yanlış</p>	<p>Erime derecesi daha düşük bir dolgu metali seçin.</p> <p>Kaynak banyosundaki Si seviyesini % 0.5 -2.0 ve Mg seviyesini ise % 1.0-3.0 arasında tutun.</p> <p>Özellikle 2XXX ve 7XXX serisi malzemelerin 4XXX serisi dolgu malzemeleri ile kaynağında görülen Mg<sub>2</sub>Si ötektik oluşumunu engelleyin.</p> <p>Kaynak ağzı açısını ve parçalar arasındaki boşluğu arttırarak kaynak dikişindeki seyrelen ana metal seviyesini azaltın.</p> <p>Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları için uygun TIG teli kullanın.</p>
Telin Geriye Doğru Yanması	<p>Tel besleme yetersiz ve/veya düzensiz.</p> <p>Kaynak telinde problem var.</p> <p>Esnek torç hortumu çok uzun.</p> <p>Torç spirali kirli ve yıpranmış</p> <p>Kontakt meme kirli ve yıpranmış.</p> <p>Kontakt tüpte ark oluşuyor.</p> <p>Torç aşırı ısınıyor.</p> <p>Kutuplama yanlış.</p>	<p>Tel hızını yükseltin ( CC ) veya ark voltajını düşürün ( CV)</p> <p>Yenisini ile değiştirin.</p> <p>Yenisini ile değiştirin.</p> <p>Yenisini ile değiştirin.</p> <p>Yenisini ile değiştirin.</p> <p>Tele uygun koyutta kontakt nozul kullanın.</p> <p>Çevrim oranını azaltın. Su soğutmalı torç kullanın.</p> <p>Kutupu değiştirin.</p>
Düzensiz Ark Tutuşması	<p>Topraklamada problem var.</p> <p>Gaz koruması yok.</p> <p>Kutuplama yanlış.</p>	<p>Topraklamayı kontrol edin gerekiyorsa tekrar bağlayın.</p> <p>Arkı tutuşturmadan ön - gaz verin.</p> <p>Kutupu değiştirin.</p>

**Tablo 6.4.** Alüminyum Kaynağında Karşılaşılan Sorunlar ve Bu Sorunların Giderilmesi

## ALÜMİNYUM KAYNAĞINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE BU SORUNLARIN GİDERİLMESİ

SORUN	NEDENİ	ÇÖZÜMÜ
Çirkin Kaynak Dikişi	Koruyucu gazın etki alanı yetersiz  Kaynak teli kirli Ana metal kirli Ana metalin yüzeyinde oksit tabakası veya su kalıntısı var	Gaz akışın arttırın. Nozüle yapışan çapakları temizleyin. Gaz nozülünü parçaya yaklaştırın. Hasarlı gaz nozüllerini yenisi ile değiştirin. Kontak tüpü gaznozülüne tam olarak merkezleyin. Torç açısını azaltın. Kaçak olup olmadığını kontrol edin. Kaynak tellerini kutusunda kapalı tutun. Ana metali temizleyin, yağlardan arındırın. Bağlantının gerçekleştirileceği bölgeleri temizleyin.
Kararsız Ark	Elektrik bağlantıları zayıf Birleştirilen yüzeylerde kir var Ark üflemesi var	Elektrik bağlantılarını kontrol edin. Bağlantı bölgelerini temizleyin, yağlardan arındırın. Kuvvetli manyetik alan içeren bölgelerde kaynak yapmayın.
Aşırı Genişlikteki Kaynak Dikişi	Kaynak akımı çok yüksek, kaynak hızı çok yavaş ve / veya ark boyu çok uzun	Kaynak parametrelerini tekrar ayarlayın.
Yetersiz Nüfuziyet Ve Eksik Ergime	Kaynak akımı yetersiz Kaynak hızı çok yüksek Ark boyu çok uzun Ana malzeme kirli  Kaynak ağızı hatalı, ağız aralığı uygun değil Tel yada ana metal oksitlenmiş Arkadan açılan kaynak ağzının şekli uygun değil, derinliği yetersiz	Kaynak akımını yükseltin. Kaynak hızını düşürün. Ark boyunu azaltın. Bağlantının gerçekleştirileceği bölgeleri temizleyin ve yağdan arındırın. Kaynak ağzını yeniden tasarlayın.  Temizleyin. Arkadan açılan " U veya V " kaynak ağzının derinliğini arttırın.
Anodik Oksitlenme Sonrası Renk Uyumsuzluğu	Yanlış dolgu metali kullanımı	2XXX VE 7XXX serisi malzemeleri 4XXX serisi dolgu metalleri ile kaynatmayın. 5XXX serisi dolgu malzemeleri kullanın.

**Tablo 6.4** Alüminyum kaynağında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların giderilmesi [ 8 ]

## 6.19 KAYNAK PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ

- \*\* Kaynak öncesi saptanan parametreler
- \*\* Birinci derecede ayarlanabilir parametreler
- \*\* İkinci derecede ayarlanabilir parametreler

### 6.19.1 KAYNAK ÖNCESİ SAPTANAN PARAMETRELER

- \*\* Erimeyen elektrotun türü
- \*\* Erimeyen elektrotun çapı
- \*\* Akım türü
- \*\* Korumucu gazın türü

### 6.19.2. BİRİNCİ DERECEDE AYARLANABİLİR PARAMETRELER

- \*\* Kaynak akım şiddeti
- \*\* Ark gerilimi (ark boyu)
- \*\* Kaynak hızı

### 6.19.3. İKİNCİ DERECEDE AYARLANABİLİR PARAMETRELER

- \*\* Elektrot açıları
- \*\* Elektrot serbest uç uzunluğu



Şekil 6.10. TIG kaynağında kullanılan akıma ve kutba göre dikiş formları

## 6.20 2024 VE 7075 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA KAYNAK UYGULAMALARINDA KARŞILAŞILAN SORULAR [ 4 – 5 -14 - 16 ]

Aşağıda alüminyumun kaynağı ile ilgili sıkça sorulan bazı sorular ve uzmanlar tarafından bu sorulara verilen cevaplar yer almaktadır. [ 4 ]



1. Uyguladığım alüminyum kaynağı neden ana malzemedен çok daha zayıf?
2. Alüminyum kaynağı uygulamasında ne tip bir koruyucu gaz kullanmalıyım?
3. **TIG (Argon) kaynağı** işleminde alüminyum için en iyi elektrot hangisidir?
4. Alüminyum kaynağı uygulamasında ne kadar ön tav vermeliyim?
5. Alüminyum kaynakları için en uygun gerilim giderme işlemi hangisidir?
6. Farklı alüminyum alaşımları nasıl ayırt edebilirim?
7. Farklı kalınlıkta iki alüminyum parçaya nasıl TIG (Argon) kaynağı yapabilirim?
8. 7075'e nasıl kaynak yapabilirim?

### 1. UYGULADIĞIM ALÜMİNYUM KAYNAĞI NEDEN ANA MALZEMEDEN ÇOK DAHA ZAYIF ?

Çeliklerin kaynağında, kaynak dikişi ana malzeme ile eşit derecede dayanıma sahiptir, ancak bu durum alüminyumun kaynağı için geçerli değildir. Hemen hemen bütün örneklerde, kaynak dikişinin dayanımı ana malzemeninkinden daha düşüktür.

Bu durumun neden oluştuğunu daha iyi anlamak için iki temel sınıf alüminyum alaşımına kısa bir göz atmakta yarar vardır. Bunlar ısıtılabilir ve ısıtılmayan alüminyum alaşımlarıdır. Bunlardan ikincisi sadece metalde fiziksel değişimlere neden olan soğuk deformasyon yöntemi uygulanarak sertleştirilebilir. Alaşıma ne kadar fazla soğuk deformasyon uygulanırsa dayanımı o kadar artar.

Isıtılabilir alüminyum alaşımlarında, son ısıtılma aşamasında ana metal yaklaşık olarak 200 °C ' a kadar ısınır. Ancak kaynak yaparken, kaynak dikişine komşu olan bölgenin sıcaklığı 200 °C ' in üstüne çıkar ve buna bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerinde bir miktar azalma eğilimi görülür. Bu nedenle, eğer operatör kaynak işleminden sonra parçaya ısıtılma uygulanmazsa kaynak dikişinin yakınındaki bölgenin dayanımı alüminyumun genelindeki dayanımdan belirgin bir derecede (

%30 – 40 kadar ) daha düşük olur. Eğer operatör kaynak sonrasında ısıt işlem uygulanırsa, ısıt işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının özellikleri geliştirilebilir.

Aşağıda, ısıt işleme elverişli ve elverişsiz olan alüminyum alaşım serileri verilmiştir:

**Isıt işleme elverişli seriler : 2000, 6000, 7000.**

Isıt işleme elverişsiz seriler : 1000, 3000, 4000, 5000.

## **2. ALÜMİNYUM KAYNAĞI UYGULAMASINDA NE TİP BİR KORUYUCU GAZ KULLANILMALIDIR ?**

**TIG (Argon) Kaynağı** uygulamalarında, 1,25 cm kalınlığa kadar alüminyum malzemeler için saf argon kullanılır. Kalınlık 1,25 cm üzeri olursa, arkı daha sıcak hale getirmek ve kaynak nüfuzunu artırmak için yüzde 25 ila 75 arası bir oranda helyum eklenebilir. Argon en iyisidir çünkü sağladığı ark temizleme etkisi helyumdan daha fazladır ve ayrıca helyumdan daha ucuzdur.

Argon gazı helyum gazına oranla daha yüksek temizleme etkisi sağladığı için en uygun gaz olma niteliğine sahiptir ve ayrıca helyum gazından daha ucuzdur.

Asla oksijen veya karbondioksit içeren bir koruyucu gaz kullanmayın; aksi takdirde alüminyum oksitlenir. Bunun temel nedeni oksijen ve karbondioksitin alüminyumunu hızlı bir şekilde okside etmesidir.

## **3. TIG ( ARGON ) KAYNAĞI İŞLEMİNDE ALÜMİNYUM İÇİN EN İYİ ELEKTROT HANGİSİDİR ?**

Çeliğin de dahil olduğu birçok malzemenin TIG kaynağında % 2 toryum ile alaşımlandırılmış tungsten kaynak elektrotlarının kullanılması önerilir. Ancak alüminyum kaynağında AC akım kullanımı DC akım kullanımına oranla daha çok tercih edildiği için elektriksel karakteristikler farklıdır ve tungsten elektroda yüklenen enerji miktarı AC kaynak uygulamalarında daha yüksektir. Bu nedenden dolayı , alüminyumun kaynağında , saf tungsten elektrotlar ya da zirkonyum ile alaşımlandırılmış elektrotlar önerilmektedir.

Bunun yanında, AC kaynak uygulamalarında kullanılan elektrot çapları, DC uygulamalarda kullanılan elektrot çaplarında belirgin derecede daha kalındır. Kaynak sırasında en az 3,2 mm kalınlığındaki elektrotların kullanılması ve ihtiyaca göre bu çapın ayarlanması önerilir. Zirkonyum ile alaşımlandırılmış olan tungsten elektrotlar saf tungsten elektrotlara oranla fazla akım taşıyabilir.

AC kaynağının sağladığı bir diğer avantaj da bu yöntemde yuvarlatılmış uçlu elektrotların kullanılmasıdır. Sivri uçlu elektrotlarda ise ark sapma eğilimi gösterir.

## **4. ALÜMİNYUM KAYNAĞI UYGULAMASINDA NE KADAR ÖN TAV VERMELİYİM ?**

Düşük dereceli bir ön tav uygulaması yararlı iken, çok yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilebilen bir ön tav uygulaması alüminyumun mekanik özelliklerini azaltabilir.

Daha önce de belirtildiği gibi, ısıt işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarındaki son ısıt işlem aşaması sıcaklığı 200 ° C seviyesindedir. Dolayısı ile eğer kaynakçı alüminyuma 330 ° C düzeyinde



bir ön tav uygulama ve bu sıcaklığı kaynak işlemi süresince korursa alüminyumun mekanik özellikleri değişir.

Deneyimsiz alüminyum kaynakçıların büyük bir çoğunluğu ön tava bir can simidi olarak kullanılır. Alüminyumun kaynağında kullanılan makine ve donanımlar yüksek kapasitelerde gerektirdiği için çoğu kaynakçı uygulanacak olan ön tavin donanıma ait sınırlamaları giderme konusunda kendisine yardımcı olacağını düşünür, ancak bu kesinlikle bir kural olarak kabul edilmez. **Alüminyumun erime noktası ( 650 ° C )** çeliğinkinden ( 1425 - 1480 ° C ) daha düşüktür. Bu düşük ergime noktasından dolayı birçok kaynakçı düşük güce sahip donanımların alüminyumun kaynağı için yeterli olacağını zanneder. Ancak alüminyumun ısı iletkenlik özelliğinin çeliğinkinden 5 kat daha yüksek olduğu unutulmamalıdır. Bu durum ise, oluşan ısının çok hızlı bir şekilde dağılacığı anlamına gelmektedir. Bu yüzden alüminyum kaynağı için gerekli olan kaynak akımı ve kaynak voltajı çeliğin kaynağı için gereken olan değerlerden daha yüksektir, yani kaynakçılar aslında daha yüksek güce sahip donanımlara gereksinim duyarlar.

#### **5. ALÜMİNYUM KAYNAK DİKİŞLERİ İÇİN EN UYGUN GERİLİM GİDERME İŞLEMİ HANGİSİDİR ?**

**Alüminyum için uygun gerilim giderme sıcaklığı ise : 340 ° C** ' dir. Yani kaynaktan sonra etkin bir gerilim giderme gerçekleştirebilmek için alüminyum malzeme mekanik özelliklerini kaybedinceye kadar ısıtılmış olmalıdır. Bu nedenle kaynaktan sonra alüminyuma gerilim giderme tavlama yapılması önerilmez.

#### **6. FARKLI KALINLIKTAKİ İKİ ALÜMİNYUM PARÇAYA NASIL TIG ( ARGON ) KAYNAĞI YAPABİLİRİM ?**

Farklı kalınlıkta iki alüminyum parçaya kaynak yapılacaksa, parametreler en kalın parçaya **TIG kaynağı** yapılabilmesini sağlayacak kadar yüksek değerlere ayarlanmalıdır. Kaynak sırasında, birleşim noktasını destekleyen ve daha kalın olan parçaya daha fazla ısı uygulayın.

#### **7. 7075 'E SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMINA NASIL KAYNAK YAPABİLİRİM ?**

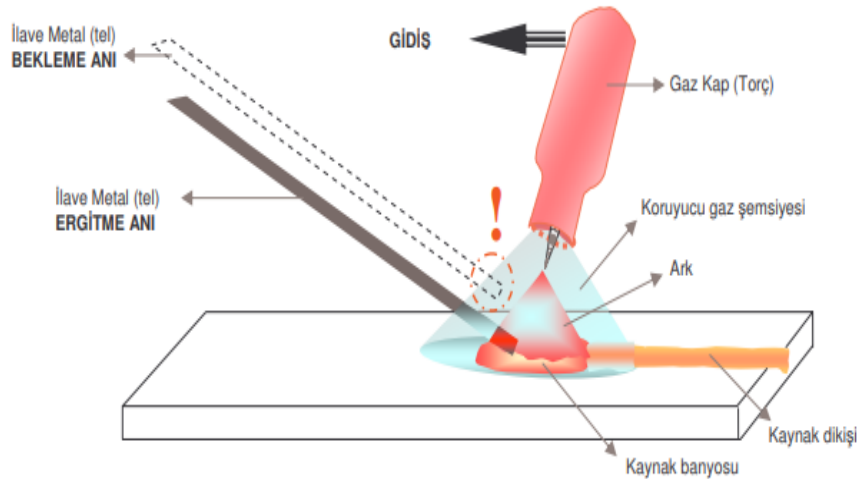
Alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğu kaynak edilebilir, ancak çok az bir bölümü kaynak edilemez olarak kabul edilir. **7075** kaynak edilemeyen alüminyum alaşımlarından biridir. **7075** 'in örnek olarak seçilmesinin temel nedeni kendisinin en yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarından biri olmasıdır. Kaynakçılar ve tasarımcılar alüminyum konusunda bir seçim yapacağı zaman genellikle her tür alüminyum alaşımı ve bunlara ait mekanik değerleri içeren tablolara bakarak karar verir. Ancak gerekli tecrübeye sahip olmayanların göz ardı ettiği konu yüksek dayanıma sahip özellikle **7XXX** ve **2XXX** serisi alüminyum alaşımlarının sadece çok az bir bölümünün kaynak edilebildiği gerçeğidir ve bu yüzden bu gruba giren alaşımların tasarımlarda sık olarak kullanılmamasından yarar vardır.

Kaynak uygulamalarında **7075** ' in asla kullanılmaması kuralının tek istisnası, enjeksiyon kalıplama sektörüdür. Bu sektörde kalıp onarımında **7075** ' e kaynak yapılmaktadır - fakat bu malzemenin yapısal işlerde asla kullanılmaması önerilir. Bu konuda faaliyet gösteren tesislerde bulunan ve **7075** türü malzemeden üretilen kalıpların onarımında kaynak yöntemi kullanılabilir ancak, konstrüksiyona yönelik birleştirme uygulamalarında kesinlikle kaynak yöntemine başvurulmamalıdır.

Bir çok uzman yüksek dayanıma sahip alüminyumdan tasarlanması gereken herhangi bir konstrüksiyon inşasında **2XXX** ya da **7XXX** serilerinin yerine 5XXX serisi yüksek magnezyum içeren alüminyum alaşımının kullanılmasını önermektedir. 5XXX serisi yüksek magnezyum içeren alüminyum alaşımının kullanılmasını önermektedir. 5XXX serisi alaşımlar kaynak edilebilir ve kaynaklı uygulamalarda en iyi sonucu verir.

## 6.21. TIG KAYNAĞINDA İLAVE TEL HAREKETİ

TIG kaynağında kullanılan ilave tel, kaynak işlemi boyunca koruyucu gaz şemsiyesinin dışına çıkarılmamalıdır. Aksi durumda ucu kızgın durumda olan tel bu hali ile hava ile teması sonucu süratle oksitlenecektir. Bu da telin tekrar kaynak banyosuna sokulması ile kaynak metaline oksidin karıştırılması ile kaynak kalitesini düşürecektir.



Şekil 6.11. İlave Telin Kaynak Sırasındaki Hareketi [ 3 ]

## 6.22. KAYNAKTA İLERLEME HIZI

Kaynak ilerleme hızı TIG kaynağının genişliği ve penetrasyon miktarını etkileyen önemli bir parametredir. Fakat TIG kaynağının genişliğini penetrasyon nazaran daha birincil olarak etkiler. Kaynakta ilerleme hızı maliyeti etkilediğinden dolayı önemli bir parametredir. Bazı uygulamalarda kaynak ilerleme hızı, diğer değişkenlere uygun şekilde seçildiğinden kontrol parametresi olarak kullanılabilir.

## 6.23 TEL BESLEME

Manuel gaz tungsten ark kaynağında, kaynak banyosunu eklenen ilave tel kaynak görünüşünü ve kalitesini etkiler. Otomasyonda ise tel besleme hızı, birim dikiş uzunluğu için gerekli dolgu teli göz önünde bulundurularak hesaplanır. Tel besleme hızı düşerse penetrasyon artar ve dikiş şekli düzleşir.

Tel çok yavaş beslenirse yanma olukları, merkezde kırık, yetersiz dolguya neden olabilir. Tel besleme hızını arttırmak ise kaynak penetrasyonunu düşürür ve çok konveks bir dikiş yapısı meydana getirir[4]






## 6.24. TUNGUSTEN ELEKTROT ÇEŞİTLERİ VE UÇ BİLEME YÖNTEMLERİ

Ülkemizde çoğunlukla paslanmaz çeliklerin ve alüminyum malzemelerin kaynaklarında kullanılan TIG yönteminde, tungsten elektrotlar genelde iki çeşit olarak bulunmaktadır. Bununla birlikte farklı çeşitlerini de bulmak mümkündür. Bunlar kırmızı renk kodu ve yeşil renk kodu ile ayırt edilmektedir.

Eğer Alüminyum veya benzeri hafif metallerin kaynakları söz konusu ile kullanılması gereken tungsten elektrot **YEŞİL** renk kodludur.

Bunun dışında diğer tüm metallerin ( karbon çeliklerin, paslanmaz çelikler, bakır ve alaşımları vb.) kaynaklarında kullanılması gereken tungsten elektrot ise **KIRMIZI** renk kodludur.

Bununla birlikte dünyada farklı renk kodları ile tungsten elektrotlar üretilmekte ve satışı yapılmaktadır. [ 4 ]

AWS AST	%Min. Tungusten	% Toryum	% Zirkonyum	%Max. Diğer	RENK KODU	ERGİME DERECESİ (° C)
EW	99,5	---	---	0,5	 YEŞİL	3400
EWTh-1	98,5	0,89 -1,2	---	0,5	 SARI	4000
EWTh-1	97,5	1,7 - 2,2	---	0,5	 KIRMIZI	4000
EWTh-3	98,5	0,35 - 0,55	---	0,5	 MAVİ	4000
EWZ	99,2	---	---	0,5	 KAHVERENGİ	3700

**Tablo 6.5.** Örnek Tungsten Elektrot Çeşitleri [ 2 ]

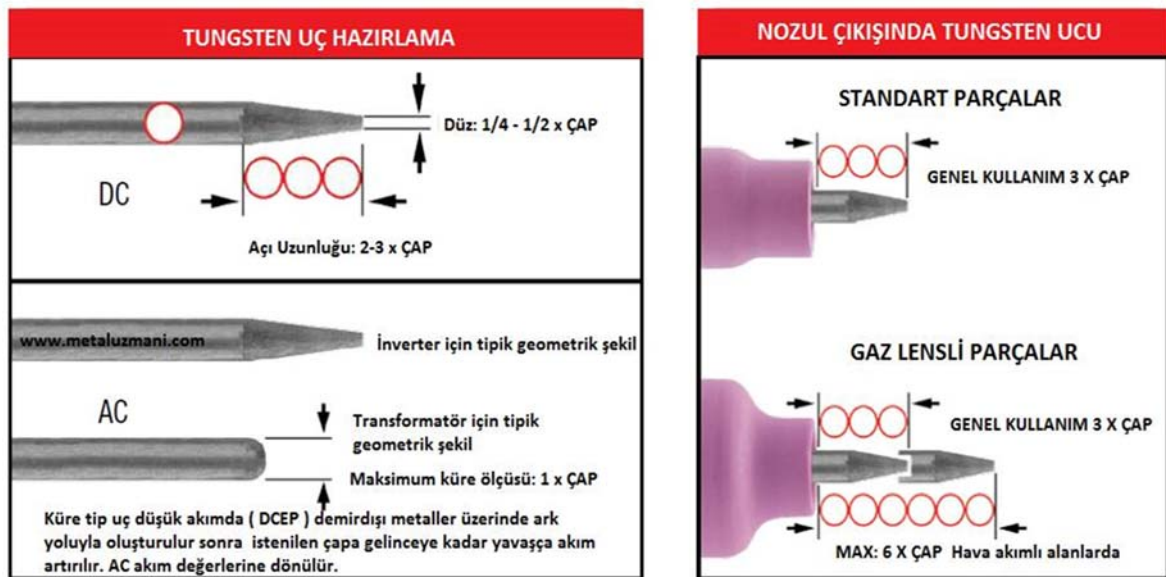
TUNGSTEN ELEKTROTLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ		
Tungsten	Renk Kodu	Karakteristik Özellik
Saf	Yeşil	AC akımda kaynakta iyi ark kararlılığı sağlar. Kirlenmeye karşı direnci iyidir. Daha düşük akım değerleri yüklenebilir. Ucuzdur. Genellikle küreselleşmiş uç şeklinde kullanılır. Sadece AC akımda kullanılır.
%2 Seryumlu	Gri	Toryumlu tungstene benzer özellikler gösterir. Ark başlaması kolay, iyi ark kararlılığı sağlar ve uzun ömürlüdür. Toryumlu elektrot yerine kullanılabilir.
%2 Toryumlu	Kırmızı	Daha kolay ark başlar. Daha yüksek akım değerlerinde çalışır. Ark kararlılığı yüksektir. Kaynak havuzundan kirlenmeye karşı direnci yüksektir. AC akımda küreselleşmiş ucu sürdürmek zordur.
%1,5 Lantan	Altın	Toryumlu tungstene benzer performans gösterir. Ark başlaması kolay, iyi ark kararlılığı sağlar, uzun ömürlüdür ve yüksek akım değerlerinde çalışılabilir. %1,5 olan toryumlu tungstenin yerine, %2 olan saf tungstenin yerine kullanılabilir.
%2 Lantan	Mavi	
% 0.8 Zirkonyumlu	Beyaz	İyi ark başlangıcı, kirlenmeye karşı yüksek direnç ve küreselleşmiş ucu koruduğundan dolayı AC akımda kaynak için mükemmel bir seçim olabilir. Kaynakta tungsten kirlenmesi olduğu zaman tercih edilebilir. Saf tungsten yerine kullanılabilir.
LaYZr	Açık yeşil	Otomatik veya robotik uygulamalar için en iyi seçimdir. Uzun ömürlü %2 toryumlu elektrottan daha verimlidir. (Daha soğuktur) . Düşük-orta amper aralığında çalışır.

Tablo 6.6. Tungsten Elektrotların Karakteristik Özellikleri [ 2 ]



Resim 6.3. Bileme Acısına Göre Tungsten Uçların Verdiği Kaynak Geometrileri

Kırmızı renk kodlu elektrotların bilemesi sivri şekilde yapılması gerekirken, yeşil renkli tungsten elektrotlar radüslü ( küresel biçimde ) bilemelidir.



Şekil 6.12. Tungsten Uç Hazırlama [ 2 ]

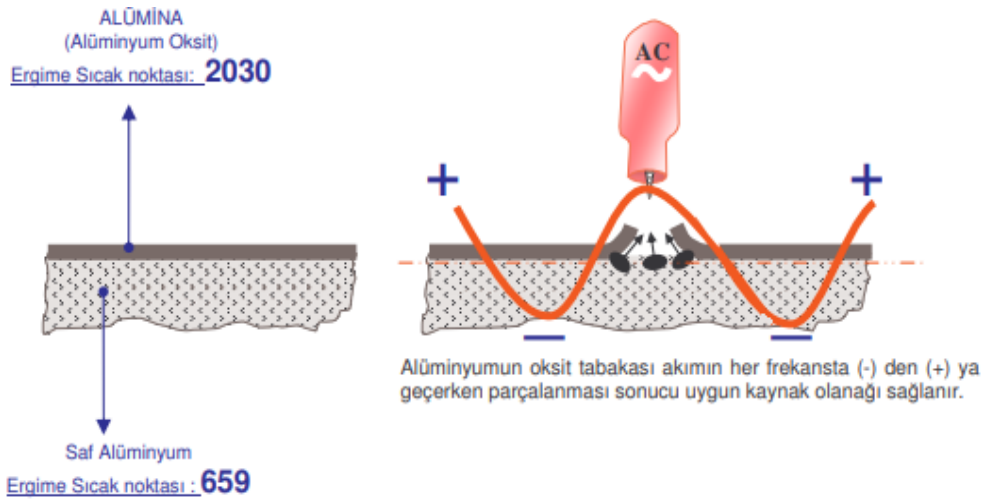
MALZEME CİNSİ	AKIM TİPİ	KUTUPLAMA
ALÜMİNYUM	AC	*
MAGNEZYUM	AC	*
PASLANMAZ ÇELİK	DC	( - ) ( NEGATİF )
%0,3 C ' lu ÇELİK	DC	( - ) ( NEGATİF )
BAKIR	DC	( - ) ( NEGATİF )
TİTANYUM	DC	( - ) ( NEGATİF )
NİKEL	DC	( - ) ( NEGATİF )
MONEL	DC	( - ) ( NEGATİF )
İNKONEL	DC	( - ) ( NEGATİF )

**Tablo 6.7.** Malzemelerin Kaynak Yapılma Akım Tipleri

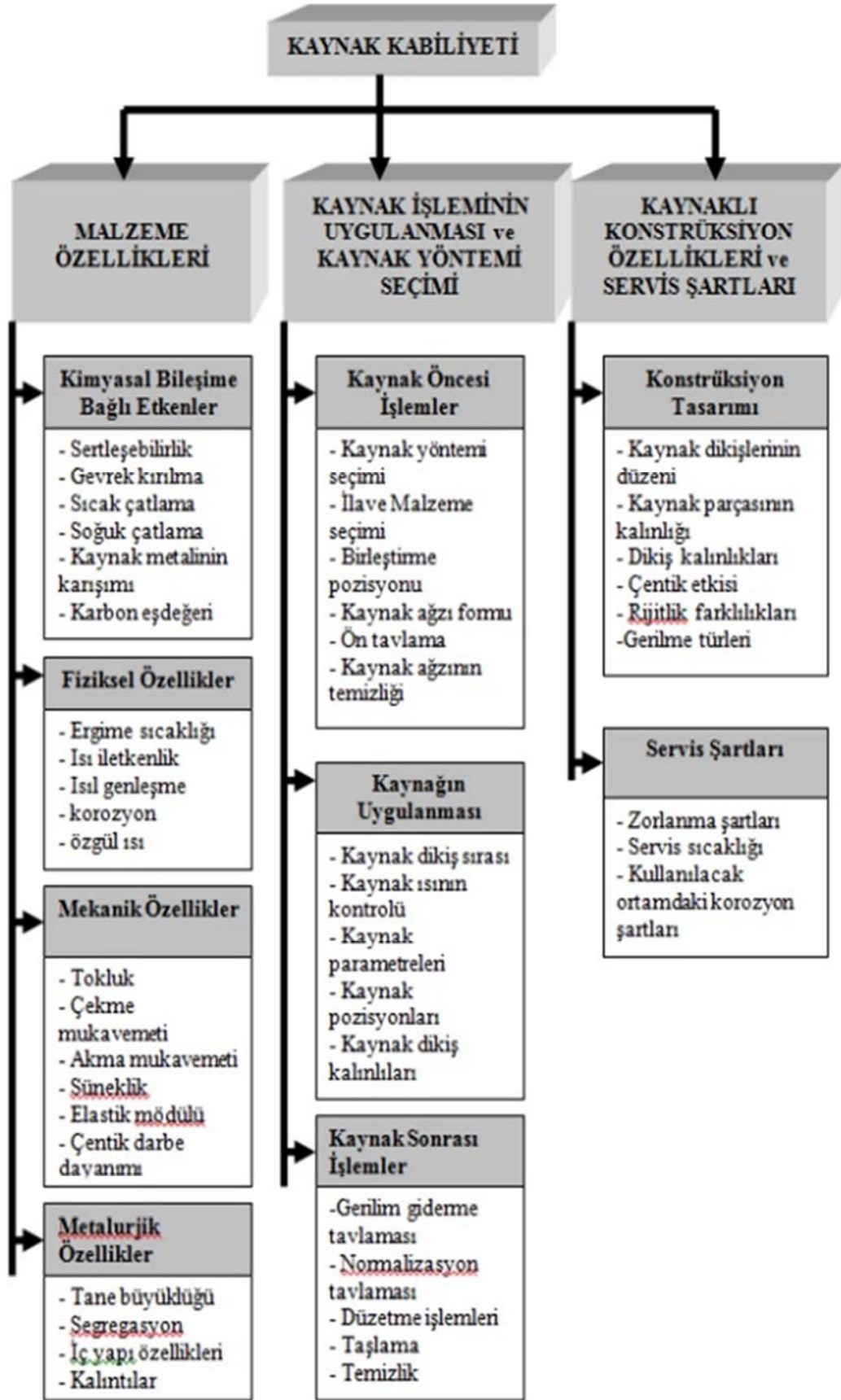
Alüminyum malzemelerin kaynaklarında AC akım tipi kullanılmasının nedeni, alüminyumun dış yüzeyinin çok süratle oluşan bir oksit filmi ile kaplı olmasıdır. Bu oksit filmi " Alümina " olarak adlandırılmakta ve ergime sıcaklığı 2030 C civarlarındadır.

Alaşım oranlarına göre değişmekle birlikte alüminyum ergime sıcaklığı yaklaşık 659 °C dir. Dolayısı ile kaynak işlemi sırasında eğer bu alümine tabakası temizlenmeden kaynağa başlanacak olursa TIG dışındaki yöntemlerde zorluk ve olumsuzluklar kaçınılmazdır.

Bu tabakanın temizlenmesi ve kaynağa hazır hale getirilmesi ek maliyetleri doğurmaktadır. Oysa TIG yönteminde AC akım kullanılarak kaynak sırasındaki akım yönünün değişikliği sırasında oluşan geçişlerde alüminanın parçalama yolu ile kaldırılması dolayısı ile sağlıklı bir kaynağın gerçekleştirilmesi olanaklıdır.



**Şekil 6.13.** Alüminyum ve AC Akım Etkisi



Tablo 6.8. Kaynak Kabiliyeti [ 12 ]

## MALZEMELERE AİT KAYNAK KABİLİYETİ

Malzeme	Elektrik Ark Kaynağı	Oksi-Asetilen kaynağı	Elektron Işın Kaynağı	Direnç Kaynağı	Sert Lehimleme kaynağı	Yumuşak Lehimleme Kaynağı	Yapıştırarak Birleştirme Kaynağı
Dökme Demir	7	10	1	1	3	1	7
Karbonlu Çelik Az Alaşımli Çelik	10	10	7	10	10	3	7
Paslanmaz Çelik	10	7	7	10	10	5	7
Alüminyum	7	7	7	7	7	1	10
Magnezyum	7	7	7	7	7	1	10
Bakır, Bakır Alaşımları	7	7	7	7	10	10	7
Nikel Nikel Alaşımları	10	7	7	10	10	5	7
Titanyum	7	1	7	7	3	1	7
Kurşun	7	7	1	3	1	10	10
Çinko	7	7	1	3	1	7	10
Termoplastikler	10*	10**	1	7***	1	1	7
Termosetler	1	1	1	1	1	1	7
Elastomerler	1	1	1	1	1	1	10
Seramikler	1	1	7	1	1	1	10
Farklı Malzemelerin Birbiri ile Birleştirilmesi	3	3	7	3	3 - 7		10

Not : 10 puan

Mükemmel

5 puan Orta

1 Nadiren veya asla kullanılmaz

\* Isıtılmış alet

\*\* Sıcak Gaz

**Tablo 6.9.** Malzemelere Ait Kaynak Kabiliyeti Dereceleri [ 12 ]

Malzemeler	Al - Cu Alaşımları	Saf Bakır	Çelik Saç	Paslanmaz Çelik ( 18 - 8 )
Magnezyum	C	H	-	-
Nikel Alaşımları	E	E	D	D
Nikel	E	E	D	D
Paslanmaz Çelik ( 18 - 8 )	H	H	B	A
Çelik Sac	E	H	A	
Bakır	E	K		
Al - Cu Alaşımları	C			
Alüminyum	C			

A : Mükemmel kaynak kabiliyeti

B : Çok iyi kaynak kabiliyeti

C : İyi kaynak kabiliyeti

D : Orta kaynak kabiliyeti

E : Zayıf kaynak kabiliyeti

K : Kötü kaynak kabiliyeti

H : Çok zayıf kaynak kabiliyeti

**Tablo 6.10.** Alaşımların Kaynak Kabiliyeti Dereceleri

## 6.25. KAYNAKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

### 6.25.1. Metalurjik Etki

Kaynaklı bağlantılarının özellikleri ; kaynak sırasında ve sonrasında katılaşma davranışları ve mikro yapı değişimleri ile yakından ilgilidir. Kaynaklı bağlantıların performans ve özelliklerini tahmin etmek için bu değişimleri göz önünde bulundurmak gerekir. Alüminyum alaşımları ergitme kaynağı yöntemleri kullanılarak kaynatıldığı takdirde kaynak sırasındaki katılaşma davranışları ve mikro yapı değişimleri anlamak için ana metal ve dolgu metalinin özelliklerini gözde geçirmek gerekir .

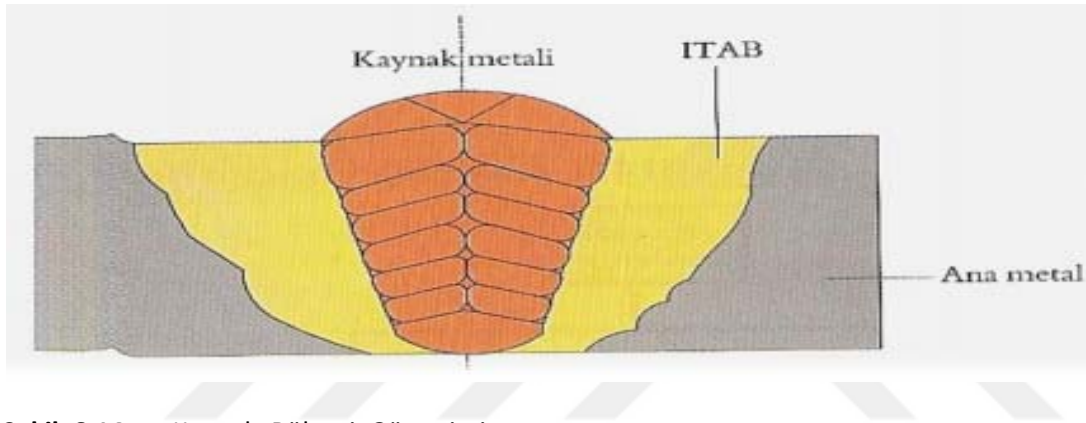


### 6.25.2. KAYNAK METALİ

Kaynak metalinin mikro yapısı ; kaynak sırasında ortaya çıkan metalurjik olaylardan, kimyasal kompozisyondan, kullanılan kaynak yönteminden, soğuma hızından etkilenmektedir. Kimyasal kompozisyon kaynak metalinin katılaşma aralığını belirler. Kaynak metalinin katılaşma aralığı ne kadar darsa kaynak sırasında sıcak çatlama probleminin görülmesi eğilimi artar. Kaynak sırasında sıcak çatlamayı katılaşma aralığını genişleten dolgu metali kullanımı yararlıdır. Kaynak metalinin soğuma hızını arttırarak katılaşma sırasında orta çıkan segregasyonlar azaltılabilir.

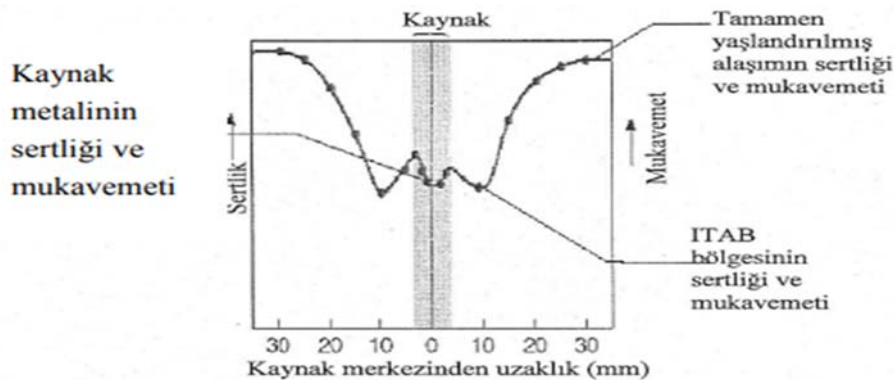
### 6.25.3. ISI TESİRİ ALTINDAKİ BÖLGE

Kaynak sırasında ve kaynak işleminden çok kısa bir süre sonrasında kadar ısı altında kalan bölgede metalurjik değişimler görülür. Bu metalurjik değişimler, rekristalizasyon, yaşlanma , aşırı yaşlandırma, sıralabilir .



Şekil 6.14. Kaynak Bölgesi Gösterimi

. ITAB bölgesindeki rekristalizasyon bölgenin 200 ° C aşmasıyla başlar ve 300 ° C varıldığında tamamen tavlanmış olur. Isıl işlem uygulanabilir alüminyum alaşımlarında da soğuk işlem görmüş alüminyum alaşımlarına benzer mukavemet kaybı görünür. Daha kompleks olan bu mukavemet kaybına nedeni 2XXX alaşımlarında çökelmiş olan fazın çözülmesinden, 7XXX serisi alaşımlarında ise çökelmiş fazda kabalaşma veya aşırı yaşlanmadan dolayıdır.



Şekil 6.15 Yaşlandırma İşlemine Tabi Tutulmuş 7075 T651 Alaşımının Kaynak İşlemiyle Mukavemet Değişimi

#### 6.25.4. OKSİT FİLM TABAKASININ KALDIRILMASI

Diğer çoğu metalin oksit formları kendisiyle yakın ergime noktalarına sahiptirler. Alüminyum alaşımlarının yüzeyinde bulunan oksit film tabakası refrakter bir malzemedir ve alüminyum alaşımlarına nazaran yüksek ergime derecesine sahiptir. Alüminyum yüzeyinde bulunan bu oksit tabakasının ergime derecesi 2060 ° C civarındadır. Alüminyum alaşım yüzeyindeki oksit film tabakası kaldırılmadan ergime noktasına kadar ısıtılırsa, ergimiş haldeki metalin etrafı oksit tabakasıyla çevrelenir .

#### 6.26. KAYNAK HATALARI

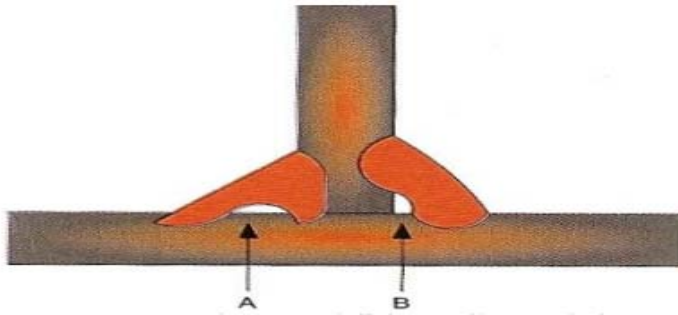
##### 6.26.1 Nüfuziyet Azlığı

Kaynak anında, erimenin tüm malzeme kalınlığına olmaması sonucunda, bağlantının alt kısımlarında kırılmaya neden olabilecek oyuk ve çentikler oluşur. MIG – MAG kaynağında nüfuziyet azlığının oluşmamasına aşağıdaki nedenler yol açar ;

- \*\* Birleştirme yerinin geometrisinin uygun bir elektrot çapının seçilmemesi,
- \*\* Akım şiddetinin uygun seçilmemesi,
- \*\* Uygun bir kaynak ağzının açılmaması ,
- \*\* Kök pasosunun kötü çekilmesi,

##### 6.26.2. Birleştirme Azlığı ( Yetersiz Erime )

Kaynak metali ile ana metal veya üst üste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen kısımların bulunması sonucunda bu hata ortaya çıkar. Birleşme azlığına genellikle cüruf, oksit, kav veya diğer demir olmayan yabancı maddelerin varlığı neden olur. Bu maddeler, ana metal veya ilave metalin tamamen erimesine engel olduğundan yetersiz bir birleştirme ortaya çıkar .



Şekil 6.16. Ergime yetersizliğinin şematik gösterimi. [ 23]

Bu hatanın oluşmasının kaynak anında önlenmesi için, uygun akım şiddeti ve kısa ark boyu ile çalışmak çok önemlidir. Fazla düşük akım şiddeti yetersiz bir birleştirme oluşturmaktadır.

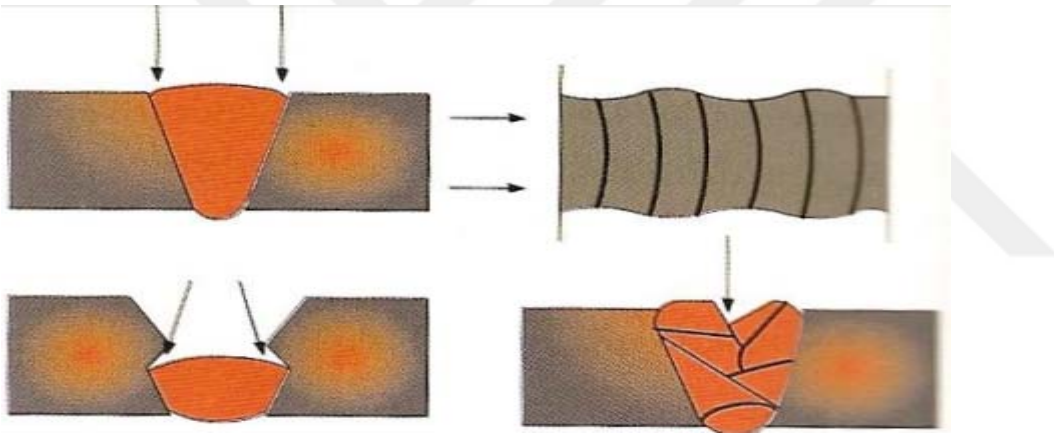
Buna karşın çok yüksek akım şiddeti de elektrotun çabuk erimesi dolayısıyla aynı olaya neden olabilmektedir.

### 6.26.3 Yanma Olukları veya Çentikleri

Bu hata, kaynaktan sonra ana malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde gözükür. Oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder.

Yanma oluklarının oluşma nedenleri şunlardır ;

- Akım şiddetinin yüksek seçilmesi,
- Kaynakçının aşırı hızlı çalışması,
- Elektrotun fazla zigzag hareketler yapması,
- Kaynak anında elektrotun yanlış bir açı ile tutulması,
- Ana metalin aşırı derecede paslı olması,
- Aşırı yüksek akım ile çalıştırılması,
- Düşük ark geriliminde çalışılması,



Şekil 6.17. Yanma oluklarının şematik gösterimi [ 23]

### 6.26.4. Kalıntılar

Eriyen elektrot ile gaz altı kaynağında iki tür kalıntı karşılaşılr ; bunlar cüruf ve oksit kalıntılarıdır. Kalıntılar gerek kaynak kesitinin zayıflattıkları ve gerekse de çatlak başlangıcına neden oldukları için arzu edilmezler. kaynak hızının yüksek seçilmesi halinde, ana metalin yüzeyini kaplayan oksit tabakası banyo içinde hapsolür ve dikiş içinde oksit kalıntıları da bağlantının zayıflamasına neden olur. Bu olaya kaynak hızının azaltılıp ark gerilimini yükselterek mani olunabilir.



Şekil 6.18. Kaynak dikişinde kalan oksit partiküller [23-10]

## 6.26.5. KAYNAK METALİNDE VE ANA METALDE OLUŞAN ÇATLAKLAR

Kaynak hataları arasında en tehlikeli çatlaklardır. Çatlak içeren bir kaynaklı bağlantının gerek dinamik ve gerekse statik zorlanmasına izin verilmez. Genellikle, bu çatlaklar dikişteki bölgesel gerilmeler neden olmaktadır. Kaynak anındaki çarpılma ve çekmelere karşı koyan kuvvetler, iç gerilmelerin dağıtılmasında önemli rol oynar. Bu bakımdan parçaların olabildiğince serbest hareket edebilecek konumda olmaları istenir. Kaynak yerinin bir hava akımı ile çabuk soğutulması veya düşük ortam sıcaklıkları çatlama meylini arttırır.

Kaynaklı bağlantılarda karşılaşılan çatlaklar kaynak metalinde ve ana metalde oluşanlar olmak üzere yer bakımından iki ana gruba ayrılır.

**Kaynak metalinde görülen çatlaklar**, Oluşum zamanına göre de çatlaklar sıcak ve soğuk çatlaklar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Sıcak çatlaklar, kaynak banyosu katılaşmaya başladığı anda oluşan, soğuk çatlaklar ise kaynak metali katılaştıktan sonra ortaya çıkan çatlaklardır.

**Ana metalde oluşan çatlaklara** kaynaktan sonra ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesi neden olmaktadır. Ana metalin birleşimi, soğuma hızı ve çekme gerilmeleri bu tür çatlakların başlıca nedenleridir. Soğuma hızı, ana metalde oluşan çatlakların en şiddetli nedenlerinden birisidir

## 6.26.5. GÖZENEKLER

Gazların sıvı metal içindeki çözünürlüğü, metal soğudukça azalır ve metalin sıvı halden katı hale geçişi sırasında çözünürlük büyük bir oranda düşer. Kaynak banyosu katılaşırken sıvı metalde çözülmüş haldeki artık gaz dışarı çıkamaz ve gaz kabarcıkları oluşturulur. Kaynak banyosunun katılaşma hızı çok fazla ise bu gaz kabarcıkları banyo yüzeyinden atmosfere ulaşamaz ve dikiş içinde gözenek olarak hapsolür.

## 6.26.6. AZOT NEDENİ İLE GÖZENEK OLUŞUMU

Azot nedeni ile gözenek oluşumu daha çok kaynak makinesinde kaynakçının yanlış çalışma tekniği ile çalışmasından meydana gelmektedir. Kaynak şartları, sıvı kaynak banyosunun azotu absorbe etme kabiliyeti ve dolayısıyla ile gözenek oluşturması üzerine büyük etkisi vardır. Kaynak hızı da gözenek oluşumuna büyük bir etki yapar. Yüksek kaynak hızlarında gözenek eğilimi azalır.



Şekil 6.19. Kaynak banyosunda gaz hapsolmesi [ 23]

### 6.26.7. HİDROJEN GAZI İLE GÖZENEK OLUŞU

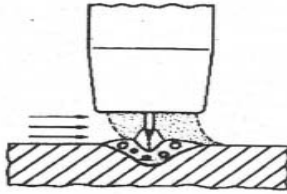
Kaynak metalinde hidrojenin en önemli nedenleri, parça veya tel elektrot yüzeyindeki su veya nemdir. Yağlı veya gresli yüzeylerde hidrojen oluşumuna neden olmaktadır. Bu yüzeyler kaynaktan önce buharla veya uygun bir solvent ile temizlenmelidir.

### 6.26.8. KARBON MONOKSİT GAZI İLE GÖZENEK OLUŞUMU

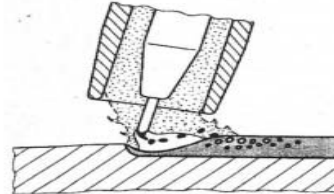
Tel elektrotun kimyasal bileşimindeki silisyum ve mangan gibi deoksidasyon elemanları CO gözeneginden kaçınmak için önemlidir. Gözenek oluşumu istenmeyen bir olaydır. Ayrıca alüminyum çabuk soğuyabilen bir malzeme olması kaynak sırasında gazların çıkamadan hapsolmesine ve içeride gözenek oluşmasına neden olur. Oluşan gözenek çeşitli kalite kontrol standartlarına göre kontrol edilmektedir.

### 6.26.9. SIÇRAMALAR

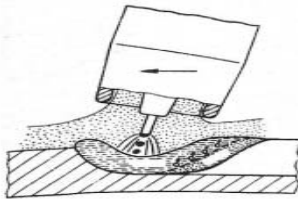
Kaynağın yapılışı sırasında oluşan bölgede dışına çıkan sıçrama olarak adlandırılan küçük metal parçacıkları fırlar ve parça gaz lülesi veya kontak borusu üzerine düşer. Gaz akışının kesilmesi gaz korumasının tam anlamıyla olmaması ve kaynak dikişinin oksitlenmesi demektir. Bu nedenle sıcrantıların minimuma indirmekle kaynak kalitesinin yükselmesi sağlanabilir.



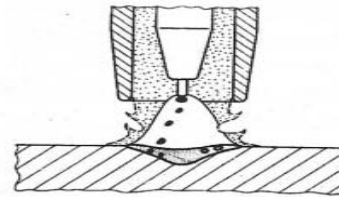
a. Kaynak banyosunda gözenek oluşumu



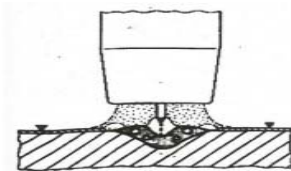
b. Uygun olmayan gaz tel kombinasyonu



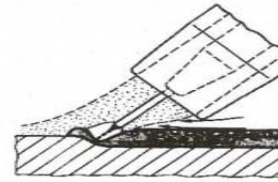
c. Ark üflemesinin neden olduğu gözenekler



d. Hava akımının neden olduğu gözenekler



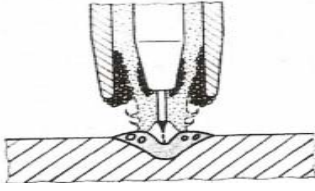
e. Parça yüzeyindeki kir ve yağın neden olduğu gözenekler



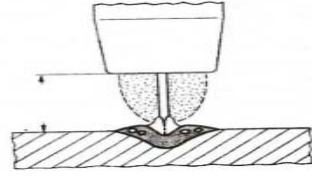
f. Torcun fazla eğik tutulmasının neden olduğu gözenekler

**Şekil 6.20.** Ortam koşullarının ve yanlış kaynak parametrelerinin neden olduğu gözenekler

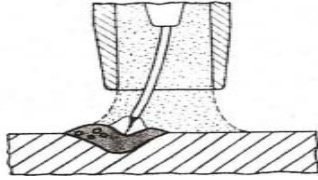
Yukarıdaki **Şekil 6.20** de gösterilen şemada gözeneklerin nasıl oluştuğu hakkında şematik gösterim mevcuttur.



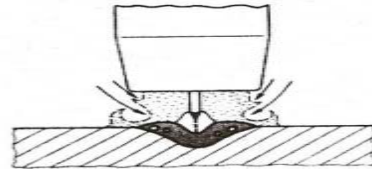
a. Uzun serbest tel boyunun neden olduğu gözenekler



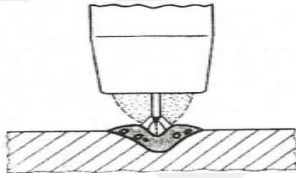
b. Serbest tel uzunluğu fazla



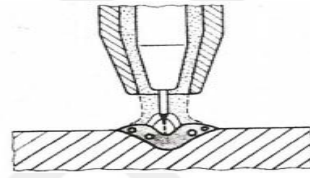
c. Koruyucu gaz fazla



d. Koruyucu gaz az



e. Gaz lülesi ufak



f. Gaz lülesi tıkanmış

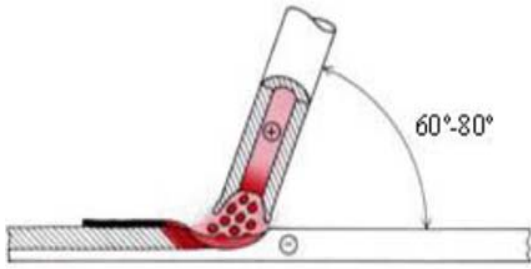
**Şekil 6.21.** Yanlış kaynak parametreleri ve kaynak işleminde meydana gelen etkiler nedeniyle gözenek oluşumu [22-14]

Boşluk Oluşum Mekanizması	Nedenleri	Çözüm
Hidrojen Gazı hapsolması	Kaynak Bölgesinde veya dolgu metalinden bulunan gres yağı, oksit film tabakası, toz, kirli koruması gazı vb.	Temiz tel kullanımı, temiz koruma gazı, temiz ana metal yüzeyi,
Gaz / Hava hapsolması	yüksek akım nedenli kaynak banyosu türbülanslı, Kimsi penetran / dolgu kaynağının kökünden meydana gelen gaz genişlemesi	düşük akım kullanımı, kaynak hızının düşürülmesi, kaynak açısının değiştirilmesi, kaynak dolgusunun kökünde boşluk bırakma yüksek ısı girişi sağlamak

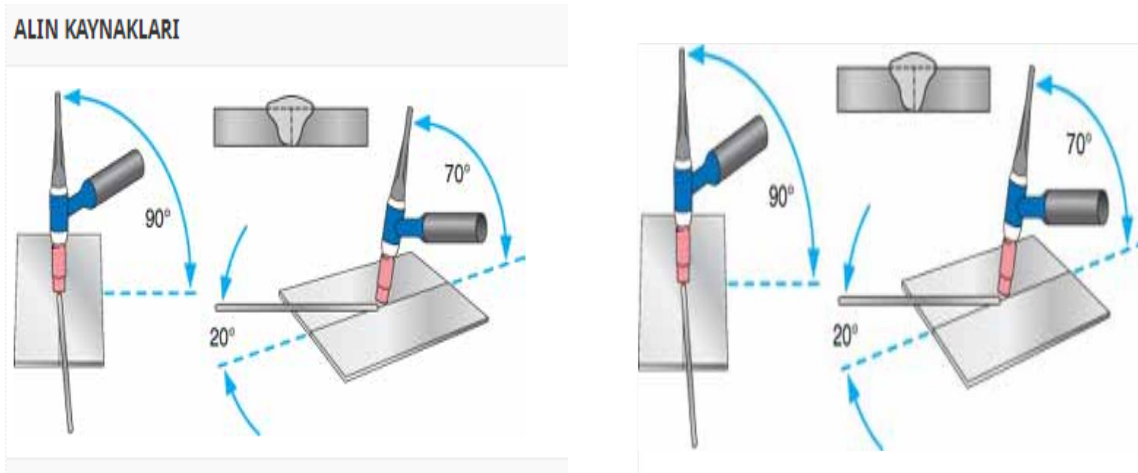
Hızlı Soğuma Nedenli Gaz tutma	ısı girdisinin çok düşük olması, hızlı ısı kaybı, viskoz kaynak banyosu soğuk arka bar.	Düşük kaynak hızı, ön ısıtma uygulaması, sıcak destek barı kullanımı, koruma gazı olarak argon yerine helyum kullanımı
--------------------------------	---	--

Düzensiz El Besleme	Hasarlı temas ucu, dengesiz güç kaynağı, dirsekli, bloklu veya yanlış boydaki kovan, yanlış ayarlanmış tahrik silindirleri	Kablo borusunun doğrultulması, temas ucunun değiştirilmesi, tahrik silindirlerinin basıncının ayarlanması, yivli silindir kullanımı
---------------------	--	---

**Tablo 6.11** Hacimsel Hata oluşumu



**Şekil 6.22.** Alın Kaynaklarında Torç, İle Kaynak Yapılan Alüminyum Alaşımı Arasındaki Acılar [ 20 ]



**Şekil 6.23.** Alın Kaynaklarında Torç, İlave Tel, Kaynak Yapılan Alüminyum Alaşımı Arasındaki Acılar [ 19 ]

# 7. BÖLÜM

## ISIL İŞLEM

### 7.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ISIL İŞLEM

2024 – T351 ve 7075 T 651 Alüminyum Alaşımları

Isıl İşlem Genel Özelliklerini Tanıyalım

7.1.1. GİRİŞ Alüminyum metalinden \*\* muhtelif alaşımlama ve

\*\* farklı ısı işlem şartı ile

Çok farklı fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkün olmuştur.

Alüminyum alaşımlarının ;

\*\* düşük yoğunluğu,

\*\* kolay şekillendirilebilmesi,

\*\* yüksek korozyon direnci,

\*\* geliştirilebilen fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip olması

bu alaşımların kullanım alanını artırmaktadır.

**Mukavemeti** çelikten düşük olsa da, kesit arttırılarak çeliğe eşdeğer **mukavemet** sağlamaktadır. Birçok konstrüksiyonda alüminyum alaşımlarının kullanılması **ağırlıkta düşme** yaptığı için avantaj sağlamaktadır.

Bir çok alüminyum alaşımı yaşlandırma sertleşmesi ile sertleştirilir. Bu sertleşen alaşımlarda **yüksek mukavemet** değerleri elde edilir .

Yaşlandırma ısı işlemi üç safhada gerçekleştirilir.

1.) Çözeltiliye alma,

2.) Su verme ve

3.) Yaşlandırma safhası 'dır.

Yaşlandırma ısı işlemi oda sıcaklığında tabii olarak veya 115 - 190 °C sıcaklık arasında 5 – 48 saat süre ile yapılır suni olarak yapılabilir.



Alüminyumun ve alaşımlarının ( **2024 T351 - 7075 T651** ) diğer metallere , özellikle çeliklerden farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynak kabiliyeti üzerinde oldukça etkilidir.

- Bunlar ;
- \*\* Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası,
  - \*\* Yüksek ısı iletkenliği,
  - \*\* Yüksek ısı genleşme katsayısı,
  - \*\* Düşük ergime sıcaklığı,
  - \*\* Ergime sıcaklığına yaklaştığında renk değişimi göstermemesi
- ( kısacası tav rengi göstermemesi )

Bu özellikler ; alüminyum ve alaşımlarının ( **2024 T351 - 7075 T651** ) kaynağı açısından dikkat edilmesi gereken ve kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir .

**7.2. Isıl işlem : 2024 T351 ve 7075 T651** Alüminyum alaşımlarının, döküm parçası üzerinde uygulanan ısıtma ve soğutma sonucunda parçasının fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesine neden olur. [ 10 ]

- Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak :
- » tavlama,
  - » çözeltiye alma,
  - » yaşlandırma,
  - » soğuk işlem,

gibi kademeleri içermekte olup, alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir.

Alüminyum alaşımlarında uygulanan işlemler genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve sadece mekanik özellikler için değil, elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de belirleyici rol oynamaktadır. [ 10 ]

**Alüminyum ile ısıl işlem neticesinde sertleşen alüminyum alaşımları arasında şu fark vardır.**

- >> Alüminyum tavladıktan sonra ;
- \*\* **mukavemetini bir miktar kaybeder ve**
  - \*\* **yalnız soğuk şekil değiştirme neticesinde sertleşir.**

>> Buna karşılık sertleşen alüminyum alaşımları, belirli sıcaklıklarda belli zaman bekletilerek mukavemeti **ve sertliği yükseltilebilir. Bu bekletmeye yaşlandırma ve bu olaya ayrışma sertleşmesi** denir.

Yaşlandırma ; belirli sıcaklıkta yapılırsa **suni yaşlandırma** ,  
oda sıcaklığında yapılırsa **tabii yaşlandırma** adını alır.

**2024 T351 ve 7075 T651** ısıt işlemleri diğler alüminyum alaşımlarında olduğu gibi, ısıt işleme sertleştirilmesi 4 kademedede incelenir. [ 10 ]

- 1.) Önceden tayin edilen bir sıcaklığa kadar ısıtma
- 2.) Belirlenen bir sürede bu sıcaklıkta bekletme
- 3.) Düşük bir sıcaklığa hızla su verme.
- 4.) Su vermeye takiben, yaşlandırma veya çökeltme sertleşmesi

### **7.3. Tavlama ( 2024 ve 7075 alaşımlarında ) [ 70 ]**

Mekanik yollarla elde edilen işlenmiş alüminyum alaşımlarının çok zaman birçok imal işlemlerinden sonra tavlama işlemine tatbik etmek lazımdır.

Tavlama soğuk şekil değıştirme neticesinde sertleşmiş olan malzemeden **sertliği kaldırma** veya ısıt işleme tabi tutularak yaşlandırılan malzemeyi **yumuşatmak** için kullanılır.

Yapıda mevcut tanelerin yeniden kristalleşmesini sağlamak amacıyla, alaşımı eritmek ve çökeltme ısıt işlemleri sıcaklıkları arasında bir derece kadar ısıtmak tavlamanın esasıdır.

Bu işlem yaşlanma sertleşmesinin, sertleşme etkilerini yok eder.

Metalin soğuk işleme tabi tutulması da **sertliğini ve çekme mukavemetini arttırır.**

**Fakat sürekliliğini azaltır.** Metalin soğuk olarak işlenmesini devam ettirebilmek için tavlama işlemi uygulanarak metal yumuşatılır.

Isıt işlemdede alaşım **tav süresi** önemlidir. Örneğin yeniden billurlaştırma işleminde alaşım gereken sıcaklık ve sürede tutulmazsa yeniden teşekkül eden kristallerin şekil ve özelliklerini tamamıyla değıştirmezler. Bunu sağlamak için belirli sıcaklıkta ve zaman süresinde alaşımı bekletmek gerekir.

Ayrıca tavlanan alaşımın kenar kısımlarının ve ince yerlerinin hızlı tavlama ile bozulmaması için **sıcaklığı yavaş yavaş** arttırmak gerekir.

#### **7.3.1. Isıt İşlemin meydana gelebilmesi için temel olarak üç kademe mevcuttur,**

**bunlar sırasıyla ; Çökeltme sertleşmesi ısıt işleminin 3 aşması vardır : genel kuraldır.**

- 1.) Çözeltiyeye Alma ( solüsyona alma )
- 2.) Su Verme ( hızlı soğutma )
- 3.) Yaşlandırma ( çökeltme )

Aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımı **mekanik özelliklerin iyileştirilmesi** için temel kuraldır. [ 51 ]

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Isıl İşlem
1XX . X	Alaşımlandırılmamış Alüminyum ( % 99,0 veya daha yüksek safiyet )	Olur
<b>2XX . X</b>	<b>Bakır</b>	<b>Olur</b>
3XX . X	Silis ile Magnezyum ve / veya Bakır	Bazıları olur
4XX . X	Silisyum	Olmaz
5XX . X	Magnezyum	Olmaz
6XX . X	Kullanılmıyor	-
<b>7XX . X</b>	<b>Çinko</b>	<b>Olur</b>
8XX . X	Kalay ( Tin )	Olur
9XX . X	Kullanılmıyor	-

**Tablo 7.1.** Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu [ 49 ]

Bu çökelti fazının oluşumu, doğal olarak gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da yapılabilir. Ancak, genellikle alüminyum alaşımlarında **doğal yaşlanma** ile **mekanik özelliklerde** çok etkili bir değişim elde edilemez.

Alüminyum döküm alaşımlarına uygulanan ısıl işlem proseslerinde etken olan parametreler; çözelti alma sıcaklığı ve süresi, su verme hızı, yaşlandırma sıcaklığı ve süresidir.

Ticari **Al – Si – Mg** alaşımları ( **7xx.x grubu** ) döküm parçasında, arzu edilen mukavemet değerlerine ulaşmak için genellikle **T6** ısıl işleme tabii tutulurlar.

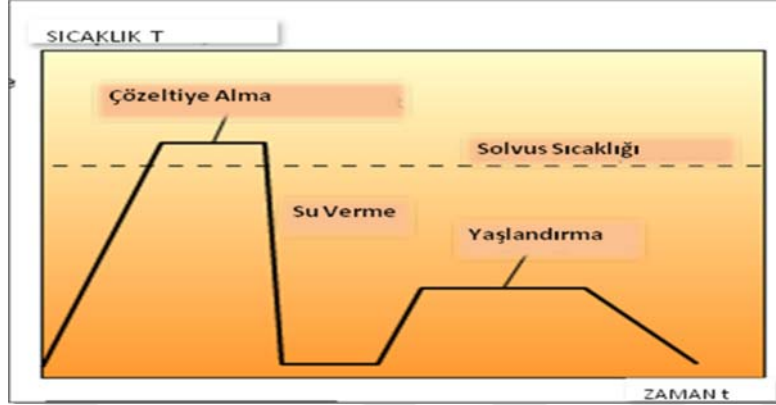
Döküm parçaları temel olarak, **T6** işleminde sırasıyla katı çözelti içerisinde çökelti fazının oluşturulması için, uzun müddet ötektik altı sıcaklık olan **545 °C' de** çözelti alma, ardından yüksek sıcaklıkta su verme ve sonrasında da **150 – 200 °C** civarlarında yapay yaşlandırmaya alınırlar.

#### 7.4. Çözeltiye Alma İşlemi

**Çözeltiye alma** : Bir elementin diğer element içinde kayda değer miktarda, yani yüzde birkaç oranında çözünebilmesidir. Çözeltiye alma işleminin amacı ; tek fazlı katı çözelti elde etmektir.

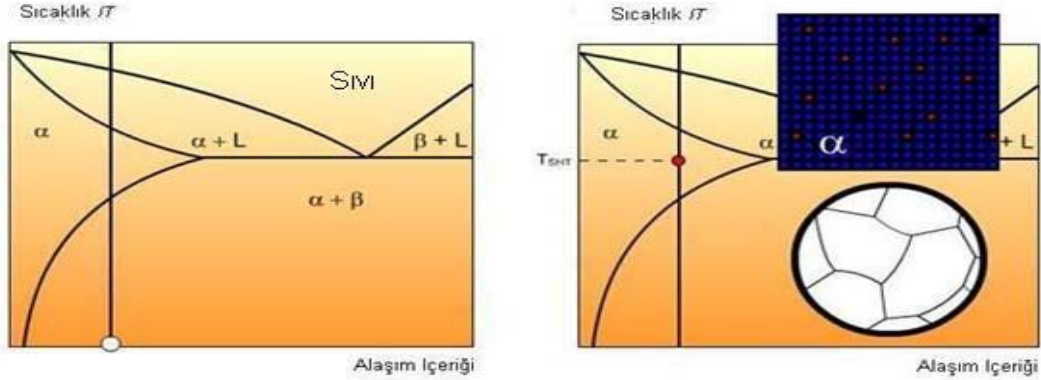
Çok sayıda işlenik ve döküm alüminyum alaşımının, çözeltiye alma ve çeşitli meneviş işlemleri ile yaşlandırma yapılarak dayançları ( dayanıklılıkları ) artırılabilir. [ 71 ]

İlk sıcaklıkta  $\beta$  ve  $\alpha$  fazı denge halinde değildir. Alaşım solvus eğrisinin üzerindeki sıcaklığı çıkarılır ve bu sıcaklıkta  $\beta$  fazı (Şekil 7.2),  $\alpha$  fazı (Şekil 7.2) içerisinde tamamen çözününceye kadar işleme tabi tutulur. [ 49 ] Yapının tümü tamamen  $\alpha$  fazına dönüştükten sonra ani olarak soğutulur. Çözeltiye alma sıcaklığı, alaşımın ergimesine sebep olmayacak şekilde seçilmelidir.



Şekil 7.1 Isıl işlem prosesi [ 69 ]

Alüminyum ergime sıcaklığı 560 °C civarında olması nedeni ile işlem sıcaklığı 525 – 545 °C arasında olmalıdır. Bu sıcaklık Şekil 7.2 'de  $T_{SHT}$  ile ifade edilmektedir.  $T_{SHT}$  sıcaklığında bütün bileşenler katı çözeltide tek bir faz halindedir.



Şekil 7.2 Çözeltiye alma işlemi [ 69 ]

Çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi >> mikroyapıya,

- >> parçanın kalınlığına ve
- >> fırın kapasitesine / yüküne göre

Değişiklik göstermektedir. Bu süre ; • ince levhalar için, dakikalar ile ifade edilirken

- kesit kalınlığı arttıkça saatler ile belirtilmektedir.

Tezimizin konusu ; 8 mm kalınlığında, 2024 T351 ve 7075 T651 alaşımlarını laboratuvar fırınında 415 °C sıcaklıkta 3 saat beklettik, 7075 alaşımını 260 °C ye kadar fırın içinde soğutup dışarı aldık , 2024 alaşımı ise fırın içinde soğuttuk.

#### 7.4.1. Çözeltiyeye Alma İşleminin Faydaları [ 71 ]

Uygun çözeltiyeye alma ve yaşlandırma işlemleri ile, ısı işlem uygulanabilir alaşımların mekanik özellikleri geliştirilebilir.

Örneğin, bazı alaşımlar için dayanımla birlikte korozyon direncini arttırmak ya da bunun tersini gerçekleştirmek mümkündür.

Alaşım ve kesitlere bağlı olarak, **çözeltiyeye alma** işlemi sırasında, çarpılmayı azaltmak için farklı soğutma yöntemlerinden faydalanılabilmektedir.

**İşlenik Alaşımlara :** 2XXX (Al-Cu), 6XXX (Al-Mg-Si), 7XXX (Al-Zn-Mg-Cr), 8XXX (Al-Li) serisi işlenik alaşımlara ve çözeltiyeye alma ve yaşlandırma işlemleri uygulanabilir.

**En yaygın işlenik alaşımlar ve mencevişleri şunlardır :** [ 71 ]

**2024-T3, 2024-T4, 2024-T6, 2024-T8, 7075-T6, 7075-T73, 7075-T74, 7075-T76, 7175-T74.**

#### 7.4.2. Çözeltiyeye Alma İşleminin Prosesi [ 71 ]

Çözeltiyeye alma işlemi genellikle **450 ila 575°C ( 842 ila 1067°F )** sıcaklıkları arasında havada uygulanır, ardından hızlı bir şekilde su verme işlemi yapılır.

**2XXX, 6XXX, 2XX ve 3XX** alaşımları için, T4 menceviş doğal yaşlanma işlemi, ortam sıcaklığında uygulanır ve çoğu zaman 96 saat sonra ancak en dengeli mencevişe ulaşılır. Yapay yaşlandırma **93°C ila 245°C ( 199 ila 473 °F )** derece sıcaklıklar arasında, **T6** ve T7X mencevişleme işlemlerini gerçekleştirebilmek için yapılır.

Çözeltiyeye alma ve yaşlandırma işlemleri öncesinde azami oranda biçimlendirme yapabilmek için, alaşımlar öncelikle **400 ila 425°C ( 752 ila 797°F)** sıcaklık aralığında ısıtılıp, ardından **235°C (455°F)** derecenin altına yavaşça soğutulur (saatte 28°C (50°F) veya daha yavaş) dengeli, yumuşak **O tipi** menceviş için hazırlanır, şekil verilir sonrasında çözeltiyeye alma ve yaşlandırma işlemleri uygulanır.[ 70 ]

Bunlar ; Bazı metal ve alaşımların sertlik ve dayanımı, uygun ısı işlemler sonrasında son derece küçük ikinci faz parçacıklarının matris faz içinde uniform şekilde dağıtılması yoluyla artırılabilir. Yapıda dağılmış haldeki küçük yeni faz parçacıkları '**çökelti**' olarak isimlendirildiği için, bu işleme de "**çökeltme sertleşmesi**" adı verilmiştir. [ 70 ]

Çökeltme sertleşmesi uygulanarak dayanımı artırılan alaşımlara ; örnek olarak **2024 Al-Cu alüminyum-bakır**, alaşımlar gösterilebilir.

## 7.5 Su Verme İşlemi

**Hızlı soğutma** : Ana element içindeki çözünen elementin çözünme sınırının, sıcaklığın düşmesi ile birlikte hızla azalmasıdır.

Yaşlandırma ısıl işlemi ile ; alaşımın » **sertlik ve mukavemet değerleri artarken** ;

» **süneklik değerlerinde azalma görülür.**

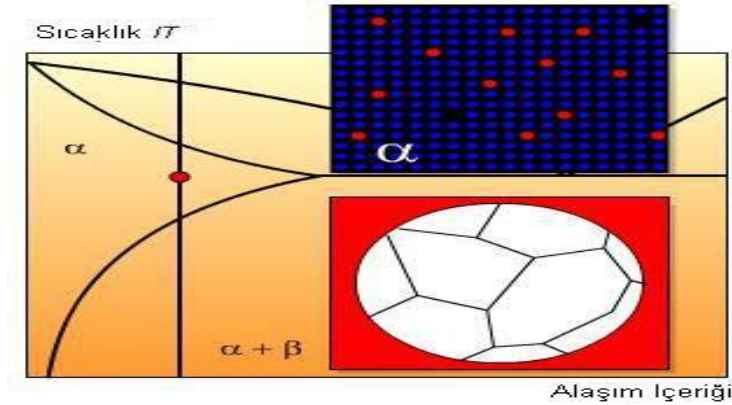
Eğer alaşım aşırı yaşlandırılırsa ; GP bölgelerinin birleşmesi ve kafes uyumsuzluğunun ortadan kalkması nedeniyle ; **mukavemet ve süneklikte** ters etki yaşanır. Aşırı yaşlanma ; insanların çok yaşlanıp bunamasına benzetilebilir. [ 4 ]

Al - %4 Cu ( **2024 T351 alaşımını** ) örnek olarak vererek bu aşamayı açıklayalım :

Çözeltiye alma ısıl işleminden sonra alaşım düşük sıcaklığa ( genel oda sıcaklığına ) kadar hızlı olarak soğutulur. ( suda soğutma yeterlidir ) Soğutma ortamı oda sıcaklığında genelde sudur. Suda hızlı soğutulan alaşımın yapısı, aşırı doymuş kararsız katı çözeltisi şeklindedir.

Aşırı doymuş kararsız  $\alpha$  katı çözelti yapısına sahip alaşım, **yumuşak ve düşük dayanım** özelliklerine sahiptir

Su verme işleminin amacı, çözeltiye almada tek faz haline alüminyum içerisindeki alaşımlandırma elementlerinden ( **2024 T351 alüminyum alaşımında Al-Cu - 7075 T651 alüminyum alaşımında Al-Zn** ) oluşan aşırı doymuş bir çözelti oluşturmak. ( **Şekil 7.3** ) ve alaşımın çözeltiye alma sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulmasıdır.

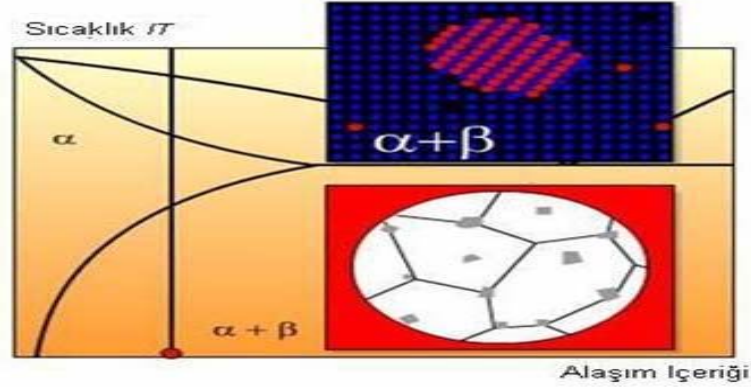


**Şekil 7.3.** Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti [ 69 ]

Eğer alaşım kendiliğinden ( yavaş soğuma ) soğumaya bırakılırsa, Beta fazı çekirdeklenerek denge halinde bir  $\alpha+\beta$  fazı oluşturmak için heterojen olarak çökeler ( **Şekil 8.4** ).

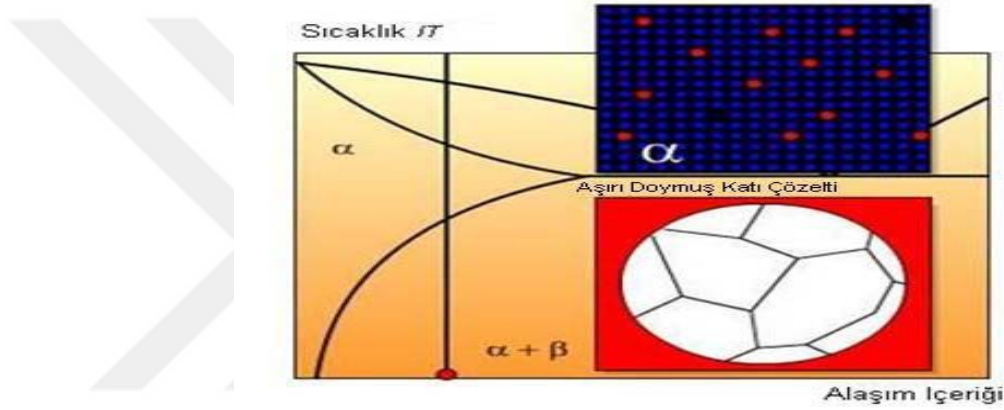
Ani soğuma ;  $\alpha$  içerisindeki Beta fazının çökmesine imkan vermez ve bu nedenle  $\alpha$  fazı artık denge halinden daha fazla katı ( aşırı doymuş ) içermektedir

Eriyebilen elemanlar katı eriyik haline geçtikten sonra yeniden çökelmelerine engel olmak için malzemeye su vermek gerekir. Su verme sırasında katı eriyik kararsız hale gelir ve çökme eğilimindedir.



**Şekil 7.4.** Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen Çekirdeklenme [ 69 ]

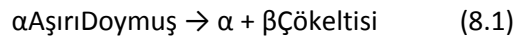
Bunun yanı sıra ( **2024 T351 ve 7075 T651 alaşımlarında** ) su verme ; difüzyon süresini düşürür ve dengede olmayan alfa faz yapısının “**donmasını**” sağlar. Çünkü alfa fazı denge durumundakinden daha fazla katı içerir. Bu katı çözelti aşırı doymuş olarak adlandırılır



**Şekil 7.5.** Aşırı doymuş katı çözelti [ 69 ]

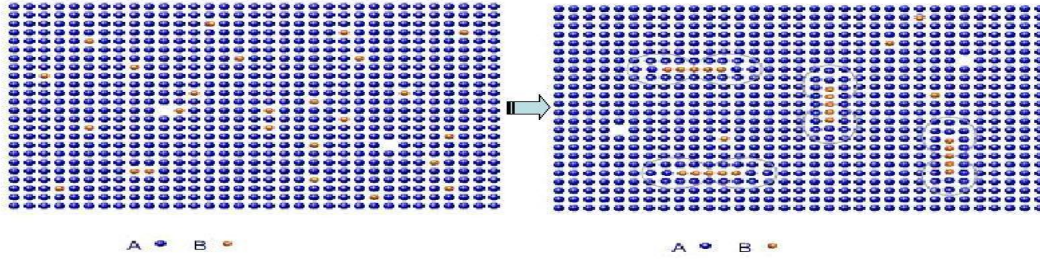
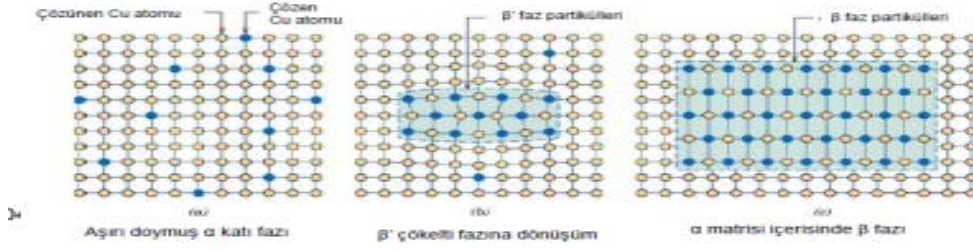
## 7.6. Yaşlandırma İşlemi

Aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünmüş halde bulunan Beta fazı, denklem 8.1’de gösterildiği gibi sıcaklık ve zamanın etkisi ile kararlı bir faz olarak çökeler.

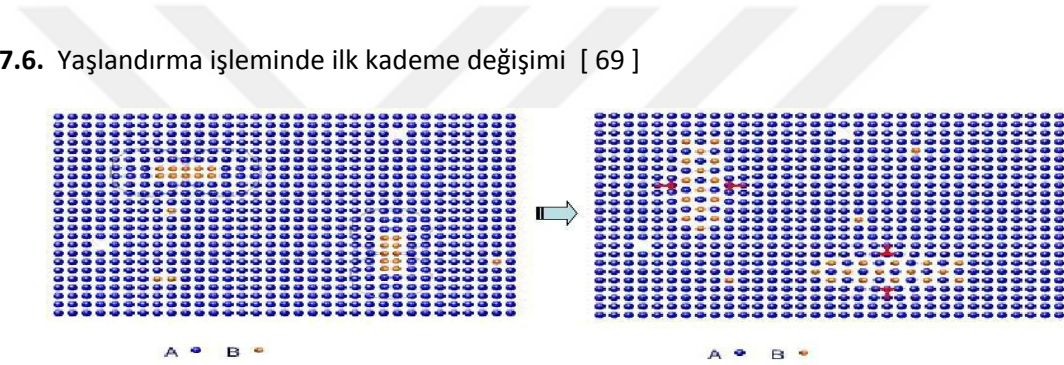


Bu dönüşüm için, önce  $\beta$  fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi gereklidir. Alaşım eğer ani soğutmadan sonra oda sıcaklığında tutulursa, **difüzyon hızı çok yavaş** olduğundan  $\beta$  fazı genellikle oluşmaz veya çok uzun sürede oluşur . [ 51 ]

Çökeltme, eğer oda sıcaklığında meydana geliyorsa yaşlandırma işlemi “**doğal**”, eğer alaşım yayınma hızını arttırmak için oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa tabi tutuluyorsa “**yapay**” yaşlandırma olarak adlandırılır. Çözelti aşaması sonucunda aşırı doymuş yapı, denge yapısına dönmeye eğilimlidir. [ 49 ]

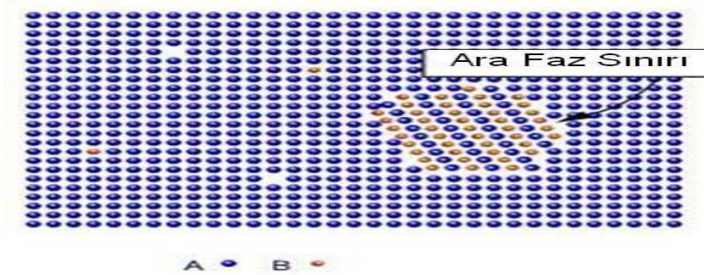


Şekil 7.6. Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişimi [ 69 ]



Şekil 7.7. İkinci kademe değişimi [ 69 ]

Yaşlandırma işleminin son kademesi denge aşamasıdır. Yeterli yaşlandırma işlemi sonucu en son aşama olarak denge fazı oluşur. Bu faz, ana matristen (A atomları) farklı bir kristal yapısına sahip olup bu faz içerisinde yapışık değildir. Böylece büyümeden kaynaklanan sıkışma elimine edilmiştir. Ancak, matris ve çökeltili arasında yeni bir ara faz sınırı vardır.



Şekil 7.8. Yaşlandırma işleminde son kademe yapı değişimi [ 69 ]

### 7.6.1. Yaşlanma Nedir

Aşırı doymuş bir katı fazdan zaman ve sıcaklığın etkisi ile yeni bir fazın meydana gelmesi olayına teknolojiye “**yaşlanma olayı**” diyoruz. Burada dikkat edilecek husus, meydana getirilen ikili fazın (üçlü ve daha fazla olabilir)

Yaşlanma ile sertleşme elde etmek için önce katı eriyiğe alma yapılır. Ardından aşırı katı eriyik elde



etmek için alaşıma su verilir. Su verme işlemi genel olarak çökeltme süratinin çok yavaş olduğu bir sıcaklıkta yapılır. Su verdikten sonra çökeltmenin çok uzun bir sürede meydana gelmesine engel olmak için alaşım ortalama bir sıcaklığa ısıtılır.

Yaşlanma olayı uygulanabildiği alaşımlarda müsbet yönde büyük **mekanik özellik** değişimleri oluşturur.

Yaşlandırma işlemi : **1.)** hazırlık devresi,

**2.)** yaşlandırma devresi ve

**3.)** aşırı yaşlandırma devresi

olmak üzere üç aşamayı içerir. [ 10 ]

Kuluçka devresi de denilen hazırlık devresinde, fazlalık atomlar bir araya gelip kümelenerek ilk embriyoyu meydana getirirler. Yaşlandırma esnasında ise çekirdeklenme mekanizması daha etkin hale gelir, yani fazlalık atomlar  $\beta$  fazının çekirdeklerini oluşturur.

Yaşlandırma esnasında oluşan ara kristal yapısı veya geçiş kafesi matrisin kafes yapısı ile bağdaşıkır. Bu dönemde çökelen faz ( $\beta$ ), matristen farklı bir kafes parametresine sahiptir. Bu fazın matris yapısına bağdaşık olması nedeniyle matrisin kafes yapısında çarpılma meydana gelir. Kafes yapısında meydana gelen çarpılmanın dislokasyon hareketini engellenmesi nedeniyle sertlik ve mukavemet hızlı bir şekilde artar. [ 10 ]

### **7.6.2. Yaşlanmaya Etki Eden Faktörler [ 70 ]**

Bu faktörleri şöyle sıralayabiliriz.

#### **A) SICAKLIK**

Sıcaklık arttıkça yaşlanma süresi kısılır. Yani sıcaklık yaşlanma oranını artırır.

#### **B) GREN HUDUTLARI**

İyi grenli alaşımlar aynı sıcaklıkta daha iyi çökebilen ve bu çökeltme gren hudutlarında olur.

#### **C) KOMPOZİSYON**

Sabit sıcaklıkta hem yaşlanma hem de maksimum sertlik, eriyen elementin artışı ile artar. Bunun derecesi de eriyebilirlik üst sınırına kadardır.

#### **D) SOĞUK İŞLEM**

Soğuk işlem varlığı yaşlanma oranını artırır.

#### **E) ZAMAN**

**Yaşlanma** ile **zaman** doğru orantılıdır.

Alüminyum alaşımı bünyesindeki alaşım elemanlarının katı çözültüye almak için malzemenin 520 °C veya üzerinde belirli bir süre tutulup ani olarak soğutulmasıdır. Bazı alüminyum alaşımlarında ( örneğin **2XXX / 7XXX / 2024 / 7075 / Al-Cu / Al-Zn** ) ekstrüzyon gibi sıcak bir

prosesten sonra malzemenin hava yada su ile ani soğutulması , solüsyona alma ısıl işlem sonucunu verir.

## 7.7. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ISIL İŞLEM KODLARI ( KISA KODLAR ) [ 51 ]

Alüminyum alaşımlar üzerinde farklı ısıl işlemler uygulanabilir.

Alüminyum alaşımlarda ısıl işlem çeşitleri şunlardır :

**O** : Tavllanmış    **F** : Üretildiği gibi    **H** : Sertleştirilmiş    **T** : Isıl işleme tabi tutulmuş

**F** : Mekanik veya ısıl işlem görmemiş. ( döküm, dövülmüş, vb. )

**O** : **Tavllanmış ve yeniden kristalleşmiş**

**H1x** : Soğuk işlem uygulanmış.

**H2x** : Soğuk işlenmiş ve kısmen tavllanmış ( x, farklı sertlikleri ifade etmektedir. ) .

**H3x** : Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı .

**H4x** : Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanması için düşük sıcaklıkta ısıl işlemle stabilize edilmiş ( x, stabilizasyon sonrası sertleşme işlemi ifade eder . )

**W** : Çözeltiliye alınmış.

**T** : Yaşlandırma işlemini göstermektedir.

**T1** : Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

**T2** : Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

**T3** : **Çözeltiliye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.**

**2024 T351 olduğu gibi**

**T4** : Çözeltiliye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

**T5** : Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış.

**T6** : **Çözeltiliye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış. 7075 T651 olduğu gibi**

**T7** : Çözeltiliye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.

**T8** : Çözeltiliye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

**T9** : Çözeltiliye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.

**T10** : Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış

Uygulanan ısıl işlem Tx ( T1, T2 vb.) sembolleri ile alaşım numarasının yanına yazılarak malzemeyi tanımlamada kullanılır.

**ilgili standard: TS EN 515**

Alüminyum ve alüminyum alaşımları - Biçimlenebilir mamüllerin temper kısa gösterilişleri

**7.8. Önceden Tayin Edilen Bir Sıcaklığa Kadar Isıtma :** Bu işlemin amacı alüminyum içindeki esirliği düşük sıcaklıklarda az buna karşılık yüksek sıcaklıklarda fazla olan alaşımın elemanlarının elverişliliğini, alaşımı yüksek sıcaklıklara çıkarmak suretiyle arttırmaktadır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır.

Bu işlemin yapıldığı sıcaklık hassasiyetle seçilmelidir. Çünkü eriyebilen elemanlar alüminyum içinde katı eriyik halinde kalmalıdır. Çok düşük sıcaklıklarda az mukavemet elde edilemeyeceği gibi çok yüksek sıcaklıklarda eriyebilen elemanların ergime tehlikesi mevcuttur. Ayrıca ergime olacak çok yüksek sıcaklıklarda kullanılması halinde renk değişimi meydana gelir ve su verme sırasında **gerilmeler artar.**

**b.) Isıtma hızı çok önemlidir.** Genellikle orta hızlı bir ısıtma tavsiye edilir. Şayet **yavaş ısıtma** tatbik edilirse, eriyebilen elemanların difüzyonu fazla olur . Aynı zamanda büyük danelerin teşekkülüne meyil gösterir. Şayet malzeme **soğuk şekil değiştirmeye** tabi tutulmuş ise tane büyümesine engel olmak için ısıtma hızı yeter derecede yüksek olmalıdır. Isıtma hızı çok önemlidir, bunu belirtmiştik. Bunun yanında bekletme süresi de büyük önem taşımaktadır.

**Bekletme süresi :** \*\* malzemenin çıkarıldığı sıcaklığa,  
\*\* tavlama şekline, ve  
\*\* buna benzer faktörlere bağlı olarak değişir.

Uzun bir süre **bekletme** tane büyümesine **difüzyonun** artmasına ve **renksizleşmeye** neden olur. Sıcaklıkta bekletme süresinin ölçülmesine, malzemenin en soğuk kısmının istenilen minimum sıcaklık değerine varıldığında başlanır. Tablolar bu esasa göre tesbit edilir düzenlenmiştir.

Bekletme süresi alaşımın cinsine bağlı olarak ;

>> ince parçalarda 10 dakikadan başlar ve

>> kalın parçalarda 12 saate kadar çıkar. Kalın parçalar için itibari olarak kesitteki kalınlığın her **1,5 cm'si** için **1 saat** bekleme süresi kabul edilir. Biz tezimizde araştırma konusu olarak kullandığımız 8 mm kalınlığında , **2024** ve **7075** alüminyum alaşımlarını 415 °C sıcaklıkta **3 saat** beklettik.

Bekletme süresi bütün eriyebilen elemanların katı eriyik haline geçebilmelerini sağlayacak kadar uzun seçilir. Kısaltılmış bir bekleme süresinin etkileri çok kötü olduğu gibi fazla bekletmede de oksidasyon tehlikesi artar.

## **7.9. ISITMANIN MEYDANA GETİRDİĞİ DEĞİŞİKLİKLER [ 70 ]**

Bu değişiklikleri aşağıdaki gibi maddeler halinde incelemek daha uygun olur.

### **7.9.1. Üniform Dağılımı**

Yapı aşırı doymuş hale gelmiştir. Ayrıca bu sıcaklıkta bekletme yapılarak homojen bir dağılım sağlanmıştır.

### **7.9.2. Toparlanma**

Isıl işleme tabi tutma esnasında meydana gelir. Bu sayede iç gerilmelerden bir kısmı ortadan kalkar.

Bu sırada soğuk işlem sırasında kaybolan şekil alma özelliği yeniden kazanılmış olur. Bu işleme **gerilim giderme tavı** da denir.

### 7.9.3. Yeniden Kristalleşme

Soğuk işlenmiş malzeme, yeter derecede yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında, soğuk şekil değiştirme sonucu meydana gelmiş olan parçalanmış partiküller malzemenin tabii tutulduğu şekil değiştirme derecesi yeterli ise, yeniden gerilimsiz tanecikler oluştururlar. Bu olaya **yeniden kristalleşme** denir.

Soğuk şekil değiştirme esnasında meydana gelen yüksek enerjili noktalar, yeni danelerin meydana gelmesinde çekirdek rolü oynar. Soğuk şekil değiştirme derecesi yeterli değil ise yeniden kristalleşme olmaz. Kullanılan sıcaklık derecesine yeniden kristalleşmeyi meydana getirecek kadar tam soğuk şekil değiştirme varsa elde edilen malzeme gayet iri daneli olur.

### 7.9.4. Dane Büyümesi

Yeniden kristalleşmeden sonra yeni daneler az enerjili duruma gelmek üzere büyümeye adaydırlar. Bu büyümeye etki eden nedenleri maddeler halinde şöyle sıralayabiliriz.

#### a) Başlangıçtaki dane büyüklüğü:

Ancak küçük soğuk şekil değiştirme derecelerinde kendini gösterir. Belirli bir soğuk şekil değiştirme derecesinde elde edilen sertleşme derecesi, iri daneli malzemeler için daha az olmak üzere, malzemenin dane büyüklüğüne tabiidir. Plastik şekil değiştirme derecesinin az olduğu hallerde başlangıçtaki malzemenin dane büyüklüğünün, son dane büyüklüğüne, kayda değer derecede tesiri vardır.

#### b) Soğuk şekil değiştirme derecesi:

Limitli fakat kritik derecede bir soğuk şekil değiştirmeye maruz malzeme, yeniden kristalleştirmeden sonra anormal derecede büyük danelere sahip olurlar.

#### c) Isıtma Hızı:

Küçük bir ısıtma hızı, normalden büyük toplama periyodunun sebep olacağından, yeniden kristalleşme ile elde edilen daneler biraz iri olur

#### d) Son sıcaklık derecesi:

Yeniden kristalleştirmeden sonra daneler büyümeye meğillidirler. Bu büyüme danelerin en alçak dereceli enerji seviyesine sahip olmak istemeleri yüzündendir. Teorik olarak son sıcaklığın yükselmesi danelerin büyümesini yardım eder.

#### e) Yüksek sıcaklıkta bekletme süresi:

Yüksek sıcaklıkta bekletme süresi arttıkça danelerin büyüme oranı da artar.

## 7.10. SU VERME [ 70 ]

Eriyebilen elemanların katı eriyik haline geçmelerinden sonra yeniden çökelmelerine engel olmak veya geciktirmek amacıyla malzemeye su vermek gerekir. üç farklı su verme metodu mevcuttur. Bu üç metot, istenen özelliklere ve gösterdikleri kolaylıklara göre kullanılır.

### 7.10.1. Soğuk Suda Su Verme

Hafif dövmeli elde olunan alaşımlara soğuk su banyolarında su verilir. Su verme önceki su sıcaklık max. 300 °C olmalıdır. Sıcaklık değişimi 10 °C geçmemesi için yeterli hacimde su bulundurulmamalıdır. Böyle bir su verme şekli çok etkilidir.

### 7.10.2. Sıcak Suda Su Verme

Büyük ve kalın kesitli dökme parçalara 75-90 C'de hatta kaynar suda, yani 100 C'da su verilir. Bu tip su verme, distarsiyonu minimum kılar ve eşit olmayan sıcaklık dağılışından doğan çatlama tehlikesi önlenmiş olur. Su vermede kullanılan suyun sıcaklığı malzemenin korozyon mukavemetine büyük ölçüde etki etmeye dövme alaşımlarda, bu tip su verme usulü kullanılır. Şunu da belirtelim ki, kalın kesitli parçaların korozyon mukavemeti ince kesitli parçalarda olduğu kadar kritik değildir.

### 7.10.3. Püskürterek Su Verme

Yüksek hızla su püskürtülerek su verme usulü, levhalar ve geniş yüzeyli parçalara tatbik edilir. Bu tip su verme distarsiyonu minimum kılar ve su vermeden dolayı olan çatlama önler. 2017 ve 2024 için korozyon mukavemetini azalttığından kullanılmaz.

## 7.11. Solüsyona Alma ve Su Verme Sırasında Karşılaşılan Zorluklar [ 70 ]

Bekletme süresi ile su verme arasında önemli bir ilişki vardır. malzemenin fırından çıkarılıp su verilmesine kadar geçen süre gayet önemlidir. Bu süre mümkün olduğu kadar minimum seviyeye indirilmelidir. 2017, 2024, 7178, 7075 alaşımları levha halinde iken bu süre **10 sn.** geçmemelidir. Fakat kesit büyüdükçe bu süre uzatılabilir.

Malzemeyi su vermeden önce soğutmaya terk etme katı eriyiklerin çökmesine sebep olabilir. Bu çökme dane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde oluştuğundan, şekil değiştirme kabiliyetleri azalır. Ayrıca bazı alaşımlarda da daneler arası korozyon mukavemetine etki eder. ( 2024, 2017 )

Isıl işleme tabi tutulabilen alaşımlar herhangi bir kötü etki görülmezsizin birçok defa solüsyona alma ısıl işleme tabii tutulabilir. Yalnız levhalarda bu durum sınırlıdır.

### A) Düşük çekme ve akma mukavemeti : Sebepleri

- a) Kısa sürede bekletme veya düşük sıcaklıkta tavlama
- b) Fırında su banyosuna geç nakletme
- c) Yavaş su verme
- d) Aşırı ısıtma
- e) Yüksek sıcaklıkta oksitlenme

### B) Daneler Arası Korozyon:

Bu korozyon tuzlu atmosferde uzun süre bekletmekten ileri gelir. Bu, daneler arası korozyon, çekme mukavemetini ve yüzde uzamayı düşürür.

### C) Aşırı Tavlama

ötektik ergimesi, dane sınırı ergimesine sebep olur. Mukavemeti azaltır.

#### D) Fazla Deformasyon ve Kayma ; Sebepleri:

- a) Fırında ısıtılmanın homojen olmaması halinde, parça yüzeyinin çeşitli noktalarının farklı sıcaklıklarda bulunması
- b) Isıtma periyodu esnasında parçanın iyi yerleştirilmemiş olması
- c) Çok tesirli bir su verme kullanılması

- E) % Uzamanın Düşük Olması ; Sebepleri
- a) Aşırı tavlama
  - b) Yüksek sıcaklıkta oksitlenme
  - c) Su vermeden sonra fazla sertleşme
  - d) Hatalı işleme

### 7.12. SOLÜSYONA ALMA [ 70 ]

Alaşım tek fazlı bölgeye kadar ısıtılır. Aşırı doymuş hale getirilir ve homogenizasyon sağlamak için bir süre bu sıcaklıkta tutulur.

**Al - %4 Cu** alaşımını örnek olarak vererek bu aşamayı açıklayalım. Alaşım tek fazlı (  $\alpha$  ) bir yapı elde etmek için solvüs eğrisinin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve alaşımdaki bütün fazların tek faz (  $\alpha$  ) içerisindeki çözünmeleri sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta bekletilir.

Pratikte mümkün olan en yüksek sıcaklıkta en hızlı difüzyon elde etmek için kullanılır.

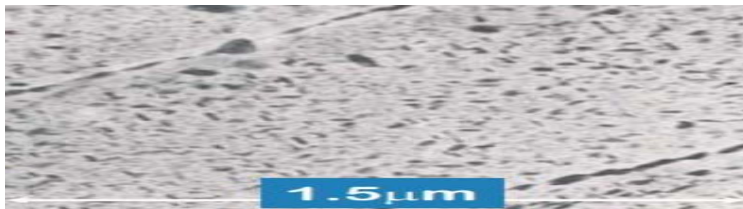
>> Örneğin **Al - %4Cu** alaşımından **548 °C** ötektik sıcaklığına sahiptir ve çözüldürme ısıl işlemi normal olarak **490 - 540 °C** arasında gerçekleşir.

### 7.13. Çökelme [ 70 ]

Aşırı doymuş alaşım birden soğutulduğunda eriyebilirlik sınırlarının hemen altında, atomların kolaylıkla yayınladığı gren hudutlarında çökmeler yaşanma yayınmanın daha zor olduğu gren için çökelme alçak sıcaklıklarda devam eder.

#### 7.13.1. ÇÖKELME SERTLEŞMESİNİN ÖNEMİ VE UYGULAMA ALANLARI

Çökelme reaksiyonuna ticari ilgi nedeni : mukavemet artışı mekanizmasından dolayıdır. Havacılık sektöründe ; mukavemet / ağırlık oranı yüksek alaşımlar istenir. Alaşımlanan Al çökelme sertleşmesi ile mukavemet' lendirilir. [ 10 - 73 ]

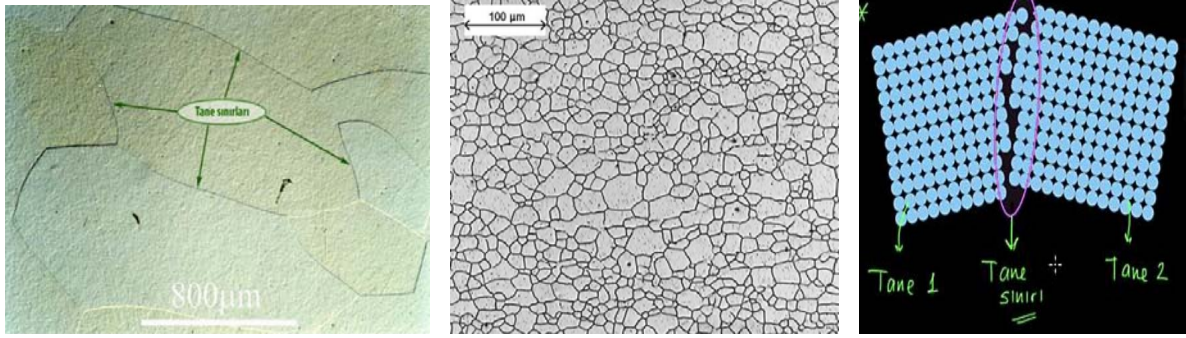


[ 73 ]

### 7.14. Tane Boyutunu Küçültme

Kristal yapıya sahip malzeme tek bir kusursuz kristalden meydana gelmiyor. Bu tanelerin her biri resimde görüldüğü gibi farklı yönelime sahip olduklarından bu tanelerin kusursuz bir şekilde bir

araya gelmeleri mümkün olmuyor. Taneler arasında uyumsuzlıktan meydana gelen düzensiz bölge gözlemleniyor. Bu bölgeye **tane sınırı** adını veriyoruz.



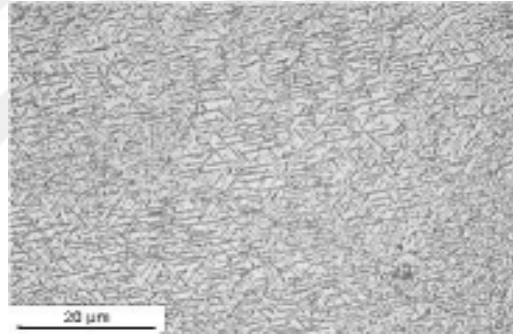
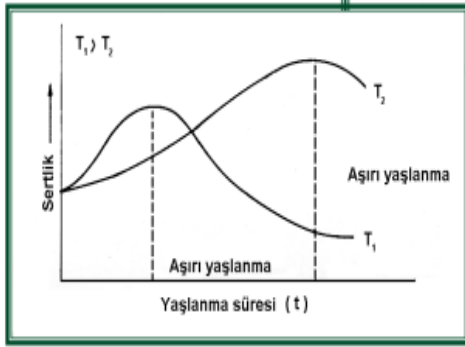
**Resim 7.1** Taneler ve Tane Sınırı

**Tane Boyutu ve akma arasındaki ilişki:**

$$\sigma_a = \sigma_i + kD^{-1/2}$$

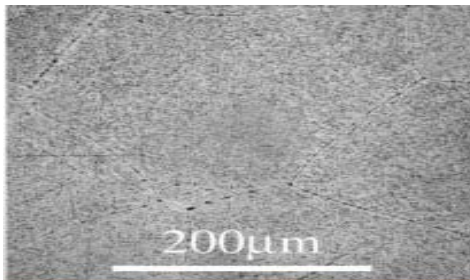
- $\sigma_a$  Akma Mukavemeti
- $\sigma_i$  Sürtünme Gerilmesi
- $k$  Sabit
- $D$  Tane Boyutu

[ 72 ]



**Şekil 7.9.** Yaşlanma süresi - sertlik diyagramı [ 64]

**Resim 7.2.** Hızlı soğutma sonucu oluşan aşırı doymuş α fazı



**Resim 7.3.** Yaşlandırma işlemi sonucu oluşan aşırı doymuş α fazı içerisinde meydana gelen β faz çöktelleri.

## 7.15. 2000 VE 7000 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEME BAĞLI DEĞİŞEN AKMA DAYANIMI DEĞERLERİ

Akma dayanımı : malzemenin, kalıcı şekil değişikliğine uğramadan dayanabileceği en büyük gerilme değeri.

Bu değeri aştıktan sonra malzeme plastik şekil değişimine uğrar. Akma dayanımı aşılmadan önce yani elastik bölgede malzemeye etki eden yüklemeyi ortadan kaldırırsak malzeme bir süre sonra eski haline döner. Akma dayanımı aşılmış ise plastik bölgeye geçilmişse malzemenin maruz kaldığı kuvvet ortadan kaldırılrsa bile eski haline dönemez. Şekil değişimleri kalıcıdır yani plastik şekil değiştirme söz konusudur.

Alaşım Serisi	Tipik Kompozisyon	Akma Dayanımı (MPa)	
		Yavaş soğutma	Hızlı soğutma+ ısıtma işlemi
2000	Al+%4Cu+Mg,Si,Mn	130	465
6000	Al+%0.5Mg+%0.5Si	85	210
7000	Al+%6Zn+Mg,Cu,Mn	300	570

**Tablo 7.1.** 2XXX Ve 7XXX Serisi Alüminyum Alaşımının Isıl İşleme Bağlı Değişen Akma Dayanımı Değerleri

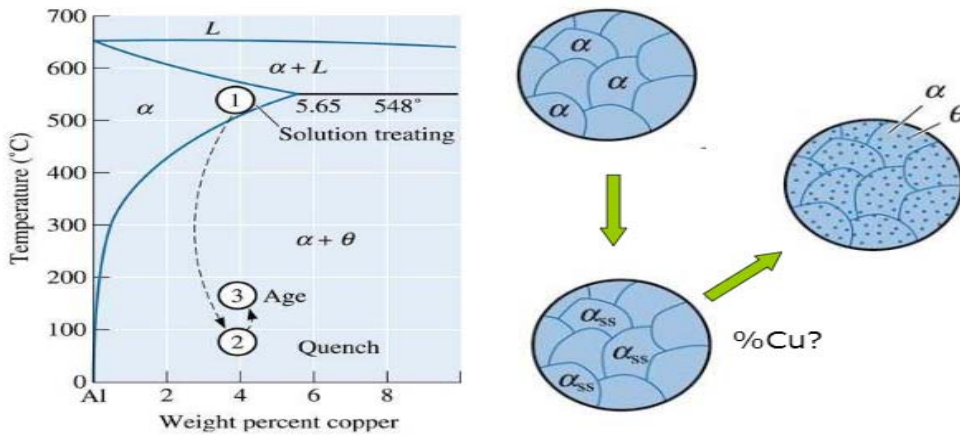
## 7.16. 2024 - T351 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

### Al - Cu Faz Diyagramı

T351 - T3 : \*\*\* ÇÖZELTİYE ALMA İŞLEMİ YAPILMIŞ

\*\*\* SOĞUK ŞEKİLLENDİRME

\*\*\* TABİİ - DOĞAL YAŞLANDIRMAYA BIRAKILMIŞ



**Şekil 7.10** Al-Cu Çökeltme Sertleşmesi Gösteren Alüminyum Alaşımını [ 73 ]



### 7.16.1. Al - Cu Alaşımı

Al - Cu faz diyagramı incelendiğinde , eriyikten ayrılan ve en azından ötektik yapı bileşeni niteliğinde olan Al<sub>2</sub>Cu ara fazı , malzemenin gevrekleşmesine yol açtığı için döküm tekniği bakımından ötektik bileşime yakın olması gereken Al-Cu alaşımlarının pratikte kullanılmasını engeller.

Öte yandan katılaşma aralığının genişliği nedeniyle yapısal aşırı soğuma dikkatine alınarak teknik Al - Cu alaşımlarının bileşimindeki **bakır** miktarı **%4.5** ile sınırlandırılmıştır.

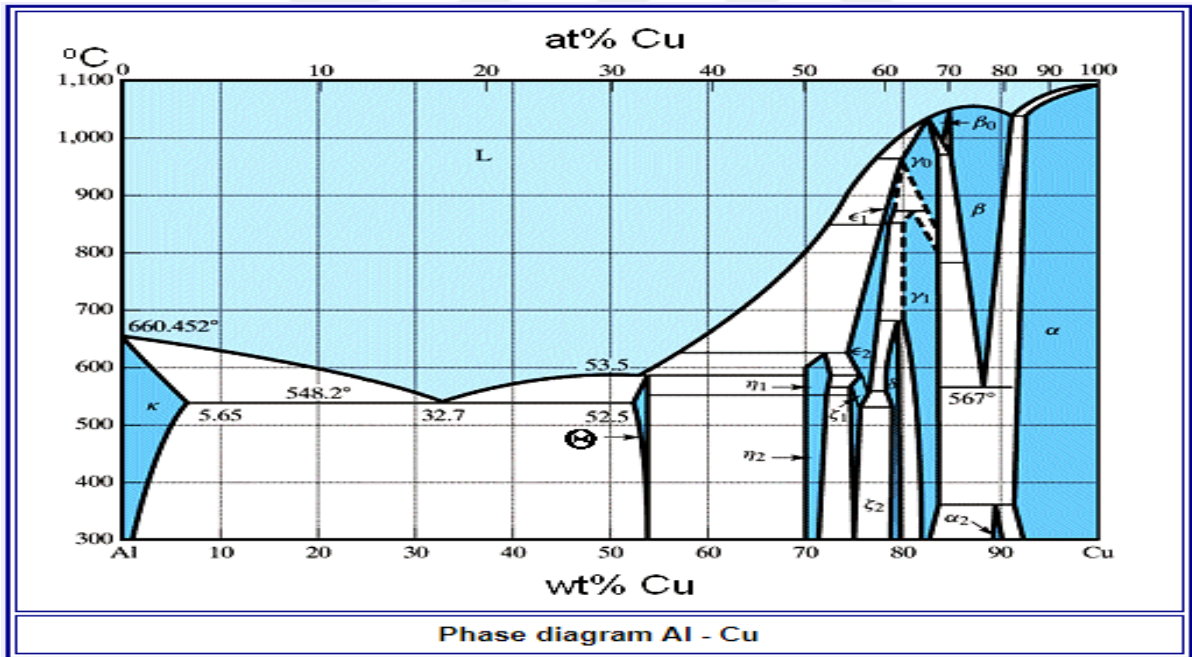
Al - Cu faz diyagramı incelendiğinde ötektik sıcaklığının altında bakırın alüminyum kafesindeki çözünürlüğü azaldığından, çökeltme sertleşmesi için gerekli ön koşullardan biri yerine gelmiş olur.

>> Malzemeyi **gevrekleştirmeden** , **dayanım artışı** sağlayan çökeltme sertleşmesi ilk kez Al - Cu alaşımlarında bulunmuştur.

\*\*\* 2024 - T351 ..... Al - Cu - Alüminyum Alaşımı

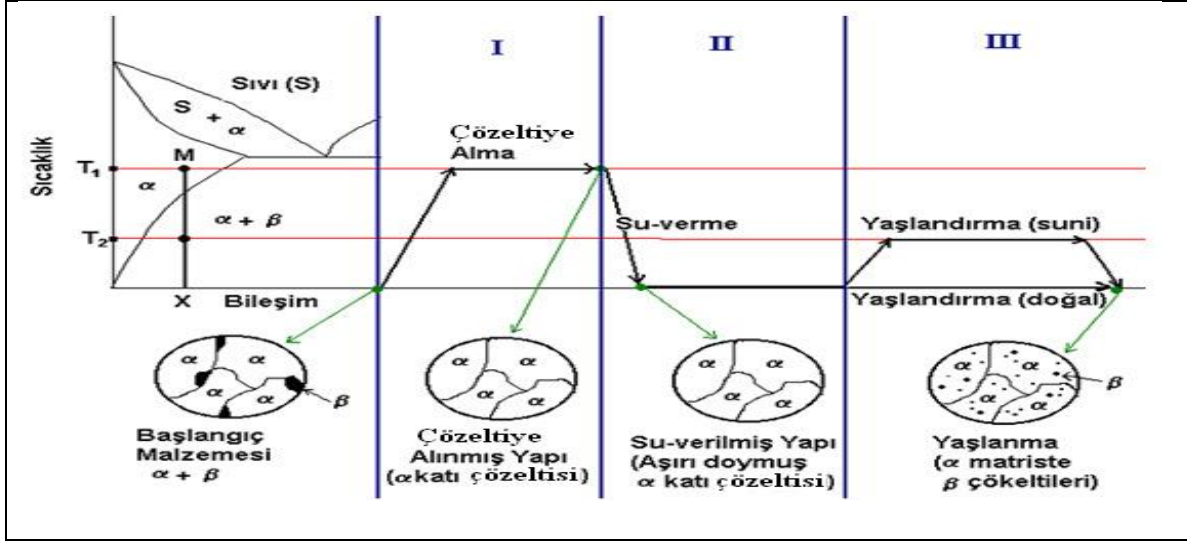
\*\*\* 7075 - T651 ..... Al - Zn - Alüminyum Alaşımı

Çökeltme sertleşmesi gösterirler.



Şekil 7.11 Al - Cu Faz diyagramı

Al - Cu sisteminde ; Çökeltme Sertleşmesi - Çökeltme Dayanımı ( Yaşlanma ) elde etmek için uygulanan basamaklar



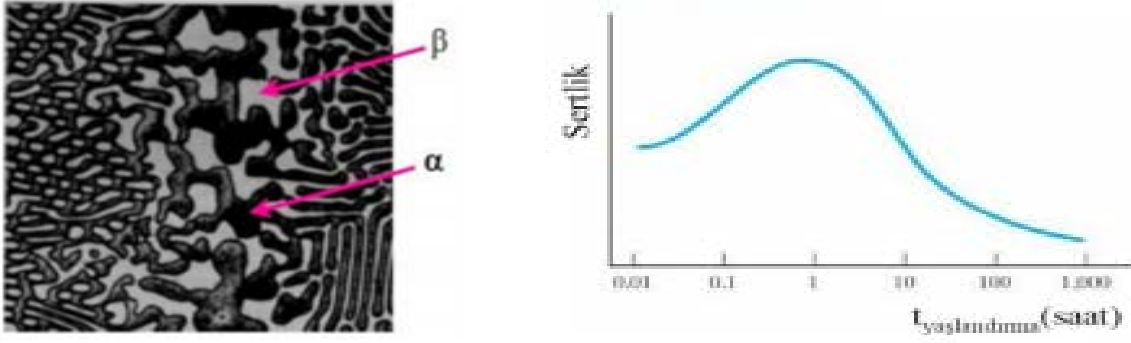
Şekil 7.12. Al – Cu sisteminde çökeltme dayanımı diyagramı [ 64 ]

Alüminyum Alaşımında Suni Çökeltme Sertleşmesi sırasında meydana gelen mikroyapısal değişimler , çökeltme sertleşmesi , yaşlanma deneyi [ 64 ]

Çözeltilerin türü, dağılımı , miktarı, ortalama çapı, ve sayısı ile malzemenin dayanım değeri değişir. Malzemenin dayanımı aşağıdaki formülle verilebilir.

#### 7.16.2. 2024 T351 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEM

	Sıcaklık ° C	Zaman ( saat )	Soğutma hızı
Tam Tavlama	413	2 - 3	260 ° C ' a kadar fırında soğutma
Soğuk işlemin giderilmesi	343	yok	Kritik değil
Solüsyona alma	488 - 499	Tuz banyosunda 10 dakika - 1 saat	Soğuk suda soğutma
Çökeltme ( T4 )	oda sıcaklığı	48	Kritik değil
Çökeltme ( T81 )	188 - 193	11 - 13	kritik değil

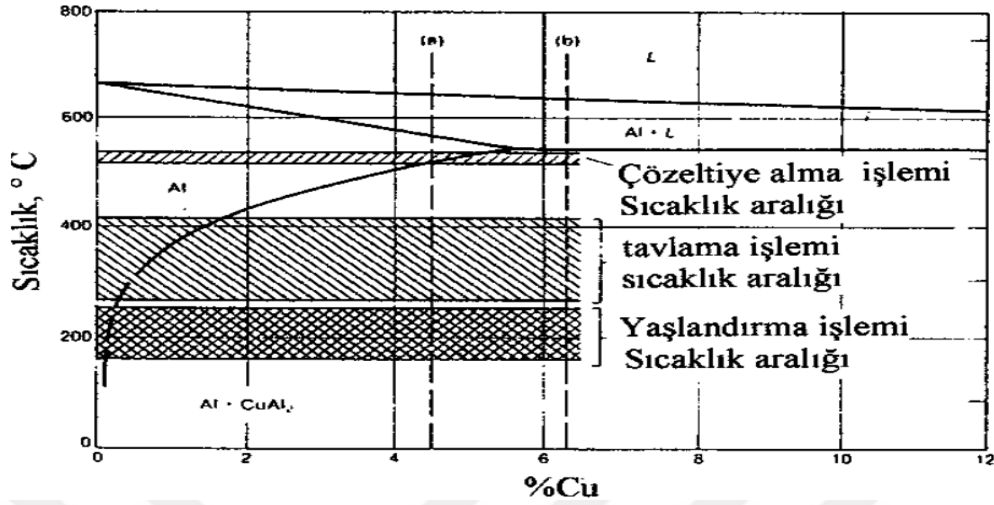


**Şekil 7.13.** Sertlik ile Yaşlanma Zamanı Grafiği [ 74 ]

- > **2XXX** serisi alüminyum esaslı yaşlanabilir bir alaşım türüdür.
- > Alüminyum alaşımlarında çözeltilme sıcaklığı tipik olarak **465 – 565 °C** dir.
- > Alüminyum Alaşımı **2024 T6** serisi **510 °C , 520 °C , 530 °C** sıcaklıklarda solüsyona alma işlemi uygulanıp, devamında **190 °C** 'de **4 ve 6 saat , suni yaşlandırma** yapılır.
- > Çökeltme sertleşmesi uygulamalarından sonra çözündürme bölgesinde, çözündürme sıcaklığının artması ile birlikte, yaşlandırma sonunda sertliğin ve mukavemetin arttığı gözlenmiştir.
- > Önemli olan Alüminyum Alaşımımız **2024 T351** için en uygun ısıl işlem parametrelerin saptanmasıdır.
- > **2024 T351 Alüminyum Alaşımlarında Çözeltilme Alma ve Yaşlandırma Sertleşmesi uygulaması sonrası** , Mekanik özelliklerdeki gelişme için genel koşul ; aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucu yapıda çok ince çökelti fazının dağılımıdır.
- > Alüminyum alaşımlarına, yapay yaşlandırma ile **daha yüksek mukavemet kazandırılabilir.**
- > Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarından **2024 (2XXX)** ve **7075 (7XXX)** serisi alaşımların ısıl işlemi teknolojik açıdan önem taşır.
- > Dislokasyonların hareketini engelleyen her mekanizma, alaşımın sertliğini, akma dayanımını ve çekme dayanımını yükseltir. Yaşlanma ile sertleştirilen bir alaşımın yüksek mukavemeti, çökeltme ikinci faz taneciklerinin dislokasyonlar ile etkileşimlerinde dolayı meydana gelmektedir. Sonuç olarak, uyumlu bir ikinci faz çökeltmesi, mukavemet artış sağlayan mekanizmayı oluşturmaktadır.
- > Çökeltme II. Fazın türü, dağılımı, miktarı, ortalama çapı, ve sayısı mukavemet değerini etkiler. Çökeltme II. Faz tanecikleri yapı içinde ne kadar küçük, sık ve homojen olarak dağılmışlar ise, mukavemet o kadar yüksek olmaktadır.
- > Genellikle, çözeltilme alma süresi her **25 mm** kalınlık için bir saat süre yeterli olmaktadır.

Çökeltme işleminde sonra , taneler içerisinde yer alan II . faz tanecikleri genellikle matriksten daha sert oldukları için deformasyon esnasında dislokasyon hareketlerini kilitlemekte ve çökeltmelerin

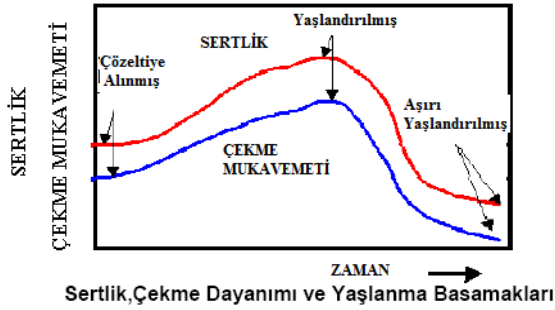
etrafında dislokasyon halkaları oluşmakta, böylece dislokasyon yoğunluğu artmaktadır. Dolayısı ile malzemede **mukavemet ve sertliğin artmasının nedeni budur.**



**Şekil 7.14.** Al – Cu denge diyagramında, çözeltilme alma , tavlama ve çökeltme işleminin yapıldığı sıcaklık aralıkları belirtilmiştir .

### 7.17. Yeniden Kristalleşme ve Kinetiği

Yeniden kristalleşme , deformasyona uğramış tanelerin tamamının , yeni çekirdeklenen ve büyüyen tanelere dönüşmesini sağlayan bir tavlama prosesidir.



**Şekil 7.15.** Sertlik, Çekme dayanımı ve Yaşlandırma basamakları grafiği

**Resim 7.4.** Al - %Cu sisteminde sürekli tane sınırlarında çökelen  $\theta$  fazı

Direkt döküm yapısı, yüksek mukavemetli olmaz, oluşan intermetalik tane sınırlarına birikir (segregasyon)

### 7.18. T - T - T DİYAGRAMI

T : Time - Zaman

T : Temperature - Sıcaklık

T : Transformation - Dönüşüm

İzotermal dönüşüm şartlarında ; sabit sıcaklıkta zamana bağlı olarak ostenit 'in dönüşümünü gösteren diyagramlardır.

Time Temperature Transformations ( TTT )

Soğutma hızı, soğutma ortamı , mikroyapı ve mekanik özellikler hakkında bilgi verir.

TTT diyagramı ısıtma işlemde temel anahtardır.

Hemen hemen her metalin TTT diyagramı mevcut.

### Normalizasyon / Tavlama

\*\* Normalizasyon - 5 - 10 °C / dak

\*\* Tavlama - 1 °C / dak

\*\* Normalizasyon uygulanmasının sebepleri ( dökümler , metallere , alüminyum vs. )

Tane boyutunu tavsiye

Mukavemeti artırma

Tokluğu artırma

Tg sıcaklığını düşürme ( örnek : basınç kapları , gemi plakaları , boru hatları )

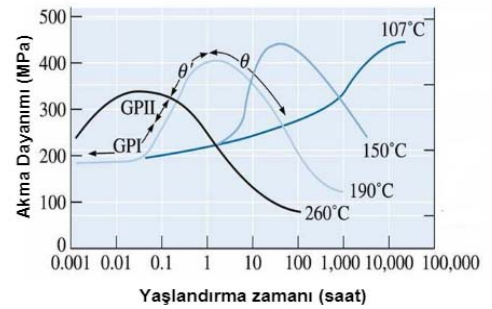
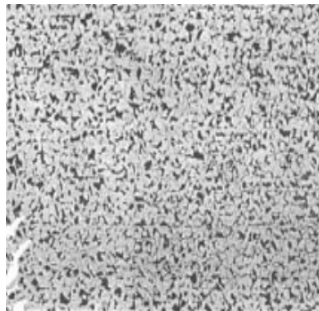
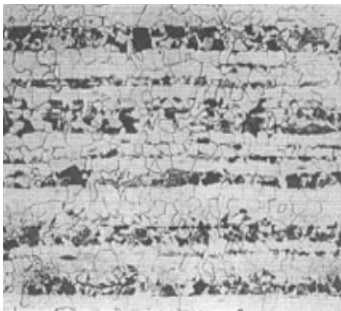
### Mekanik özelliklere etkisi

Normalize yapılar daha mukavimdir, çünkü ,

\*\* daha ince perlit

\*\* perlit daha küçük

\*\*  $\alpha$  tane boyutu daha ince



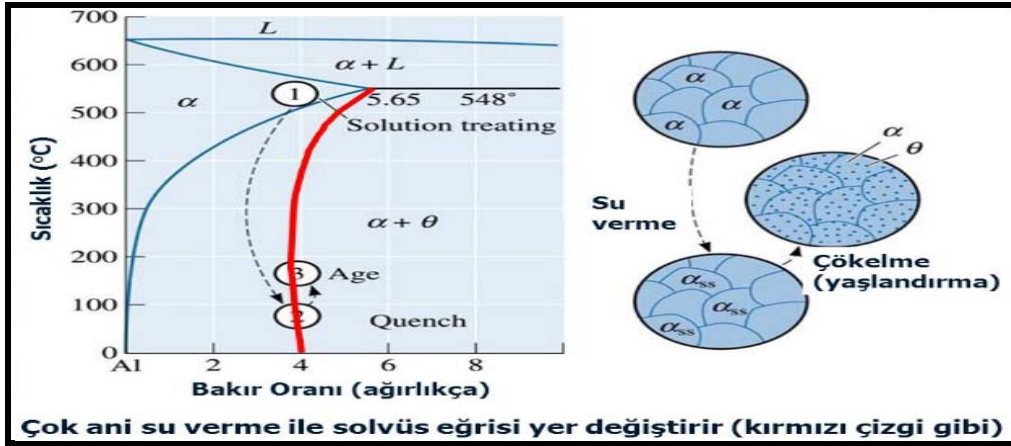
**Şekil 7.16.** Isıl işlem (yaşlandırma) sıcaklığı ve zamanının Al- %4 Cu alaşımının akma dayanımına etkisi

**Şekil 7.17.** Akma Dayanımı - Yaşlandırma zamanı etkisi

Maksimum mukavemet için yaşlandırma sıcaklığı önemli.

Her bir malzemede optimum yaşlandırma sıcaklığı mevcut.

Aşağıda Al – Cu alaşımlarında akma mukavemetine yaşlandırma sıcaklığı etkisi gösterilmiştir.



Şekil 7.18. Al-Cu Faz Diyagramında Çok Ani Su Vermenin Malzeme Yapısına Etkisi

- » Çökelmeyle sertleşebilir alaşımlarından olan Al- Cu- Mg alaşımları ( % 2,8 - 4,8 Cu ve % 0,4 - 1,8 Mg ), yüksek dayanımları nedeniyle taşıt ve uçak yapımında kullanılırlar.
- » Korozyon dayanımları, bir çok alüminyum alaşımında daha düşüktür.
- » Deniz suyuna karşı dayanıklılığı garanti edilemez.
- » Homojenleştirme sıcaklığından çok hızlı soğutulur ( en az 400 °C/s hızda ) ve ardından yaşlandırma yapılırsa korozyon dayanımı artırılabilir.
- » Yavaş soğutma ve yaşlandırma yapıldığında meydana gelen çökelmeler, interkristalin korozyona ve gerilim çatlakları korozyonuna sebep olurlar.

## 7.19. 7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

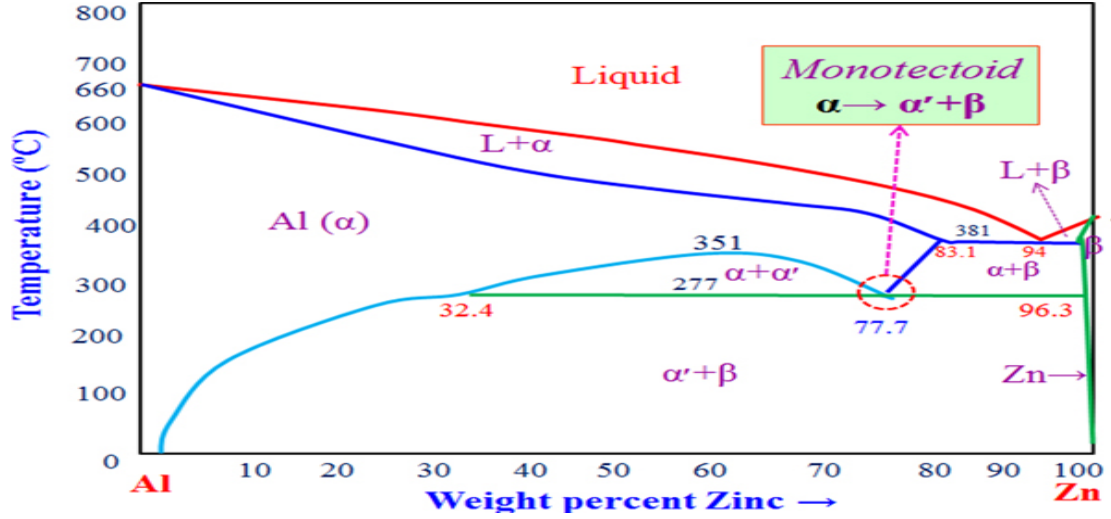
### Al - Zn Faz Diyagramı

T651 - T6 : \*\*\* ÇÖZELTİYE ALMA İŞLEMİ YAPILMIŞ

\*\*\* SUNİ YAŞLANDIRMA YAPILMIŞ [ 17 ]

> Alüminyum alaşımlarından 7XXX serisi, diğer malzemelere göre düşük yoğunluk, yüksek dayanım ( iyi korozyon direnci ), işlenebilme, elektrik iletimi, süneklik, tokluk ve yorulmaya karşı direncinden dolayı uygulamalarda, uzay ve havacılık sanayinden yaygın olarak kullanılan malzemedir .

> Uçak ve otomotiv endüstrisinde yüksek dayanıma sahip hafif metallerin kullanılması gerekmektedir .



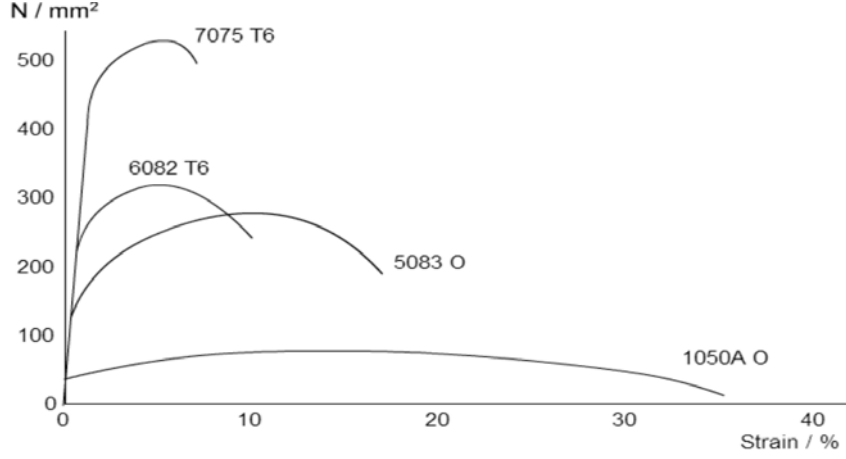
Şekil 7.19. Al – Zn Faz Diyagramı[65]

- > Al – Zn - Mg alaşımları, orta dayanımlı ve çökelmeyle sertleştirilebilir konstrüksiyon malzemeleridir.
- > Al – Cu - Mg alaşımlarına nazaran daha iyi korozyon dayanımı gösterirler,
- > Fakat korozyon dayanımı Al – Mg ve Al – Mg - Si alaşımlarına nazaran daha azdır.
- > Atmosferik koşullarda, alaşımı koruyan siyah kaplama tabakası oluşur.
- > Buna karşılık, su buharı AlZn-Mg alaşımlarında şiddetli korozyona neden olur.
- > Ayrıca, gerilim çatlakları korozyonuna da eğilimi vardır.
- > Korozyona duyarlılık, yükselen Mg ve Zn miktarıyla artar.
- > Genel olarak, gerilim çatlakları korozyonunu önlemek için, toplam alaşım miktarının % 5- 6 'yı aşmaması gerekir. Daha yüksek alaşım miktarlarında, % 0,1 - 0,15 krom ilavesi, gerilim çatlakları korozyonunu azaltır.
- > Alüminyum sertlik, çekme ve akma mukavemetlerini arttırmak amacıyla Cu, Zn, Mg gibi elementlerle yaptığı alaşımlar diğer özelliklerinden ziyade mukavemetinin ön plana çıktığı taşıyıcı profiller ve konstrüksiyonlarda kullanılır.

**7XXX** serisi alüminyum alaşımları % 4 -8 Zn ve % 1 – 3 Mg i bulunan 7XXX serisi alüminyum alaşımları, mevcut alüminyum alaşımlarının içerisinde yüksek sertlik ve dayanım açısından önemli bir yere sahip olduğundan uçak, uzay ve otomotiv sektörü için ideal malzemelerdir. [57-44]

Bu elementlerden çinko ve magnezyum alüminyum içerisinde yüksek oranda katı çözünlüğe sahip olduğundan çökelti sertleşmesi özelliklerinin geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu durum çökelti mukavemetinin artırılması sağlamaktadır. Bu alaşımlara ilave edilen bakır ise dayanım değerlerinin bir miktar daha arttırılmasını sağlamaktadır. [57-44]

Kompozisyon içerisine ağırlıklı olarak % 1 - 2 Cu ilavesi ile uçak endüstrisinde kullanılabilecek özelliklere sahip alüminyum alaşımları üretilmektedir.



**Şekil 7.20.** 7075 T6 Alüminyum Alaşımının gerilme diyagramı

Stress – strain diagrams for various series alloys

**7075** alüminyum alaşımlarının içinde ağırlıklı olarak % 5 – 6 Zn , % 2 – 3 Mg yaklaşık olarak % 1,5 Cu ve çok az miktarda Cr, Mn, Ti, Zr, ve Ag içerebilmektedir. Az miktarlarda bulunan bu alaşımlar kristalleşme davranışını ve çökeltilerin ayarlanması için kullanılmaktadır. [57-46]

7075 alüminyum alaşımlarının en yüksek sertlik değerleri T6 ısıtma işlemi şartlarında elde edilmektedir. Bu işlem 1950 ve 1960 yılları arasında birçok uçak modellerinin bazı yapısal parçalarında uygulanmıştır ve halenden kullanımı sürmektedir.

Korozyon hasarları nedeniyle uçakların bazı parçaların imalatında T6 ısıtma işlemi gören 7075 alüminyum alaşımlarının kullanılmaktan vazgeçilmektedir. Yüksek korozyon direnci gerektiren uygulamalar için 7075 alüminyum alaşımlarında T73 aşırı yaşlandırma ısıtma işlemi kullanılmaktadır.

Ançak T6 ısıtma işlemi karşılaştırıldığında dayanım değerlerinde % 10 – 15 oranında bir düşme olmaktadır . [32-33]

Bu ısıtma işlemlere alternatif olarak T6 şartlarındaki alüminyum alaşımlarına yeniden çözeltiye alma ve yeniden sertleştirme ( RRA ) işlemi uygulanmaktadır.

1974 yılında İsrail’de bir uçak şirketinde çalışan Cina [35] tarafından icat edilen proses otuz yılı aşkın süredir yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu işlem ile alüminyum alaşımlarında korozyon direnci T73 şartlarına yaklaşırken dayanım değerleri ise T6 şartları civarında yada bu seviyeden çok az düşük bir değerde olmaktadır . [35-29]

İki aşama içeren bu proses öncelikle solüsyona alma işleminden sonra ilk aşamasında 115 – 125 °C gibi düşük sıcaklıklarda ön yaşlandırma , 200 – 260 °C gibi daha yüksek sıcaklıklarda kısa sürelerde yeniden çözeltiye alınmaktadır. Proses sonraki aşamasında ise 115 – 125 °C gibi düşük sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılır . [35-41]

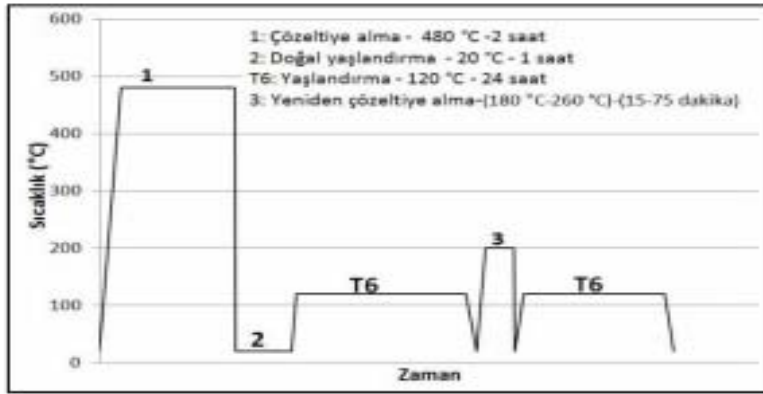
Ticari olarak kullanılan uçakların %65 ‘ in ana yapısında alüminyum alaşımlarının kullanılması nedeniyle , RRA ısıtma işlemi önemi artmakta ve özellikle **7000 serisi** alüminyum alaşımları RRA işlemi için geliştirilmiştir. [35-40]



Alüminyum alaşımlarının özelliklerinin artırılması için yapılan ısı işlemler malzemenin mikroyapısı ve mekanik özellikleri etkilenmektedir. [34-36-37-38]

Çekme dayanımı ve kopma uzaması gibi özellikler bu alaşımlarından üretilen parçaların tasarımında önemli faktörlerdendir.

**7075** alüminyum alaşımı çözeltiye alma ve sonrası **T6** ısı işlemini takiben **180 – 260 °C** sıcaklıkları arasında **15 ile 75 dakika** sürelerde yeniden çözeltiye alınmış daha sonra **120 °C** ' de **24 saat** sürede yeniden yaşlandırılmıştır. Yeniden çözeltiye alma sıcaklıkları ve sürelerinin alaşımının alaşımının çekme özellikleri iyi yönde etkilemektedir. [37-41]



**Şekil 7.21.** Çalışmada kullanılan RRA ısı işlem çevrim grafiği [ 59 ]

(Diagram of RRA heat treatment cycle used in the study microscopy)

Uçakların imalatında hem çok dayanıklı hemde hafif olan yüksek performanslı malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Bu malzemeler çalışma şartlarında karşılaşılan farklı yükler sonucu yorulma , ortam şartlarının etkisi ile korozyon, güç sistemlerindeki ani sıcaklık değişimleri ile termal şoka maruz kalmaktadır . [45-44]

Yorulma çatlaklarının oluşması ve ilerlemesi uçak tasarımında en önemli hususlardan biridir. **Örneğin** birden fazla yorulma çatlaklarının oluşması ve ilerlemesi ile meydana gelen çoklu kırılmalar sonucu 29 nisan 1988 ' de Aloha Airlines 'in Boeing 737 uçağının uçuşu esnasında gövdenin üst bölümünün büyük bir kısmı uçaktan ayrılmıştır. [45-46]

**7075** alüminyum alaşımları Al – Zn – Mg – Cu ihtiva etmesi sebebiyle farklı ısı işlemlere maruz bırakılarak mekanik özellikleri iyileştirilerek ticari olarak kullanıma sunulmuştur. Mukavemeti arttırılan bu alüminyum alaşımı serisi endüstriyel kullanımda herhangi bir termal etkiye maruz kaldığında mekanik özelliklerindeki bu kayıp, bu malzemeye deformasyon yaşlanması uygulanarak giderilebilir [ 59 ]

Bu çalışmada T6 ısı işlem uygulanmış halde ticari olarak temin edilen alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine, mikro yapı arasındaki ilişkisi irdelenmiştir.

Metaller sahip oldukları mikroyapı ve mekanik özellikleri, uygulanan farklı ısı işlemlerin uygulanması ile arttırılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının sertlik ve dayanımları yaşlandırma işlemi ile arttırılabilmektedir . [32]

**7XXX** serisi alüminyum alaşımları katı çözeltiye alma işlemini ardından su verme ve yaşlandırma sonrası oluşan çökme sonucu dayanımları arttırılmaktadır. [57]

7XXX serisi alüminyum alaşımlarında T6 ısı işlemi ile yüksek sertlik ve dayanım sağlanmaktadır. 7075 alüminyum alaşımında **T6** ısı işlemi **121 °C** ' de **24 saat** yaşlandırılması ile gerçekleştirilmektedir. [35-24]

Bu işlem sonucunda korozyona karşı duyarlı bir durum ortaya çıktığından, bu tür alaşımların korozyon dirençlerinin arttırılması için **T73 ısı işlemi geliştirilmiştir.**

Bu ısı işlemi ile alaşımların korozyon direncinde büyük miktarda artış sağlanırken, alaşımın dayanımında ise % 10 - 15 oranında bir azalma olmaktadır. [46-35-34]

Alüminyum alaşımlarının dayanım ve korozyon özelliklerinin optimum değerlere ulaşmasının sağlanması amacıyla ilk olarak 1974 yılında Cina tarafından, yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma (RRA) ısı işlemi önerilmiştir.

Ticari olarak kullanılan uçakların % 65 ' inde ana yapıda alüminyum alaşımlarının kullanılması nedeniyle , RRA ısı işlemi önemli olup, özellikle 7150 ve 7075 türü alüminyum alaşımları RRA işlemi için geliştirilmiştir. [35-59-34]

RRA işlemi yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma olmak üzere iki kademelidir.

Öncelikli olarak 480 °C civarında yüksek sıcaklıklarda çözeltiye alındıktan sonra T6 ısı işlemi uygulanmaktadır.

T6 ısı işlemi ile alaşımlar RRA birinci aşamasında nispeten daha yüksek sıcaklıklarda ( 200 – 280 °C ) kısa süreli çözeltiye alınmaktadır. Bu işlemin hemen sonrasında t6 işlemi uygulanmakta ve RRA ısı işlemi tamamlanmaktadır. [35-59-34]

RRA işlemin bütün aşamalarında kullanılan parametreler malzemenin mikro yapı ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Aşınma, malzemelerin önemli mekanik özelliklerinden biridir ve makine elemanlarının beraber çalışması sonucu oluşan yüzey hatasıdır. Çeşitli endüstriyel sektörlerde karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Oluşturulan sistemlerin verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Endüstrinin birçok alanında uygulama alanı bulan alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları ile ilgili birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. [60-61]

Aşınma esnasında uygulanan yük, hız ve çevre şartları aşınma direncine önemli etkileri olmaktadır. [60-62]

Daha önceki aşamalarda daha ince kesitli parçalara RRA işlemi uygulanmış tır ve özellikleri incelenmiştir. [63]

### **7.19.1. 7075 T651 Alüminyum Alaşımlarında Çözeltiye Alma ve Yaşlandırma Sertleşmesi**

**T6** ısı işlemi uygulanmış ticari olarak temin edilen 7075 serisi alüminyum alaşımı levha malzemedir.

### **7.19.2. 7075 – T651 PROSES DEĞERLERİ [ 59 ]**

**Tercih 1** : T6 yaşlandırma prosesi ( RRA işlemini çıkartırsak )

7075 alüminyum alaşımı : 480 °C civarında 2 saat süre ile çözeltiye alınır

Suda soğutulduktan sonra 1 saat oda sıcaklığında doğal olarak yaşlandırılmaktadır

Alaşım daha sonra 120 °C de 24 saat T6 ilk yaşlandırma işlemine tabi tutulur.

**Tercih 2** : yukarıda anlattığım T6 yaşlandırma prosesi ilave olarak + RRA ısıtma işlem prosesi eklenirse ;

Bu işlemden sonra alaşım ( 180 – 260 °C ) sıcaklıklar arasında 15 ile 75 dakika sürelerde yeniden çözeltiye alınmış



# 8. BÖLÜM

## TIG KAYNAK TELLERİ



- 8.1. ALÜMİNYUM ALAŞIM SERİSİ : 7075**  
**KULLANILAN KAYNAK TELİ : ER5356**  
**KULLANILAN KAYNAK TELİ KİMYASAL FORMÜLÜ : AlMg5**

### 8.2. 7075 T651 - ER5356 - AlMg5 , Özellikler

**ER5356** Kaynak teli, en geniş kullanım alanına sahip kaynak telidir.

**ER5356** genellikle yüksek kesme mukavemeti sebebiyle tercih edilmektedir.

**ER5356** kaynak teli - 7075 T651 - Alüminyum alaşımlarını en yakın kaynak edilebilir, kaynak teli özelliği taşır.

**ER5356** Kaynak metali kimyasalının % 3 Mg den olması ve 65 °C ye kadar olan sıcaklıklarda korozyon gerilim çatlağının istenmediği durumlarda kullanılabilir.

**ER5356** Kaynak teli Isıl işleme uygun değildir. [3-1-5]

### 8.3. GENEL TANIMI

% 3 ' den yüksek Mg içeren alüminyum - magnezyum alaşımlarının kullanıldığı alaşımlardır.

Savunma sanayi , Uzay sanayi , Havacılık sanayi , Otomotiv endüstrisi, gemi inşaa sanayi , kamyon kasalarının panelleri ve bisiklet gövdelerinin kaynağı başlıca uygulama alanlarıdır.

### 8.4. KLASİFİKASYONU

AWS A5.10 : ER5356

DIN 1732 : SG - AlMg5

ISO 18273 : S Al 5356 ( AlMg5Cr )

**Tablo 8.1. KİMYASAL BİLEŞİMİ - KİMYASAL ANALİZİ % - TİPİK [ 1 ]**

Alaşım	Tel ( % )	
	Min	Max
Si	0,10	0,25
Mn	0,05	0,2
Cu		0,1
Cr	0,05	0,2
Ti	0,06	0,2
Zn		0,1
Fe		0,4
Be		0,0003
Mg	4,5	5,5
Diğer her biri		0,05
Diğerleri toplamı		0,15

Alaşım Tipi	AlMg5
Koruyucu Gaz	I1, I3 ( EN ISO 14175 )

**Tablo 8.2. ER5356 Kaynak Telinin Sınıflandırılması [ 5 ]**

Sınıflandırma	Tel	Onaylar
JIS Z 3232	R5356	ABS 0.8 -3.2 mm çap aralığında
EN ISO 18273	S Al 5356 ( AlMg5Cr(A) )	CWB AWS AS.10
JIS Z 3232	A5356	CE EN 13479
		DB 61.039.02
		JIS JIS Z 3232
		VdTÜV 4665

### 8.5. MEKANİK ÖZELLİKLERİ ( KAYNAK SONRASI ) – TİPİK

Akma Dayanımı : 285 N / mm<sup>2</sup>

Çekme Dayanımı : 130 N / mm<sup>2</sup>

Uzama ( L = 5 d ) : 25 %

**Onay Belgesi** : TÜV

**8.6. Koruyucu Gazlar ( EN 439 ) : TIG : I1 - Ar ( % 100 )**

I3 - Ar + % 0.5 - 95 He

### 8.7. Fiziksel Özellikleri

Ergime Aralığı : 562 - 633 ° C

Yoğunluk : 2.64 gr / cm<sup>3</sup>

TIG KAYNAK TELLERİ - 5356 – AlMg5 – 7075 Alüminyum Alaşım Serisi

### 8.8. Kaynak Metali Mekanik Özellikleri [ 3 ]

Kaynak Metali

Kaynak Sonrası

Özellikler	Tipik
Rp0.2 ( MPa )	110
Rm(MPa)	235
A4-A5(%)	17

### Açıklama :

Pasolar arası geçiş sıcaklığı : 150 ° C

### 8.9. AMBALAJ VE ÇAP BİLGİLERİ [ 3 ]

Çap 0.8 1.0 1.2 1.6 2.0 2.4 3.2 4.0 Kutu Ağırlığı

TIG Kaynak Teli - - - X X X - - 5 KG

### 8.10. Diğer Bilgiler

İyi bir kaynak kalitesi için malzemenin temiz olması gerekmektedir. Kaynaktan önce malzeme yüzeyindeki oksit tabakası, kir, yağ, nem vb. temizlenmelidir. Tel fırça kullanılacak ise paslanmaz tel fırça olmalıdır.

Ön ısıtma : 20 mm kalınlığına kadar gerekli değildir ancak gözenek riskini azaltmak için 10 mm kalınlıktan sonra ön ısıtma yapmak faydalıdır. Ön ısıtma sıcaklığı genellikle 150 - 200 ° C aralığındadır.

Bu bilgiler laboratuvar şartlarında elde edilmiş ve bir kılavuz olması için hazırlanmıştır. Uygulama sırasında, kaynak makinası ve ortam koşulları sonuçları etkileyebilir.



- 8.11. ALÜMİNYUM ALAŞIM SERİSİ : 2024**  
**KULLANILAN KAYNAK TELİ : ER4043**  
**KULLANILAN KAYNAK TELİ KİMYASAL FORMÜLÜ : AISi5**

**8.12. 2024 T351 - ER4043 - AISi5, TİG KAYNAK TELİ ÖZELLİKLERİ**

ER4043 Kaynak teli, genel amaçlı olarak sınıflandırılmış ve en çok kullanılan kaynak telidir.

AlSi alaşımları ve AlMgSi tipleri için kullanılır.

Anodik kaplama yapılacak ise önerilmez. Isıl işleme uygun değildir.

**8.13. GENEL TANIMI**

İçeriğinde % 5 ile % 7 ' e kadar Si içeren Alüminyum Alaşımlarının kaynağında kullanılır.

Kaynak dikişi 65 ° C ' i bulan yüksek çalışma sıcaklığına sahip ortamlarda yüksek dayanım gösterir.

**8.14. KLASİFİKASYONU**

AWS A5.10 : ER4043

DIN 1732 : SG – AISi5

ISO 18273 : S Al 4043 A ( AISi5 )

Alaşım Tipi	AISi5
Koruyucu Gaz	I1 , I3 ( EN ISO 14175 )

**Tablo 8.3.** ER4043 Kaynak Telinin Sınıflandırılması [ 5 ]

Sınıflandırma	Tel	Onaylar
SFA / AWS A5.10	ER4043	CE EN 13479
EN ISO 18273	S Al 4043 ( AISi5 )	CWB AWS A5.10
JIS Z 3232	A4043	DB 61.039.05
		JIS JIS Z 3232

**Tablo 8.4. KİMYASAL BİLEŞİMİ - KİMYASAL ANALİZİ % - TİPİK**

Alaşım	Tel ( % )	
	Min	Max
Si	4,5	6
Mn	0,05	0,05
Cu		0,3
Al	KALAN	KALAN
Ti	0,15	0,2
Zn	0,1	0,1
Fe	0,40	0,8
Be		0,0003
Mg		0,05
Diğer her biri		0,05
Diğerleri toplamı		0,15

**8.15. MEKANİK ÖZELLİKLERİ ( KAYNAK SONRASI ) - TİPİK [ 7 ]**

Akma Dayanımı : 160 N / mm<sup>2</sup>

Çekme Dayanımı : 100 N / mm<sup>2</sup>

Uzama : 15 %

Çentik Darbe Dayanımı : 20 J ( + 20 ° C )

20 J ( - 60 ° C )

**ONAY BELGELERİ** : TÜV

**8.16. KORUYUCU GAZLAR ( EN 439 )** : TIG : I1 - Ar ( % 100 )

I3 - Ar + % 0.5 - 95 He

**8.17. FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

Ergime Aralığı : 573 - 625 ° C

Yoğunluk : 2.68 gr / cm<sup>3</sup>

TIG KAYNAK TELLERİ - ER4043 – AISi5 - 2024 Alüminyum Alaşım Serisi

**8.18. Kaynak Metali Mekanik Özellikleri**

Kaynak Metali, Kaynak Sonrası

Özellikler	Tipik
Rp0.2 ( MPa )	55
Rm(MPa)	124
A4-A5(%)	18



### 8.19. AMBALAJ VE ÇAP BİLGİLERİ [ 3 ]

Çap	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	5.0	Kutu Ağırlığı
TIG Kaynak Teli	-	-	-	-	X	X	-	X	X	5 KG

### 8.20. Diğer Bilgiler

İyi bir kaynak kalitesi için malzemenin temiz olması gerekmektedir. Kaynaktan önce malzeme yüzeyindeki oksit tabakası, kir, yağ, nem vb. temizlenmelidir. Tel fırça kullanılacak ise paslanmaz tel fırça olmalıdır.

Ön ısıtma : 20 mm kalınlığına kadar gerekli değildir ancak gözenek riskini azaltmak için 10 mm kalınlıktan sonra ön ısıtma yapmak faydalıdır. Ön ısıtma sıcaklığı genellikle 150 - 200 °C aralığındadır.

Anodik kaplama sonrası ana malzeme ve kaynak bölgesi ile renk uyumu isteniyor ise bu kaynak teli önerilmez.

Bu bilgiler laboratuvar şartlarında elde edilmiş ve bir kılavuz olması için hazırlanmıştır. Uygulama sırasında, kaynak makinası ve ortam koşulları sonuçları etkileyebilir.

### 8.21. ( 2024 T351 – ER4043 - AISi5 ) ve ( 7075 T651 – ER5356 - AlMg5 ) KAYNAK TELLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Alüminyum Alaşımı	Kaynak Tel	Elektrot	0.2 % Akma Mukavemeti ( N / mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı ( N / mm <sup>2</sup> )	Uzama ( % )
7075	ER5356	AlMg5	>285	>130	>25
2024	ER4043	AISi5	>160	>100	>15

**Tablo 8.5.** ( 2024 T351 - ER4043 - AISi5 ) ve ( 7075 T651 – ER5356 - AlMg5 ) Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri

# 9. BÖLÜM

## LABORATUAR VE DENEY CALIŞMALARI

### 9.1. MALZEME VE METOT

Deneş malzemeleri olarak ; Alüminyum Alaşımaları , 7075 T651 ve 2024 T351 serisi, kullanılmıştır.

Deneşlerde Kaynak teli olarak ;

\*\* 2024 T351 Alüminyum Alaşımı : ER4043 – AISi5, kaynak elektrotu kullanılmıştır.

\*\* 7075 T651 Alüminyum Alaşımı : ER5356 - AlMg5, kaynak elektrotu kullanılmıştır.

\*\* 2024 T351 Alüminyum Alaşımı : Alüminyum alaşımının kendi metali kaynak elektrotu olarak kullanılmıştır.

\*\* 7075 T651 Alüminyum Alaşımı : Alüminyum alaşımının kendi metali kaynak elektrotu olarak kullanılmıştır.

#### 9.1.1. Elektrot Seçimleri Nasıl yapılmıştır ?

**7075 T651** - Alüminyum alaşımı : As kaynak, elektrot uç secimi tablosundan **ER5356 – AlMg5** elektrot uç ile eşleştirilmiştir.

**2024 T351** - Alüminyum alaşımı : As kaynak, elektrot uç secimi tablosundan ER4145 – AISi3 elektrot uç ile eşleştirilmiştir. Eşleştirilen elektrot kaynak teli, piyasada yaygın olarak kullanılmadığından, genel olarak 2024 T351 alüminyum alaşımalarının kaynağında kullanılan **ER4043 – AISi5** kaynak elektrot teli As Kaynak tarafından temin edildi.

#### 9.1.2. Kaynak Yapılırken Uyguladığımız Hususlar ;

\*\* **2024 T351** Alüminyum Alaşım metali ; **ER4043 - AISi5** elektrot teli ile kaynak edilmiştir.

\*\* **2024 T351** Alüminyum Alaşım metali ; kendisi ( ana metal malzemesi ), tel erezyon yöntemi ile **2,4 mm** kalınlığında kesilerek, kaynak teli formuna getirilip, şekillendirilmiştir. Ana metalden kesilerek şekillendirilen kaynak teli , elektrot uç, kendisi ( ana metal malzemesi ) birleştirilmesi kaynağında kullanılmıştır.

\*\* **7075 T651** Alüminyum Alaşım metali ; ER5356 - AlMg5 elektrot uç ile kaynak edilmiştir.

\*\* **7075 T 651** Alüminyum Alaşım metali ; kendisi ( ana metal malzemesi ), tel erezyon yöntemi ile **2,4 mm** kalınlığında kesilerek, kaynak teli , elektrot uç olarak üretilip, şekillendirilmiştir. Ana metalden kesilerek şekillendirilen elektrot uç, kendisi ( ana metalin malzemesi ) birleştirilmesi kaynağında kullanılmıştır.

2024 T351 ve 7075 T651 Alüminyum alaşımlarının mukavemet özelliklerinin yaşlandırma ile yükseltilebildiği, bilinmektedir.

2024 Alüminyum alaşımı : **T351** ısıt işlem yapılmış olarak piyasada ticari olarak bulunmaktadır.

7075 Alüminyum alaşımı : **T651** ısıt işlem yapılmış olarak piyasada ticari olarak bulunmaktadır.

### 9.1.3. T351 ve T651 Isıl İşlemleri Arasındaki Fark ;

**T351** : Çözelti ısıt işlemi yapılmış, kontrollü bir miktarı germe ile gerilim gidermeye tabi tutulmuş

\*\* sürekli set levhalar için %0,5 – 3 ,

\*\* Pleytler için %1,5 – 3,

\*\* Haddelenmiş veya soğuk işlenmiş çubuk için , % 1 – 3 ,

\*\* elde veya halka dövme ve haddelenmiş halka için % 1 – 5 ,

ve tabii olarak yaşlanmış mamullere germe sonrası daha fazla düzeltme yapılmaz.

**T651** : Çözelti ısıt işlemi yapılmış, kontrollü bir miktarı germe ile gerilim gidermeye tabi tutulmuş

\*\* sürekli set levhalar için %0,5 – 3 ,

\*\* Pleytler için %1,5 – 3,

\*\* Haddelenmiş veya soğuk işlenmiş çubuk için , % 1 – 3 ,

\*\* elde veya halka dövme haddelenmiş halka için % 1 – 5

ve suni olarak yaşlanmış. Mamullere germe sonrası daha fazla düzeltme yapılmaz.

**Özet ;** yaşlandırmadan önce ilave kontrollü germe yaparak gerilimi rahatlatılmıştır.

- 1.) Kaynak kabiliyeti,
- 2.) Mukavemet özellikleri ve
- 3.) Isıl işleme uygunluk bakımından ,

Farklılık gösteren bu iki alaşıma ( **2024 T351** ve **7075 T651** Alüminyum alaşımları )

iki farklı elektrot teli kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile kaynak uygulaması yapılmıştır. Bunlar;

2024 AA : ER4043 - AISi5

7075 AA : ER5356 - AlMg5

2024 AA : Ana metal malzemedен çıkarılarak , şekillendirilen elektrot kaynak teli

7075 AA : Ana metal malzemedен çıkarılarak , şekillendirilen elektrot kaynak teli

Test numunelerine : Aşağıda belirttiğim Laboratuvar testleri yapılmıştır.

- 1.) makro ve mikro yapı incelemeleri
- 2.) Vickers sertlik deneyi ,
- 3.) Çekme deneyi
- 4.) Centik - Darbe deneyi
- 5.) Eğme deneyi

Deney sonrası , deney sonuçları incelenerek karşılaştırılmıştır.

#### 9.1.4. LABORATUAR TEST AŞAMALARI

##### 1.) 2024 T351 Alüminyum Alaşımı :

- deney 1 : Elektrot teli
- deney 2 : Elektrot teli + Tavlama İşlemi
- deney 3 : Elektrot teli + (- 45 ° C )
- deney 4 : Elektrot teli + Tavlama İşlemi + (- 45 ° C )

##### 2.) 2024 T351 Alüminyum Alaşımı :

- deney 1 : kendi malzemesi elektrot teli
- deney 2 : kendi malzemesi elektrot teli + Tavlama İşlemi
- deney 3 : kendi malzemesi elektrot teli + (- 45 ° C )
- deney 4 : kendi malzemesi elektrot teli + Tavlama İşlemi + (- 45 ° C )

##### 3.) 7075 T651 Alüminyum Alaşımı :

- deney 1 : Elektrot teli
- deney 2 : Elektrot teli + Tavlama İşlemi
- deney 3 : Elektrot teli + (- 45 ° C )
- deney 4 : Elektrot teli + Tavlama İşlemi + (- 45 ° C )

##### 4.) 7075 T651 Alüminyum Alaşımı :

- deney 1 : kendi malzemesi elektrot teli
- deney 2 : kendi malzemesi elektrot teli + Tavlama İşlemi
- deney 3 : kendi malzemesi elektrot teli + (- 45 ° C )
- deney 4 : kendi malzemesi elektrot teli + Tavlama İşlemi + (- 45 ° C )

2024 T351 alaşımı için toplam 32 adet , 7075 T651 alaşımı için toplam 32 adet , test parçası laboratuarda çalışılmıştır.

#### 9.1.5. Değişken Parametreler Nelerdir ;

\*\* Esas ana metallerin ikisinde ( 2024 T351 ve 7075 T651 alüminyum alaşımları ) kaynak elektrot ucu seçiminde ; kendileri için en uygun olarak belirlenmiş elektrot uç seçilerek kaynak yapılmıştır.

##### 2024 alüminyum alaşımı kaynağında aşağıda belirttiğim kaynak elektrot telleri kullanılmıştır :

- 1.) ER4043 - AlSi5 elektrot uç ve
- 2.) Esas ana metalin , alüminyum alaşımından kesilerek şekillendirilmiş elektrot kaynak teli ,

##### 7075 alüminyum alaşımı kaynağında aşağıda belirttiğim kaynak elektrot telleri kullanılmıştır :

- 1.) ER5356 - AlMg5 elektrot uç ve
- 2.) Esas ana metalin, alüminyum alaşımından kesilerek şekillendirilmiş elektrot kaynak tel,

### 9.1.6. 2024 – T351 : Alüminyum Alaşımı Deney Plakaları Hazırlama

**Birinci plaka** : Alüminyum Alaşımı için önerilen en uygun elektrot uç seçilerek TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Yukarıda belirttiğim deneylere tabi tutulmuştur.

**İkinci plaka** : Kendi metali olan, Alüminyum Alaşımdan kesilerek üretilen elektrot tel ile TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Yukarıda belirtilen deneylere tabi tutulmuştur.

**Üçüncü plaka** : Alüminyum Alaşımı için önerilen en uygun elektrot uç seçilerek TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Isıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem olarak : alüminyum alaşımı laboratuarda kısmi yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulmuş, Uygulanan ısıl işlem sonucu yukarıda belirtilen deneylere tabi tutulmuştur.

**Dördüncü plaka** : Kendi metali olan, Alüminyum Alaşımdan kesilerek üretilen elektrot tel ile TIG kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Isıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem olarak : alüminyum alaşımı laboratuarda kısmi yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulmuş, Uygulanan ısıl işlem sonucu yukarıda belirtilen deneylere tabi tutulmuştur.

**9.1.7. 7075 – T651 : Alüminyum Alaşımı Deney Plakaları Hazırlama** yukarıda belirttiğim 4 ayrı test plakası hazırlanmıştır.

Esas Metal	2024 - 7075
Kaynak İşlemi	TIG
Elektrod	AlSi5 - AlMg5 ER 4043 - ER 5356
Koruyucu Gaz	Argon
Kaynak Ağızı	V ( 30 + 30 : 60 ° )
TIG Kaynak Elektrod Çapı	2.4 mm
Kaynak Pozisyonu	Alın
Kaynak Akımı	160 Amper
Gerilim	22 V
Paso Sayısı	2
Kullanılan Akım	Alternatif Akım
Elektrod Tipi	Tungsten
Gaz Akış Debisi	8 ml / dakika
Kaynak Hızı	4 mm / sn
Tungsten Elektrod Uc Çapı	3,2 mm
Kaynak Sırasında Ergiyen Damla Çapı	5 mm <sup>2</sup>
Kaynak elektrod boyu	1 metre
Balans Aralığı	4 Alternatif Akım
TIG Kaynağı Torcun Ucu	Yeşil Renk

**Tablo 9.1.** ( 2024 – T351 ) - ( 7075 T651 ) Alüminyum Alaşımı için seçilen , TIG kaynak telinin parametreleri verilmiştir.

### 9.1.8. AISi5 ve AlMg5 KAYNAK TELLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLER

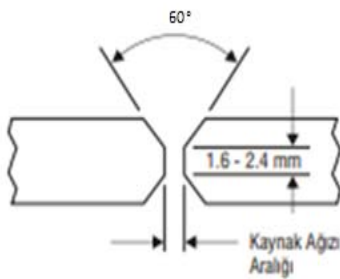
AlMg5 - AISi5 KAYNAK TELLERİNİN KİMYASAL ANALİZİ ( % )														
Alaşım	Kaynak	Elektrod	Si	Mn	Cu	Cr	Ti	Zn	Fe	Be	Mg	Diğer	Diğerleri	Al
	Teli		min-max	min-max		min-max	min-max					herbiri	toplamı	
7075	ER5356	AlMg5	0,10 - 0,25	0,05 - 0,2	0,1	0,05 - 0,2	0,06 - 0,2	0,1	0,4	0,0003	4,5 - 5,5	0,05	0,15	KALAN - 88
2024	ER4043	AISi5	4,5 - 6	0,05	0,3		0,15 - 0,2	0,1	0,40 - 0,8	0,0003	0,05	0,05	0,15	KALAN - 88

**Tablo 9.2** AISi5 ve AlMg5 Kaynak Tellerinin Tipik Analizi ( % )

### 9.1.9. AISi5 ve AlMg5 KAYNAK TELLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLER

Alüminyum Alaşımı	Kaynak Tel	Elektrot	0.2 % Akma Mukavemeti ( N / mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı ( N / mm <sup>2</sup> )	Uzama ( % )
7075	ER5356 - AlMg5	AlMg5	>285	>130	>25
2024	ER4043 - AISi5	AISi5	>160	>100	>15

**Tablo 9.3.** AISi5 ve AlMg5 Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri

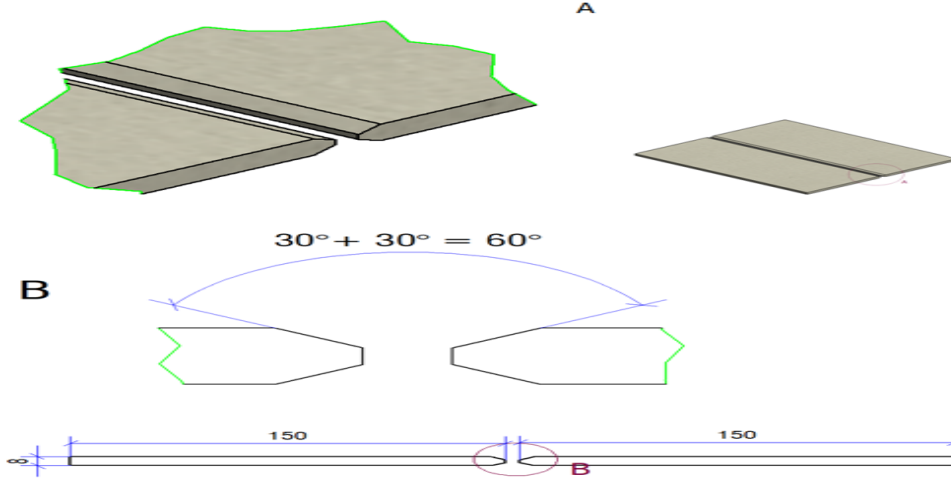


**Şekil 9.1.** Deneylerde kullandığımız alüminyum alaşımlarına acılan kaynak ağızı

**Şekil 9.2.** Kaynak ağızını açan ; 30 ° pahta' nın fotoğrafı

## 9.2. 2024 T351 ve 7075 T651 ALÜMİNYUM PLAKALARINA KAYNAK AĞZI AÇILMASI

Kaynağı yapılacak deney parçalarının, kaynak edilecek bölgesine, CNC freze tezgahı ile  $30^\circ + 30^\circ$  : toplamda  $60^\circ$  kaynak ağzı açıldı.



Şekil 9.3. Kaynak Ağzı Açılmış Parçamız Ve Ölçüleri



Resim 9.1 2024 T351 Alüminyum Alaşımı kaynak ağzı açılma operasyonu



Resim 9.2 7075 T651 Alüminyum Alaşımı kaynak ağzı açılma operasyonu

## 9.3. ÖN TAVLAMA İŞLEMİ

2024 ve 7075 Alüminyum alaşımlarına ön tavlama işlemi yapıldı.

Ön tavlama öncesi , Kaynak işleminin yapıldığı çalışma ortamında , hava şartları şöyle idi :

Hava sıcaklığı	: 4 ° C
Nem	: % 75
Çiğ noktası	: 1 ° C

Basınç : 1,025 mBar  
UV indeksi : Düşük, 1  
Ön Tavlama sıcaklığı : 200 °C  
Ön tavlama işlemi : Oksi asetilen gazı ile yapıldı.

### 9.3.1. Ön tavlamanın niçin yapıldı ?

Alüminyum çok çabuk oksitlenen bir malzemedir. Oksitlenen alüminyum alaşımı, oksitlenme derecesine göre çok çabuk korozyona uğramaktadır. Hava şartlarındaki olumsuzluk (soğuk oluşu) ön tavlama yapmamızı gerektirmiştir.

Hava sıcaklığı yaz ayları özelliği taşıyorsa, (30-35 °C ve kuru bir hava) olsa idi, ön tavlama gerek kalmayabilirdi.

Ön tavlama dediğimiz şey deney parçası alüminyum alaşımını, (2024 T351 ve 7075 T651) oksiasetilen gazını yakarak, deney numunesi (alüminyum alaşımını) parçayı 200 °C'ye ısıtarak, malzeme üzerindeki su buharı, Nem gibi korozyona sebep olan etkileri uzaklaştırmak ve parçanın korozyona uğramasını azaltmaktır.

TIG Kaynak işlemi deney numuneleri üzerinde, iki uç noktadan yapılmaya başlandı. Daha sonrasında yapılan kaynak, parçanın merkez noktasında kaynak birleştirildi. Buna metalurjide çekirdek noktada kaynak birleştirildi diyoruz. Parçanın kaynak sonrası çarpılma göstermesinin nedeni, yapılan kaynağın gücünü de bize gösterir.

Yapılan kaynak sonrası :

2024 alüminyum alaşımının : ark banyosu daha temiz çıktı.

7074 alüminyum alaşımının : ark banyosu daha kirli çıktı.

2024 alüminyum alaşımının içinde Cu bakır oranı yüksektir. Bu oran kaynak sırasında malzemeyi daha hareketli kıldığı için kaynak işlemi daha başarılı yapıldı.

7075 alüminyum alaşımının içinde Zn çinko oranı yüksektir. Bu oran kaynak sırasında malzemenin akıcılığı, hareketini kısıtlı hale getirmiştir. Bu durum kaynak işlemi daha az başarılı konumda gerçekleşmesini sağladı. Burada 2024 ve 7075 alüminyum alaşımının kaynak işlemi sırasında karşılaştırılması yapılmıştır.

Cu metali daha hafif bir malzemedir. Zn metali daha ağır bir malzemedir.

**Resim 9.3.** TIG Kaynağı yapım sırasında kullanılan koruyucu argon gazının analiz sertifikası aşağıda verilmiştir.





#### 9.4 LABORATUAR DENEY NUMUNELERİNİN ÖLÇÜLERİ

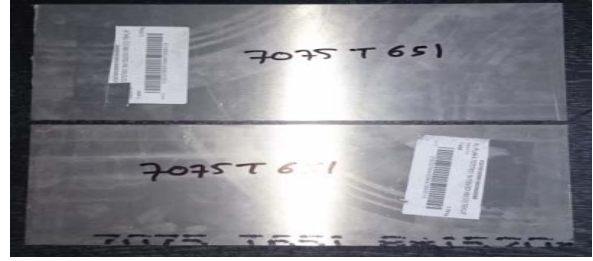
2024 T351 - Alüminyum alaşımı

7075 T651 - Alüminyum alaşımı

Eni : 150 mm

Boyu : 350 mm

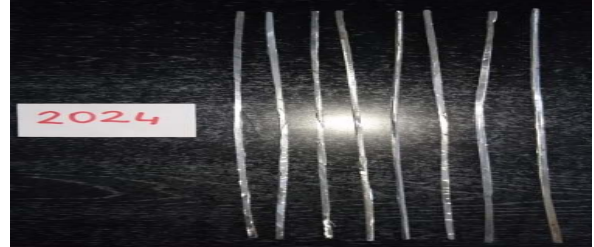
Kalınlık : 8 mm



Resim 9.4. 2024 T351 ve 7075 T651 Alüminyum Alaşımlarının fotoğrafları paylaşılmıştır.



Resim 9.5. 7075 - T651 Alüminyum Alaşımını ; kendi malzemesi ile kaynağını yapmak için, kendi malzemesinden, kalınlığı 2,4 mm parçalar kesilerek, kaynak teli üretilmiştir.



Resim 9.6. 2024 - T351 Alüminyum Alaşımını ; kendi malzemesi ile kaynağını yapmak için, kendi malzemesinden, kalınlığı 2,4 mm parçalar kesilerek, kaynak teli üretilmiştir.



Resim 9.7. TİG KAYNAĞI YAPILIRKEN, KAYNAK MAKİNASI : SALDATURA marka - İtalya Kullanılmıştır.

**Kaynak öncesi temizleme** ; alüminyum parçalarımız, winkel marka temizleme spreyi ile temizlendi.

**9.4.1. Kaynak öncesi parçaları sabitleme** : Alüminyum Parçalar ; temizlendikten sonra, alttan, üstten ve ortadan ( ıskarta bölgelerinden 25 mm üstten , 25 mm aşağıdan , 25 mm içeri bölgelerden ) kaynak edilerek, alüminyum test numuneleri kaynak için sabitlendi.



**Resim 9.8.** Kaynak öncesi parçaları sabitleme

**9.5. Ön tavlama işlemi** : Hava şartlarından dolayı, parçalar ön tav işlemine tabii tutuldu. Kaynak öncesi parçalar 200 dereceye ısıtıldı.



**Resim 9.9.** Ön Tavlama işlemi

Alüminyum parçalarımız ön tav işleminden sonra kaynak işlemine başlandı.



**7075 T651** : Alüminyum alaşımının, kaynağı sırasında aşağıda fotoğrafta görüldüğü gibi malzemede çarpılma meydana geldi.

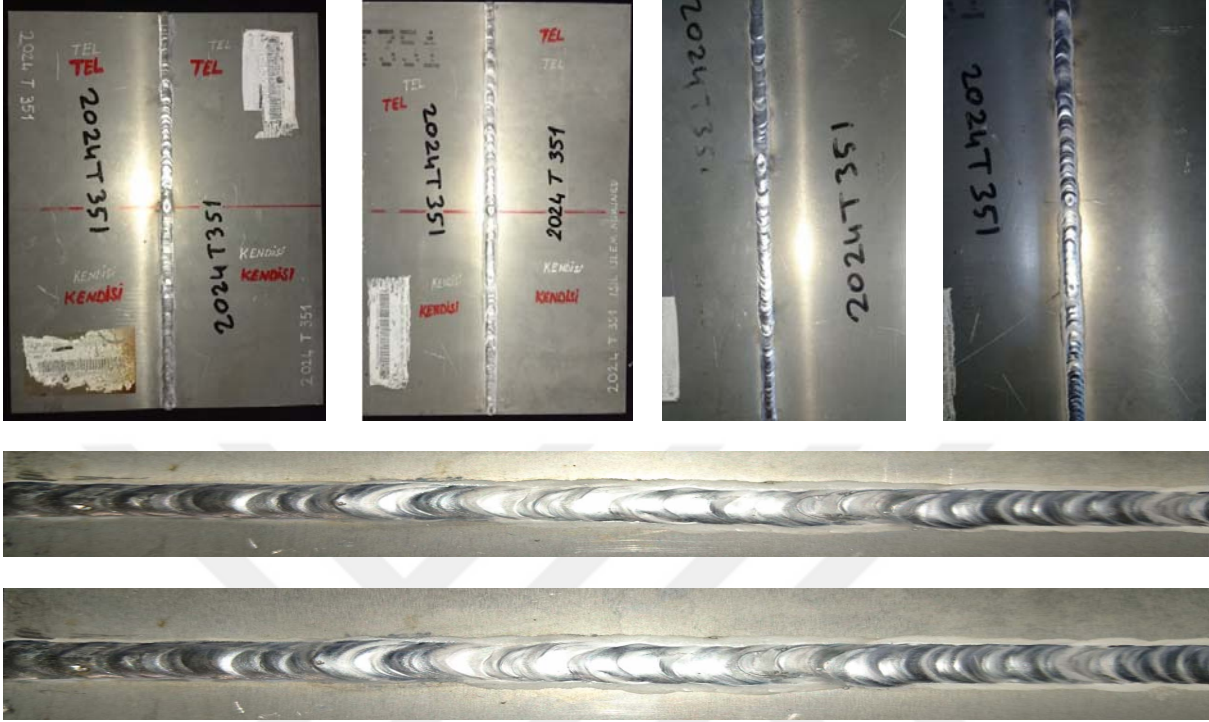
Kaynak yapılan bölge kahverengi, yanık renk oluşumu görüldü.



Resim 9.10. 7075 – T651 Alüminyum Alaşımın kaynak sonrası , kaynak dikişi

**2024 T351** : Alüminyum alaşımının, kaynağı sırasında problem görülmedi.

Kaynak yapılan bölgenin parlak bir görünümü vardı.



**Resim 9.11.** 2024 – T351 Alüminyum Alaşımının kaynak sonrası , kaynak dikişi

## 9.6. LABORATUAR TEST NUMUNELERİ

### 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

Vickers Sertlik .....: 4 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )  
Çekme Testi ..... : 4 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )  
Centik - Darbe Testi ..... : 6 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )  
Eğme Testi ..... : 2 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )

Vickers Sertlik .....: 4 adet ( ER4043 - AISi5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )  
Çekme Testi ..... : 4 adet ( ER4043 - AISi5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )  
Centik - Darbe Testi ..... : 6 adet ( ER4043 - AISi5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )  
Eğme Testi ..... : 2 adet ( ER4043 - AISi5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )

### 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı

Vickers Sertlik .....: 4 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )  
Çekme Testi ..... : 4 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )  
Centik - Darbe Testi ..... : 6 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )  
Eğme Testi ..... : 2 adet ( kendi malzemesi ile kaynak yapıldı )

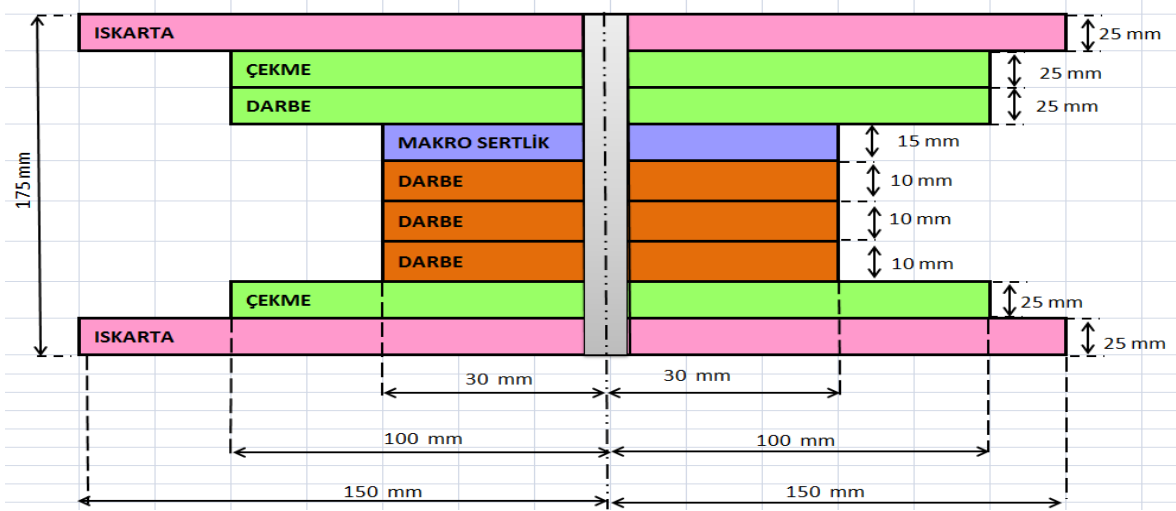
Vickers Sertlik .....: 4 adet ( ER5356 - AlMg5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )  
Çekme Testi .....: 4 adet ( ER5356 - AlMg5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )  
Centik - Darbe Testi .....: 6 adet ( ER5356 - AlMg5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )  
Eğme Testi .....: 2 adet ( ER5356 - AlMg5 - Kaynak elektrotu ile kaynak yapıldı )

### 2024 T351 Alüminyum Alaşımı // 7075 T651 Alüminyum Alaşımı



Resim 9.12. Test Numunelerinin Kesilmiş Fotoğrafları

### LABORATUAR TEST NUMUNE ÖLÇÜLERİ



Tablo : 9.5. Laboratuar Test Numune Ölçüleri

PLAKA ÖLÇÜSÜ :	
UZUNLUK:	350 mm
GENİŞLİK:	300 mm
KALINLIK:	8 mm
--- Kaynak yapılmış çizgidir.	
Malzeme Cinsi: 2024 - 7075 Alüminyum Levha Alaşımı	

## 9.7. MAKRO YAPI VE MİKRO YAPI KARAKTERİZASYONU

- 1.) Kaynak Bölgesi
- 2.) ITAB
- 3.) Ana Metal

Bölgelerindeki makroyapı ve mikroyapı değişikliklerini anlamak amacıyla metalografi laboratuvarında çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen optik mikroskop görüntüleri aşağıda verilmiştir.

**9.7.1. Zımparalama işlemi** : 2024 T351 ve 7075 T651 Alüminyum Alaşımları ( 8 adet test numunesi ) 60 - 220 - 400 - 600 - 800 - 1200 SiC aşındırıcılı zımparalar ile metalografik inceleme yapmak için zımparalanmıştır. Zımparalama işlemine 7 - 10 dakika boyunca tabi tutulmuştur. Test makinası 400 devir de çalıştırıldı. Çalışma esnasında zımpara ile test numunelerinin yüzeyi su ile ıslatılarak çalışıldı.



**Resim 9.13.** Zımparalama işlemi görüntüleri

**9.7.2. Parlatma işlemi** : 2024 T351 ve 7075 T651 Alüminyum Alaşımları , zımparalama işlemi biten 8 adet test numunesi, cuha adı verilen kadife yüzey üzerinde , kadife bez ile sürtünme sağlanarak parlatma işlemi yapıldı. Cuha 0,3  $\mu$  kalınlığındadır. Parlatma öncesi cuha kadife bez yüzeyine metkon marka diapat –m , elmas pasta , kimyasal ilaç enjekte edildi. Sonrasında bu kimyasal madde test numunelerinin parlatılacak yüzeylerine yedirilerek sürüldü. Makine çalıştırılıp parça ile cuha kadife üzerine saf alkol sıkılarak parlatma işlemine tabi tutuldu.

Parlatma işlemi her test numunesi için, 7 - 10 dakika boyunca parlatma işlemine tabi tutuldu . Test makinası 400 devir de çalıştırıldı.



Metkon marka DIAPAT-M , 1 MICRON , Pasta parlaticı kimyasal



Resim 9.14. Parlatma İşlemi Görüntüleri

### 9.7.3. Dağlama işlemi

Parlatma işleminden sonra test numuneleri dağlama öncesi , Parlatılan numuneler su ile yıkanıp, yüzeylerine etil alkol püskürtülerek , kurutma makinası ile hızla kurutulması sağlanmıştır.

Mikroyapıları açığa çıkarması için numuneler , aşağıda belirttiğim kimyasal içerikteki solüsyona 1–2 dakika daldırılıp bekletildi.

Dağlanan numuneler NIKON Eclipse - MA100 mikroskop ile mikroyapıları görüntüleme işlemine geçildi. .

2024 T351 ve 7075 T651 Alüminyum Alaşımları, parlatma işlemi sonrasında, 8 adet test numunesi, keller marka dağlama ayırıcı ile parlatılacak yüzey, kap içerisinde 1 dakika boyunca kimyasal içinde bekletildi.

Bekletme sonrası , test numunelerinin, test yapılacak yüzeyinde mat renk oluştu.

Mat renk, kaynak işlemi sırasında, test numunelerinde, yüksek ısıdan dolayı oluşan ITAB bölgelerini görmemizi sağladı.

ITAB bölgesi bize parçanın makro sertliğini görmemizi sağladı.

Kimyasal Madde Adı : Keller

Kullanım Yeri : Metalik Malzemeleri Makro ve Mikro Dağlama Ayıraçları

Kimyasal Bileşimi : 10 ml Hf - 15 ml HCl - 25 ml HNO<sub>3</sub>

Kullanım süresi : 1 dakika

Süre Aşımı – Yan etki : Testi yapılacak parçayı yakıyor ( karartıyor ), test yapılamaz hale getiriyor.

Test parçalarının, dağlama ayıracını iyi nüfuz edip etmediğini anlamak için ;

aşağıda gösterdiğim mikroskop ile asite batırılarak bekletilen yüzey üzerinde inceleme yapıldı.

Mikroskop ile baktığımızda görüntü kalitesi iyi değil ise, test numuneleri tekrar parlatılarak, tekrar asit içinde 1 dakika bakıcağımız yüzey batırılarak bekletildi. Taki en güzel görüntüyü alana kadar bu işlem devam etti.



**Resim 9.15.** Makro Görüntülerin Bakıldığı Mikroskop

## 9.8. MAKRO SERTLİK FOTOĞRAFLARI, TEST NUMUNELERİ, ITAB BÖLGESİ

1 - 7075 TEL - kaynak elektrodu kullanıldı.

2 – 7075 KENDİSİ - kendi malzemesi ile kaynak edildi.

3 – 2024 TEL - kaynak elektrodu kullanıldı .

4 – 2024 KENDİSİ - kendi malzemesi ile kaynak edildi.

**Resimler 9.16.** Makro Sertlik Fotoğrafları , Test Numuneleri ITAB Bölgesi



IMG\_20190102\_131903

Şekil : 1 Numaralı Parça  
Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : ER5356 AlMg5  
kaynak elektrotu, kullanıldı



IMG\_20190102\_132056

Şekil : 1 Numaralı Parça  
Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5 kaynak  
kaynak elektrotu kullanıldı





IMG\_20190102\_132124

Şekil : 2 Numaralı Parça  
Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı



IMG\_20190102\_132202

Şekil : 2 Numaralı Parça  
Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.



IMG\_20190102\_132229

Şekil : 3 Numaralı Parça  
Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : ER4043 – AlSi5  
kaynak elektrotu, kullanıldı.



IMG\_20190102\_132250

Şekil : 3 Numaralı Parça  
Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : ER4043 – AlSi5  
kaynak elektrotu, kullanıldı



IMG\_20190102\_132306

Şekil : 4 Numaralı Parça  
Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.



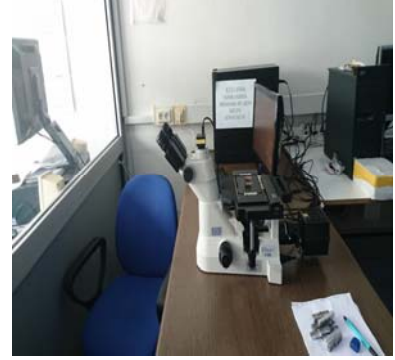
IMG\_20190102\_132331

Şekil : 4 Numaralı Parça  
Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

## 9.9. MİKROSERTLİK - MİKROSKOP ÇEKİMİ FOTOĞRAFLARI

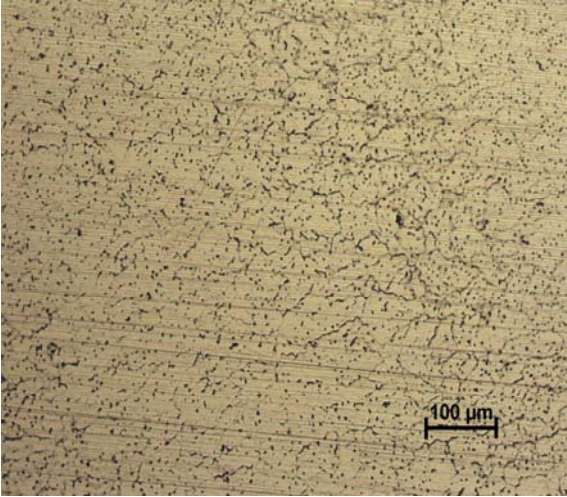
**Mikroskop'un tanımı** : Elektron mikroskopları - Ters metal mikroskopu

**Marka** : Nikon Eclipse - MA100



**Resim 9.17.** Mikro Sertliğin Bakıldığı Mikroskop

**Resimler 9.18.** Mikrosertlik mikroskop çekimi fotoğrafları



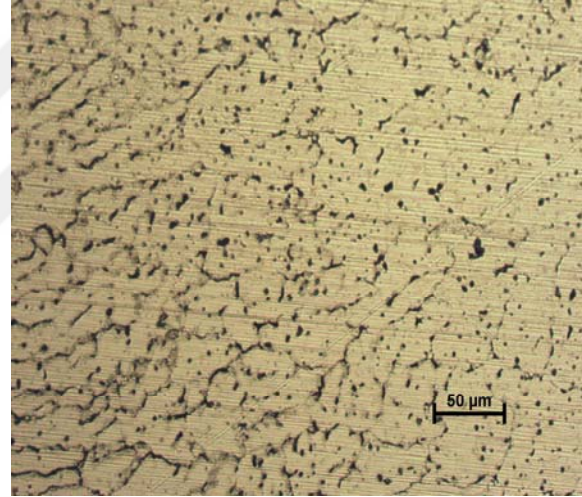
1 KAYNAK X 100

Şekil : 1 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5  
kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak bölgesi



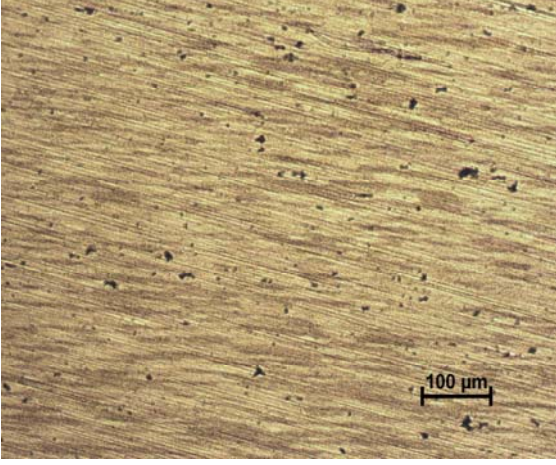
1 KAYNAK X 200

Şekil : 1 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5  
kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak bölgesi



1ANA MALZME X 100

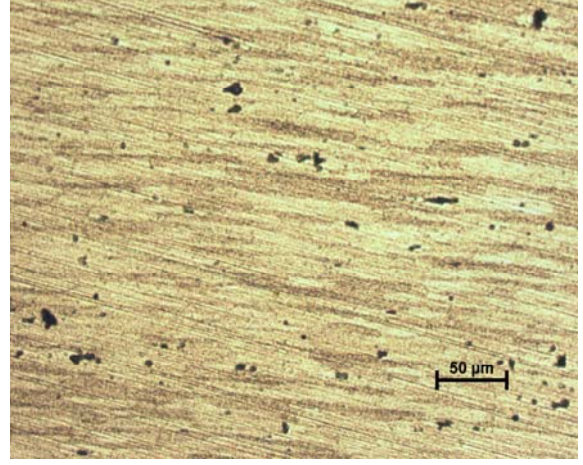
Şekil : 1 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



1ANA MALZME X 200

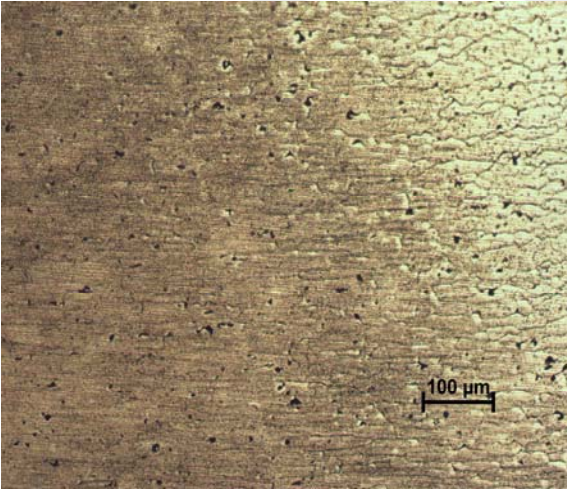
Şekil : 1 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



1ITAB X 100

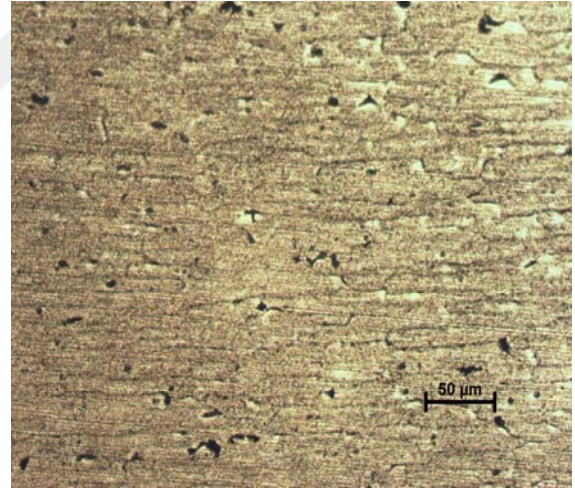
Şekil : 1 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER5356 - AlMg5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB Bölgesi



1ITAB X 200

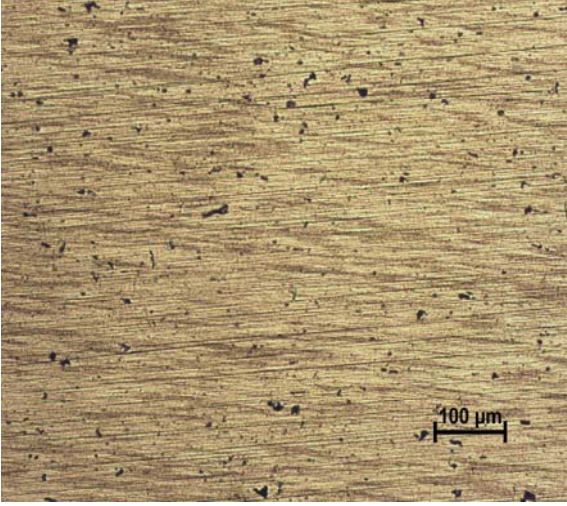
Şekil : 1 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB Bölgesi



2 ANA MALZME X 100

Şekil : 2 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



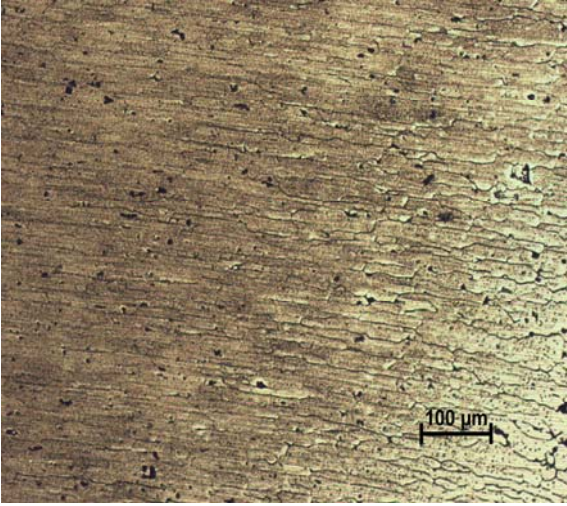
2 ANA MALZME X 200

Şekil : 2 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



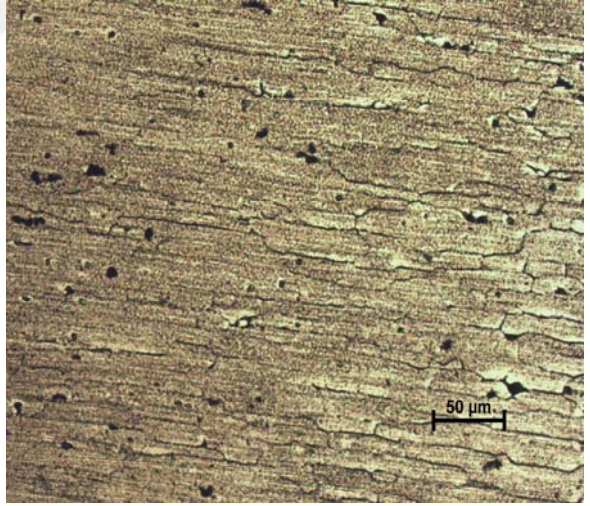
2 ITAB X 100

Şekil : 2 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB bölgesi



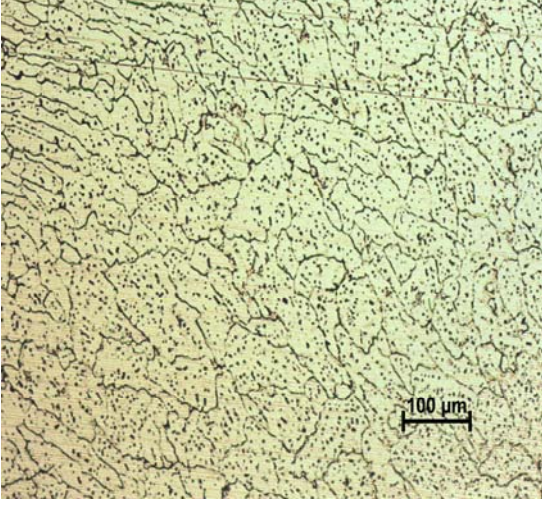
2 ITAB X 200

Şekil : 2 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB Bölgesi



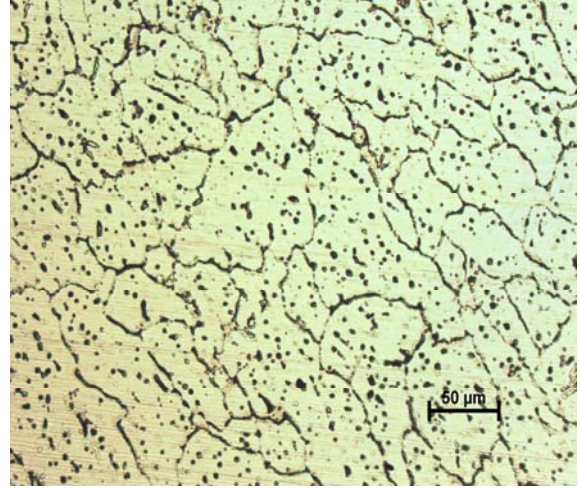
2KAYNAK X 100

Şekil : 2 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak Bölgesi



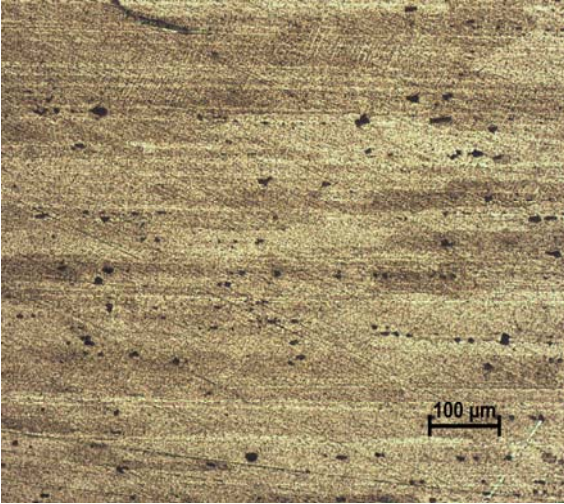
2KAYNAK X 200

Şekil : 2 Numaralı Parça

Malzeme : 7075 T651 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak Bölgesi



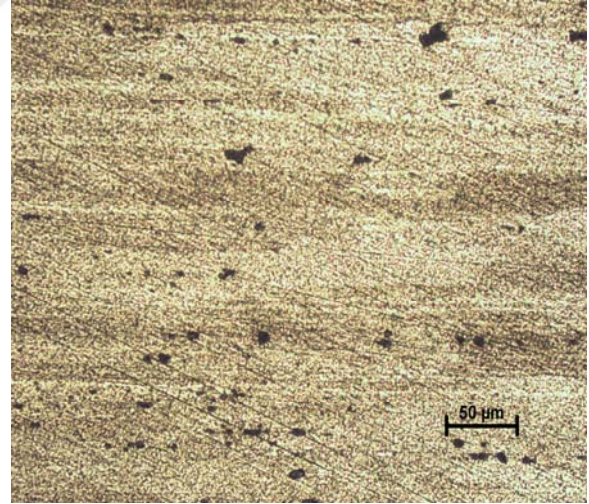
3 ANA MALZME X 100

Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 - AISi5  
kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



3 ANA MALZME X 200

Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5  
kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



3 ANA MALZME DAĞLI OLMAYAN X 100

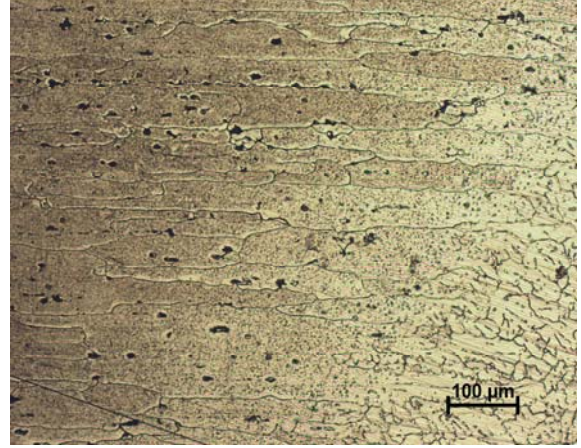
Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme  
parçanın dağlı olmayan tarafı



3 ITAB X 100

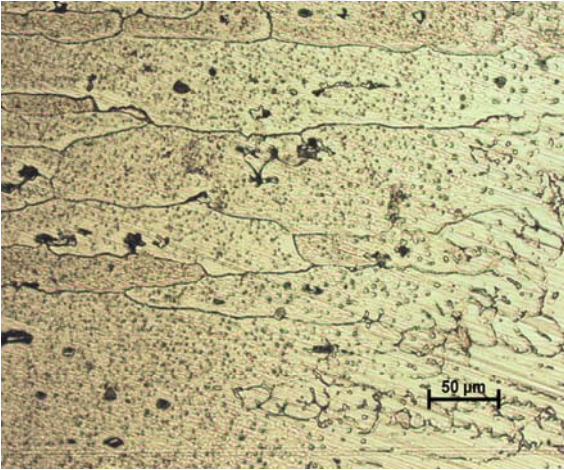
Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T35 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB Bölgesi



3 ITAB X 200

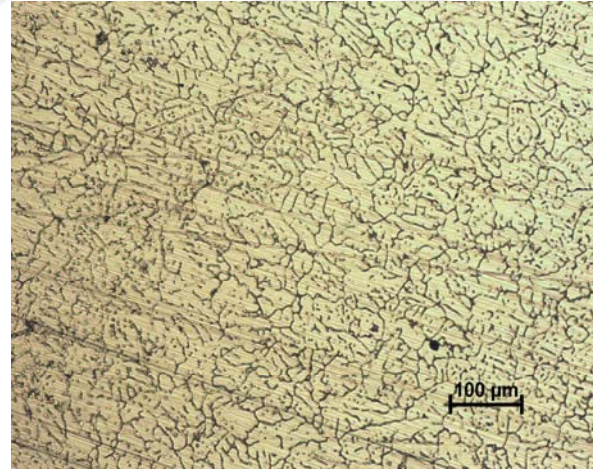
Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB bölgesi



3 KAYNAK X 100

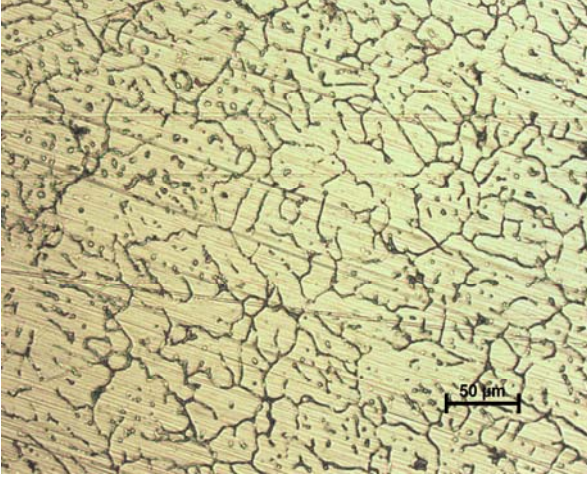
Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme: 2024 T651 Alüminyum alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak Bölgesi



3 KAYNAK X 200

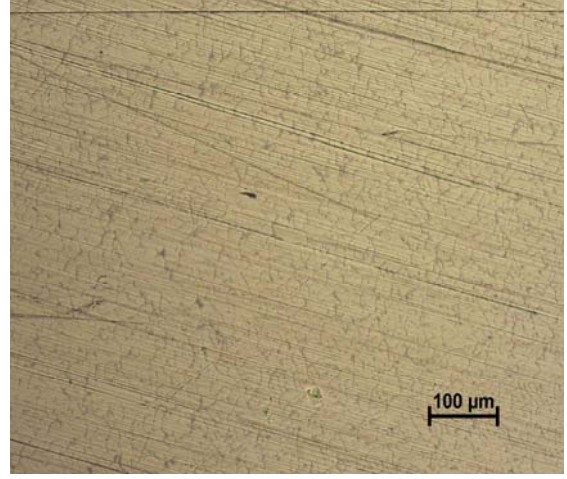
Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AlSi5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak Bölgesi



3 KAYNAK DAĞLI OLMAYAN X 100

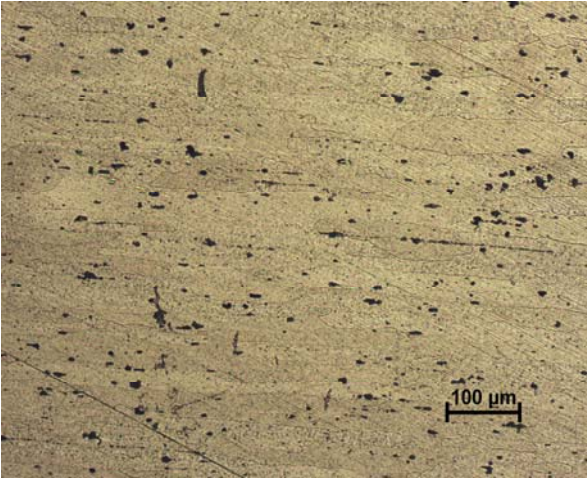
Şekil : 3 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AlSi5

kaynak elektrotu, kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak Bölgesi dağlı olmayan tarafı



4 ANA MALZME X 100

Şekil : 4 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



4 ANA MALZME X 200

Şekil : 4 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Ana malzeme



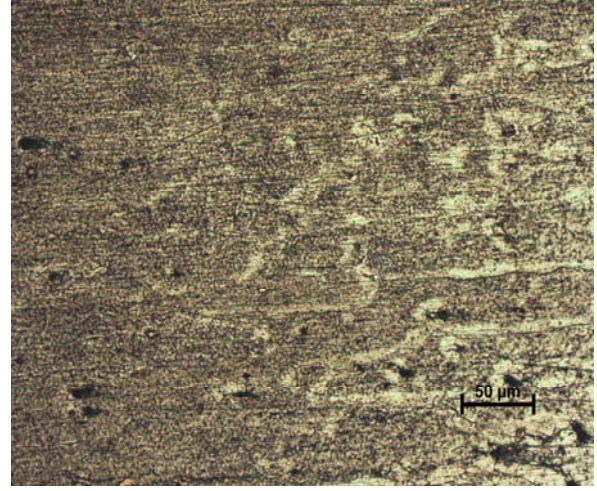
4 ITAB X 100

Şekil : 4 Numaralı Parça

Malzeme : 2024T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB bölgesi



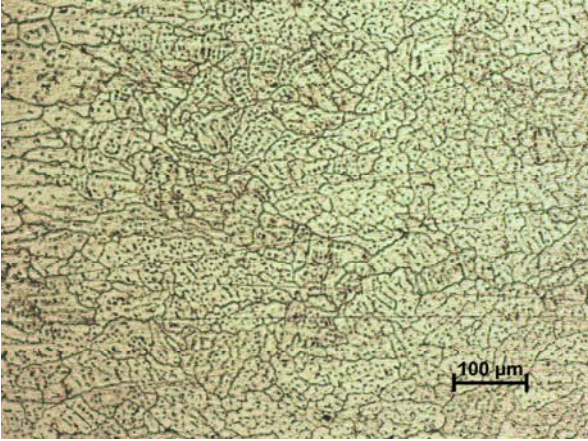
4 ITAB X 200

Şekil : 4 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : ITAB bölgesi



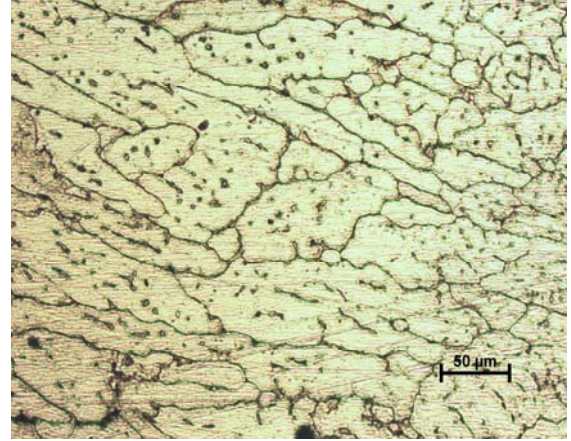
4 KAYNAK X 100

Şekil : 4 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak Bölgesi



4 KAYNAK X 200

Şekil : 4 Numaralı Parça

Malzeme : 2024 T351 Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi,  
kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Fotoğraf Bölgesi : Kaynak Bölgesi

Not : Toplam 26 adet mikroskop görüntüsü mevcuttur.



## 9.10. Isıl İşlemin Yapıldığı Fırın Görüntüleri

Resimler 9.19. Isıl İşlemin Yapıldığı Fırın Görüntüleri



## 9.11. VICKERS SERTLİK ÖLÇÜM DENEYİ

Vickers sertlik ölçme yöntemi, ; sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında daldırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir.

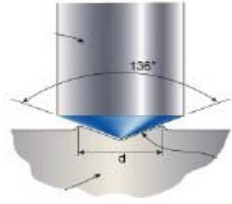
Vickers sertlik değeri, piramit şeklindeki dalıcı ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana getirdiği izin büyüklüğü ile ilgili bir değerdir.

Meydana gelen iz taban köşegeni (d) olan kare bir piramittir ve tepe açısı dalıcı ucun tepe açısının aynıdır = (136°). Vickers sertlik değeri, kg olarak ifade edilen deney yükünün ( mm<sup>2</sup> ) olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür.

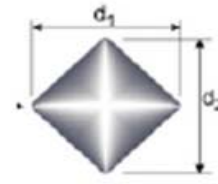
Vickers sertlik değeri işareti ile beraber bazen uygulanan yük ve yükün uygulama zamanını belirten sayısal işaretlerde ilave edilir. Örneğin; VSD /30 /20, /30 kg.'lık yükün 20 saniye süre ile uygulanması sonucu elde edilen Vickers sertlik değerini gösterir.

Deneyden sonra Vickers sertlik değerini bulmak için kare şeklindeki izin köşegenlerini hassas, bir şekilde ölçmek gerekir. Bu ölçme, alete ilâve edilmiş metalürji mikroskobu sayesinde yapılmaktadır ; numune üzerinde meydana getirilen izin görüntüsü mikroskop yardımıyla ölçme ekranına aktarılır. Ölçme ekranındaki hareketli iki cetvel yardımıyla köşegenlerin uzunlukları hassas bir şekilde ayrı ayrı ölçülüp ortalaması alınır. [1]

Vickers sertliği ölçüsü, geniş çubuklardan saçlara kadar her ölçüde malzeme çeşidine uygulanabilir. Genel olarak numunelerin alt ve üst yüzeyleri, yük bindiği zaman numune hareket etmeyecek veya kaymayacak şekilde düz olmalıdır. Kalınlık olarak da, piramit dalıcı ucun, numunenin öbür yüzeyinde bir çıkıntı meydana getirmeyecek derecede kalın olması yeterlidir.



Elmas piramit uç



Vickers izi

$$\text{Vickers sertlik değeri HV} = \text{Katsayısı} * \frac{\text{Test Yüğü (F)}}{\text{İzin Alanı (A)}} = \text{N/mm}^2$$

$$\text{HV} = 0,102 * \frac{2F * \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,189 * \frac{F}{d^2}$$

Vickers metodu, optik bir sertlik ölçme metodu olduğundan Brinell metoduna benzer. Kullanılan uçlar, yükler ve uygulama yerleri değişiktir.

Başlangıç kuvvetinin uygulamaya başladığı ilk andan, deney kuvvetinin tamamının uygulandığı ana kadar geçen süre 2 -8 sn arasında olmalıdır.

Düşük yüklü kuvvet ve mikro sertlik deneylerinde bu süre 10 sn yi aşmamalıdır.

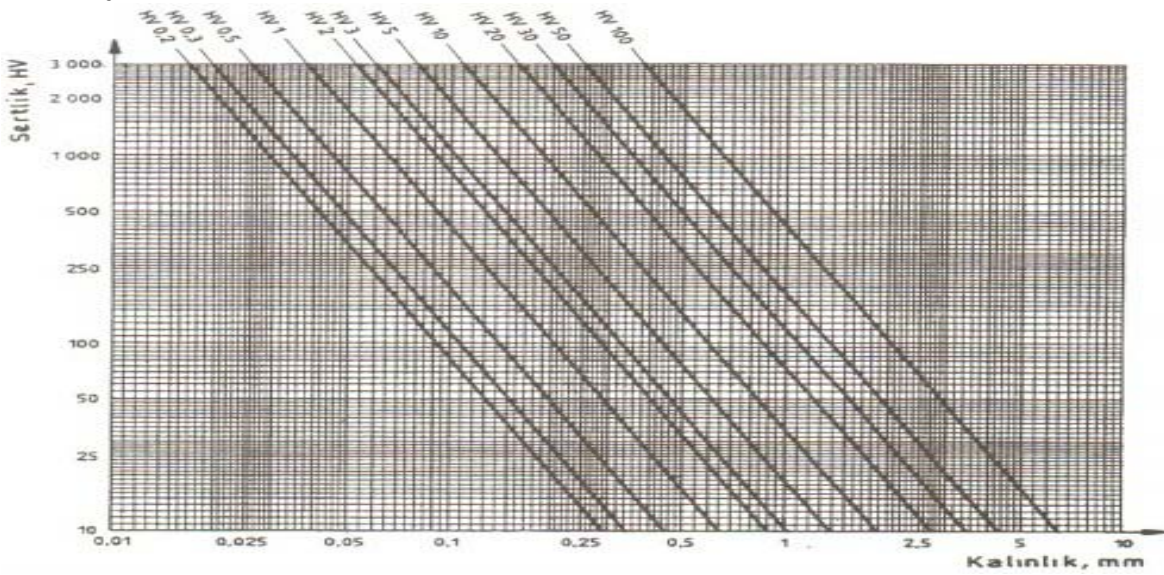
Düşük yüklü kuvvet ve mikro sertlik deneylerinde, basma ucunun, numuneye yaklaşma hızı, 0,2 mm/sn. yi aşmamalıdır.

Bu kuvvetin stabil hale gelmesinden, sonra, 10 - 15 sn beklenmesi gerekir.

440 HV 30, 30 kgf ( 294,2 N ) yükün 10 – 15 sn içinde uygulanması ile bulunan değerın 440 HV olduğunu gösterir.

Vickers metodu kullanılan düşük yükler sayesinde Brinell ve Rockwell metodlarınca tatminkâr sonuç alınamayan, ince sert tabakalı sertleştirilmiş parçalarda ( nitrasyon, sementasyon ) ve ince saçların sertliklerinin ölçümünde çokça kullanılır.

Aşağıdaki diyagramda sertlik ve parça kalınlığına bağlı olarak kullanılan Vickers metodları belirtilmiştir.



**Tablo 9.6.** Malzeme Kalınlığı ile Vickers Sertlik Değeri Arasındaki Bağlantı

### Vickers metodunda ölçüm yapılırken aşağıdaki noktalara dikkat etmek gerekir.

Sertliği ölçülen parçanın kenarı ile Vickers piramit iz merkezinin arası, çelik, bakır ve bakır alaşımlarında iz köşegen ortalamasının en az 2,5 katı; hafif metaller, kurşun, kalay ve bunların alaşımlarında ise en az 3 katı olması sağlanmalıdır.

Çelik, bakır ve bakır alaşımlarında, komşu iki izin merkezi arasındaki mesafe, iz köşegen ortalamasının en az 3 katı; hafif metaller kurşun, kalay ve bunların alaşımlarında ise en az 6 katı olması sağlanmalıdır.

Vickers Sertlik Metodu	Test Durumu	Uygulanan Yükler Kgf (N)
Makro Vickers sertlik testi	$\geq HV 5$	$F \geq 49,03$
Düşük yüklü Vickers sertlik testi	$HV 0,2 - < HV 5$	$1,961 \leq F < 49,03$
Mikro Vickers sertlik testi	$HV 0,01 - < HV 0,2$	$0,09807 \leq F 1,961$

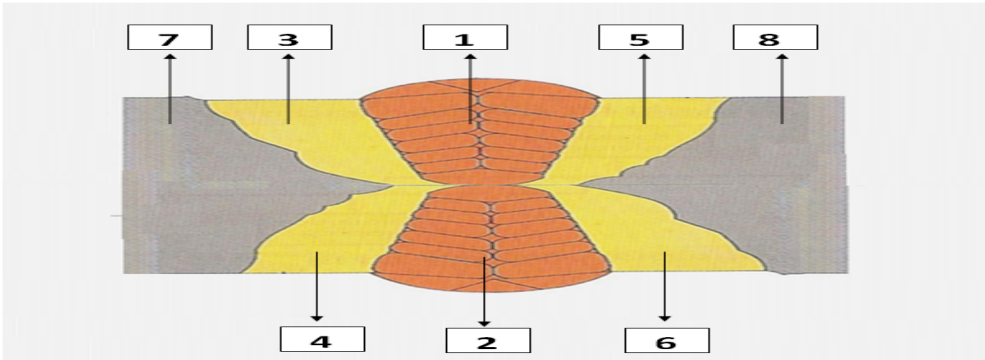
Tablo 9.7. Vickers Sertlik Metodu – Test Durumu – Uygulanan Yükler



Resim 9.20. Vickers Sertlik Ölçüm cihazı

### VICKERS SERTLİK ÖLÇÜMÜ

#### SERTLİĞİ ÖLÇÜLEN ; 2024 T351 VE 7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SERTLİK ÖLÇÜMÜ YAPILAN NOKTA SAYISI KAYNAK BÖLGESİ VE CEVRESİ



Resim 9.21. Vickers sertliği ölçülen kaynak noktaları

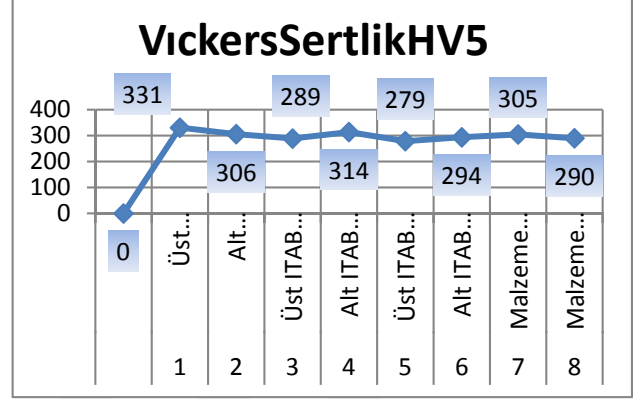
- |                             |                             |                     |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1.) Üst Kaynak Bölgesi      | 4.) Alt ITAB Kaynak Bölgesi | 7.) Malzeme Bölgesi |
| 2.) Alt Kaynak Bölgesi      | 5.) Üst ITAB Kaynak Bölgesi | 8.) Malzeme Bölgesi |
| 3.) Üst ITAB Kaynak Bölgesi | 6.) Alt ITAB Kaynak Bölgesi |                     |

**Tablolar 9.8.** Vickers Sertlik Ölçüm Değerleri Ve Grafikleri

**7075 T651 - Alüminyum Alaşımı**

**ER5356 - AlMg5 - Kaynak Elektrotu Kullanılarak Kaynak Edildi.**

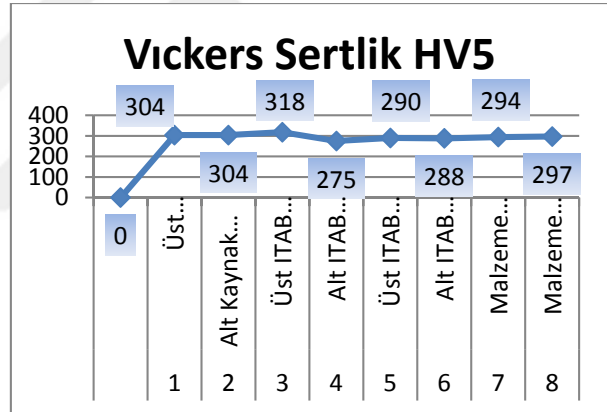
Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	331
2	Alt Kaynak Bölgesi	306
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	289
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	314
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	279
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	294
7	Malzeme Bölgesi	305
8	Malzeme Bölgesi	290



**7075 T651 - Alüminyum Alaşımı**

**ER5356 - AlMg5 - Kaynak Elektrotu Kullanılarak Kaynak Edildi.**

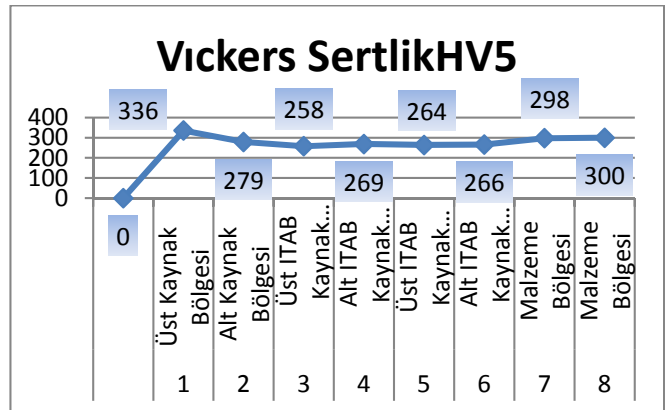
Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	304
2	Alt Kaynak Bölgesi	304
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	318
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	275
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	290
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	288
7	Malzeme Bölgesi	294
8	Malzeme Bölgesi	297



**7075 T651 - Alüminyum Alaşımı**

**Kendi Malzemesi - Kaynak Elektrotu Olarak Kullanılarak Kaynak Edildi.**

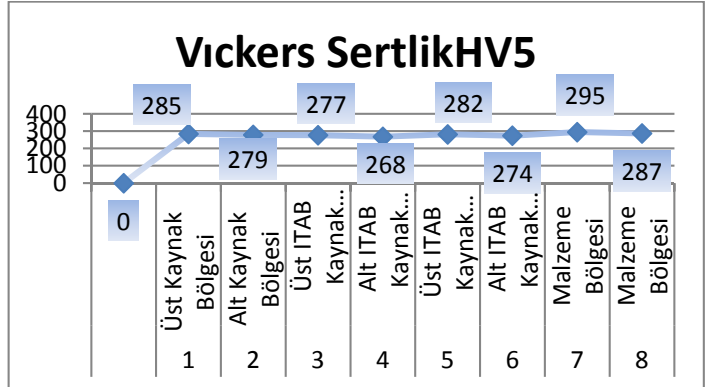
Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	336
2	Alt Kaynak Bölgesi	279
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	258
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	269
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	264
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	266
7	Malzeme Bölgesi	298
8	Malzeme Bölgesi	300



## 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı

Kendi Malzemesi - Kaynak Elektrotu Olarak Kullanılarak Kaynak Edildi.

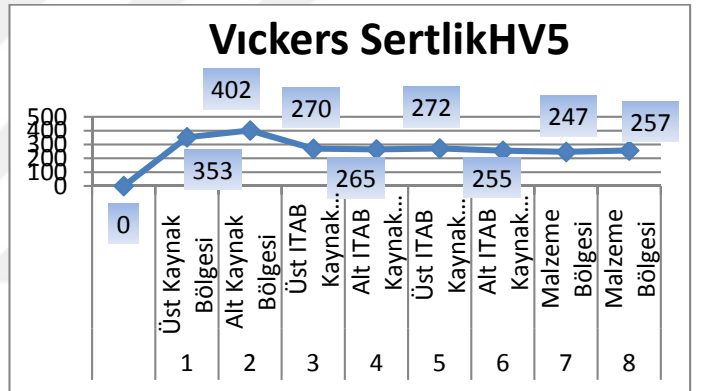
Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	285
2	Alt Kaynak Bölgesi	279
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	277
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	268
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	282
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	274
7	Malzeme Bölgesi	295
8	Malzeme Bölgesi	287



## 2024 - T351 Alüminyum Alaşımı

ER4043 - AISi5 Kaynak Elektrotu Kullanılarak Kaynak Edildi.

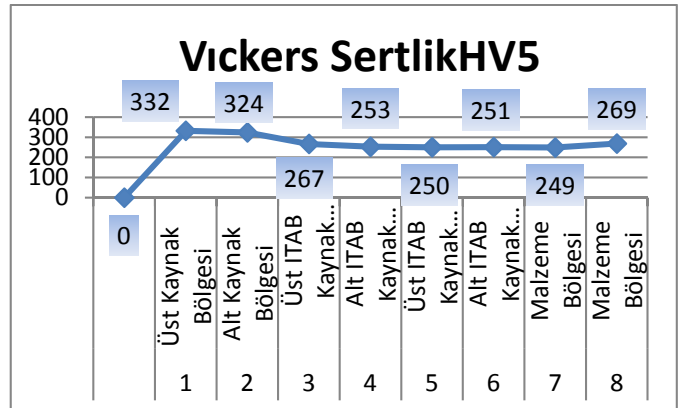
Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	353
2	Alt Kaynak Bölgesi	402
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	270
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	265
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	272
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	255
7	Malzeme Bölgesi	247
8	Malzeme Bölgesi	257



## 2024 - T351 Alüminyum Alaşımı

ER4043 - AISi5 Kaynak Elektrotu Kullanılarak Kaynak Edildi.

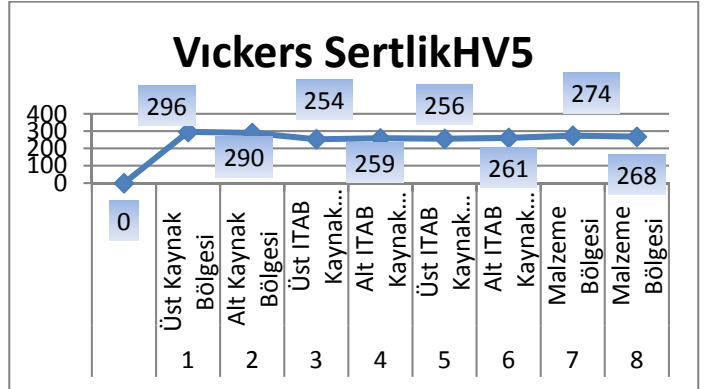
Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	332
2	Alt Kaynak Bölgesi	324
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	267
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	253
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	250
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	251
7	Malzeme Bölgesi	249
8	Malzeme Bölgesi	269



## 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

Kendi Malzemesi - Kaynak Elektrotu Olarak Kullanılarak Kaynak Edildi.

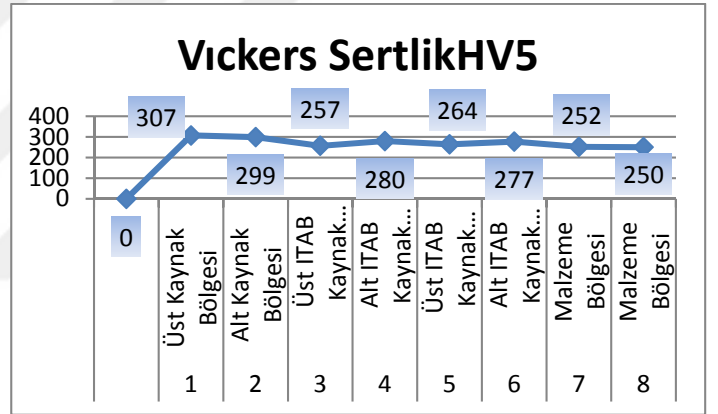
Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	296
2	Alt Kaynak Bölgesi	290
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	254
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	259
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	256
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	261
7	Malzeme Bölgesi	274
8	Malzeme Bölgesi	268



## 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

Kendi Malzemesi - Kaynak Elektrotu Olarak Kullanılarak Kaynak Edildi.

Ölçüm Bölgesi	Vickers Sertliği Bölgesi	Vickers SertlikHV5
1	Üst Kaynak Bölgesi	307
2	Alt Kaynak Bölgesi	299
3	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	257
4	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	280
5	Üst ITAB Kaynak Bölgesi	264
6	Alt ITAB Kaynak Bölgesi	277
7	Malzeme Bölgesi	252
8	Malzeme Bölgesi	250



## 9.12. ÇEKME DENEYİ

ÇEKME DENEYİ YAPILAN ALAŞIMLAR : 2024 T351 VE 7075 T651

ÇEKME DENEYİ GÖZLEMLİDİĞİMİZ NOKTALAR : KAYNAK BÖLGESİ VE CEVRESİ



Resim 9.22. Çekme deneyinde kullanılan cihaz fotoğrafları

### 9.12.1. Çekme Deneyinin Amacı

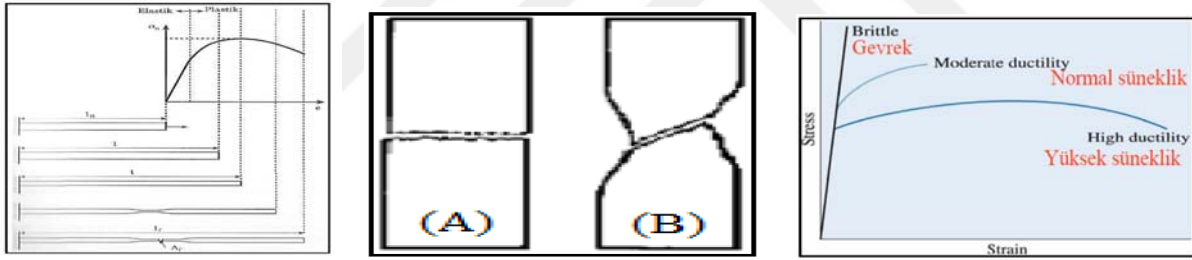
Malzemede belirli bir şekil değiştirme meydana getirmek için uygulanması gereken kuvvetin hesaplanması ya da cisme belirli bir kuvvet uygulandığında meydana gelecek şekil değişiminin belirlenmesi mühendislikte büyük önem taşır. Şekil değiştirme ve bu şekil değiştirmeyi veren kuvvet arasındaki bağıntı, malzemenin hangi koşullarda çalışabileceğini ya da hangi koşullarda şekillendirilebileceğini belirlemektedir.

Kuvvet ve şekil değiştirme arasındaki bağıntıların incelenmesi bakımından en basit deney çekme deneyidir. Çekme deneyi ; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarının ( mekanik özelliklerinin ) belirlenmesi, mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla yapılır. Bu deneyde standart çekme numunelerinin mukavemet değerleri ölçülür. Elde edilen değerler karşılaştırılarak malzemelerin mekanik özellikleri değerlendirilir. Metal malzemelerin çoğunda bazı mekanik özellikleri ölçebilmek için standartlarda belirlenmiş kurallar içinde çekme deneyleri yapılır.

$\sigma$  ( Gerilme ) =  $P / A$  ..... birim alana etkiyen yük anlamına gelir

Kesit daralması, kopma uzaması gibi süneklığın bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler.

Gevrek ve sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği görülmektedir.



Şekil 9.4. Çekme deneyinde üniform uzama, büzülme ve kopma

Şekil 9.5. ( A ) Gevrek malzeme ( B ) Sünek bir malzeme

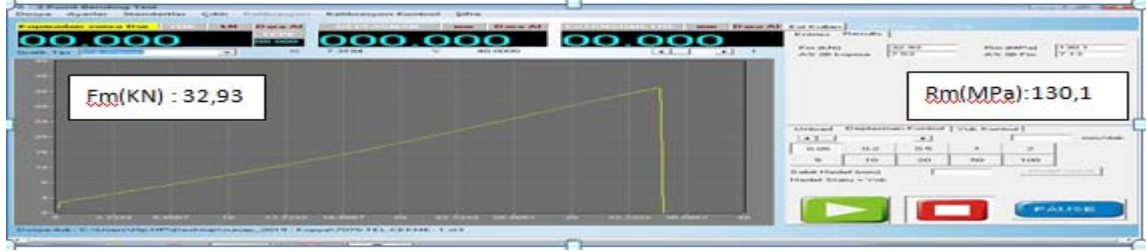
Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri gösterilmiştir.

Şekil 9.6. Gevrek ve Sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği

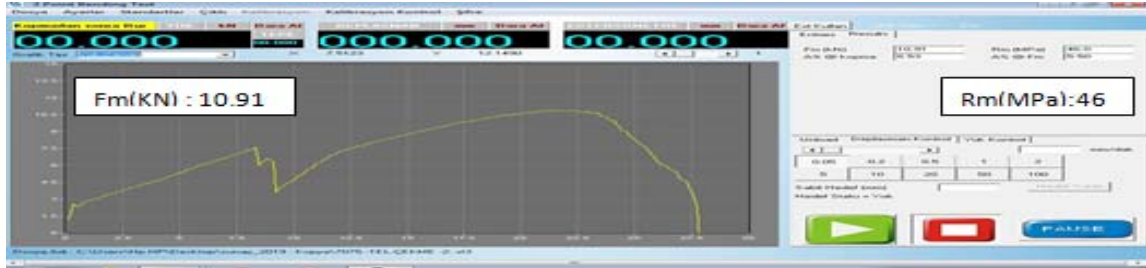
Malzeme Değeri		Sembol	Birim
Çekme Dayanımı		$R_m$ ( $\sigma_C$ )	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Akma Sınırları	Üst Akma Dayanımı (Üst Akma Sınırı)	$R_{eH}$ ( $\sigma_{0.2}$ )	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
	Alt Akma Dayanımı (Alt Akma Sınırı)	$R_{eL}$ ( $\sigma_{0.01}$ )	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
	% 0,2 Uzama Dayanımı (% 0,2 Uzama Sınırı)	$R_{p0.2}$ ( $\sigma_{0.2}$ )	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Kopma Dayanımı		( $\sigma_k$ )	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Kopma Uzaması		$e_k$	%
Kopma Büzülmesi		$\Gamma_k$	%
Üniform Uzama		$e_h$	%
Elastisite Modülü		E	N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Akma Sınırı Uzaması		$e_{ak}$	%

Tablo 9.9. Çekme deneyi ile ölçülebilen malzeme değerleri

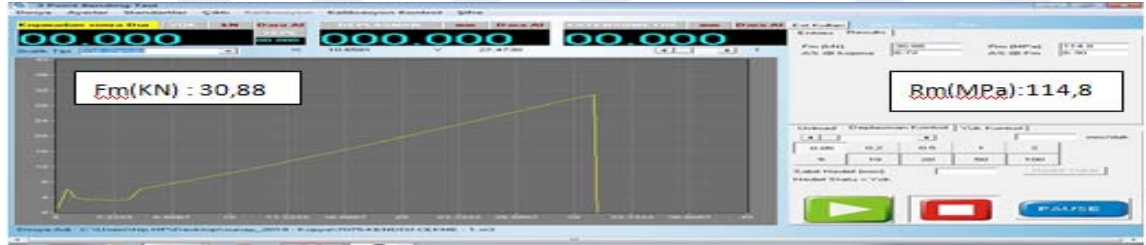
**Tablolar 9.10. Çekme Deneyi Verileri ve Grafikleri**  
**2024 T351 ve 7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ**  
**ÇEKME DENEYİ VERİLERİ, GRAFİKLERİ**



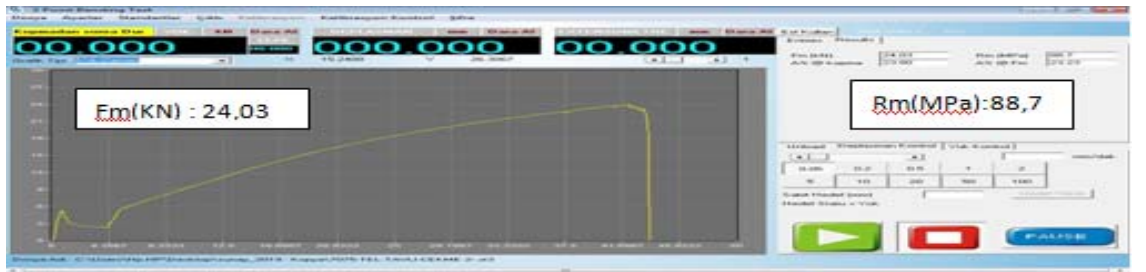
Malzeme : 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5 kaynak elektrotu, kullanıldı.



Malzeme : 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5 kaynak elektrotu, kullanıldı.

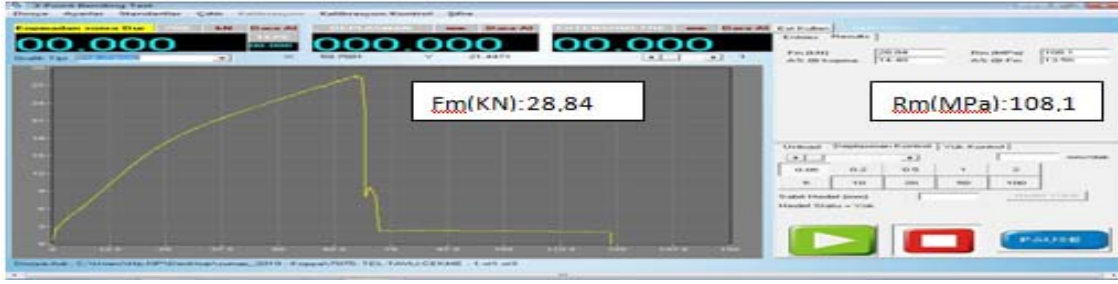


Malzeme : 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.



Malzeme : 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı  
Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5 kaynak elektrotu, kullanıldı.  
Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi.  
260 °C ye kadar fırında soğutuldu, sonrasında malzeme fırından çıkartılıp dışarıda soğutuldu.

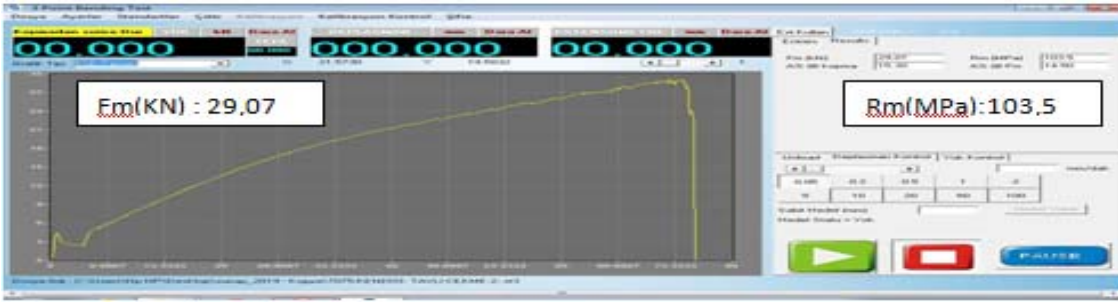




Malzeme : 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER5356 – AlMg5 kaynak elektrotu, kullanıldı.

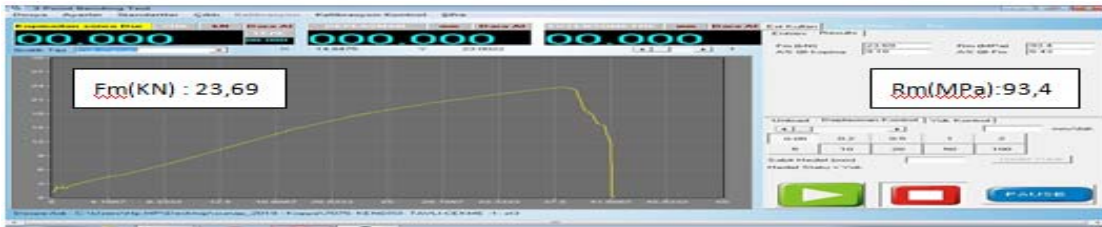
Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırında soğutuldu, sonrasında malzeme fırından çıkartılıp dışarıda soğutuldu.



Malzeme : 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

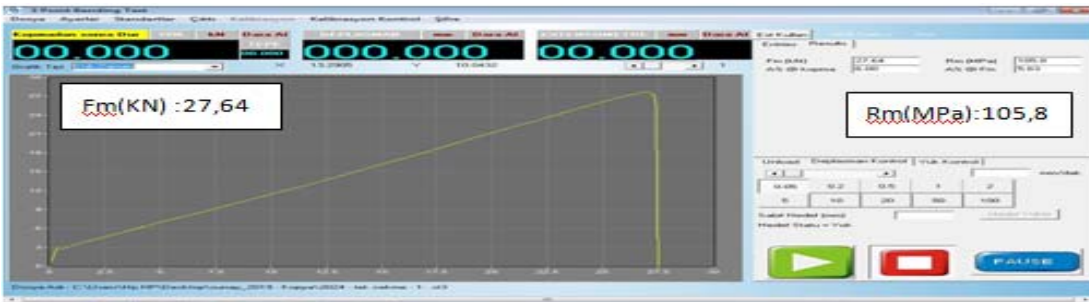
Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırında soğutuldu, sonrasında malzeme fırından çıkartılıp dışarıda soğutuldu.



Malzeme : 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı

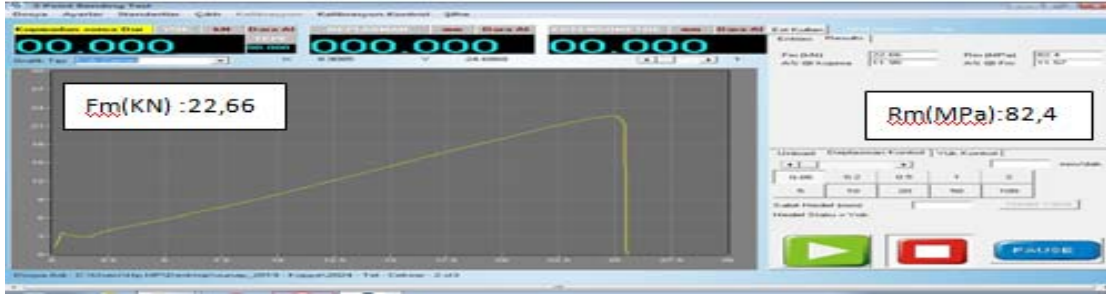
Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.

Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırında soğutuldu, sonrasında malzeme fırından çıkartılıp dışarıda soğutuldu.

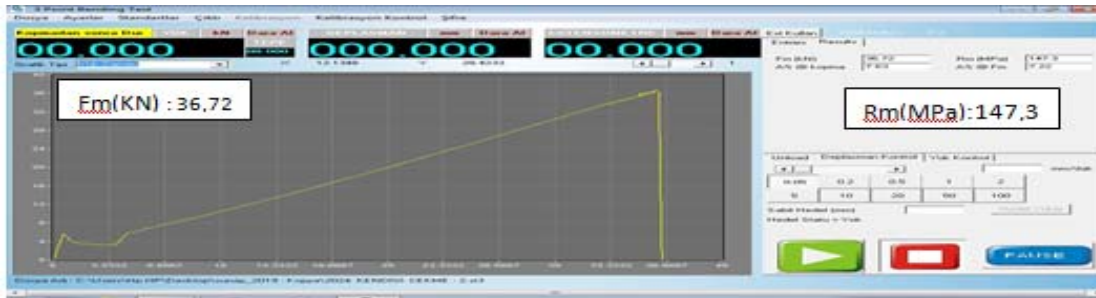


Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

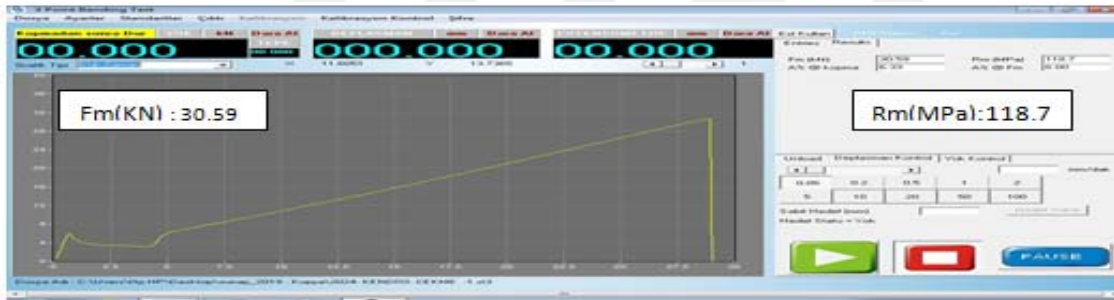
Kaynak Malzemesi : ER4043 – AlSi5 kaynak elektrotu, kullanıldı.



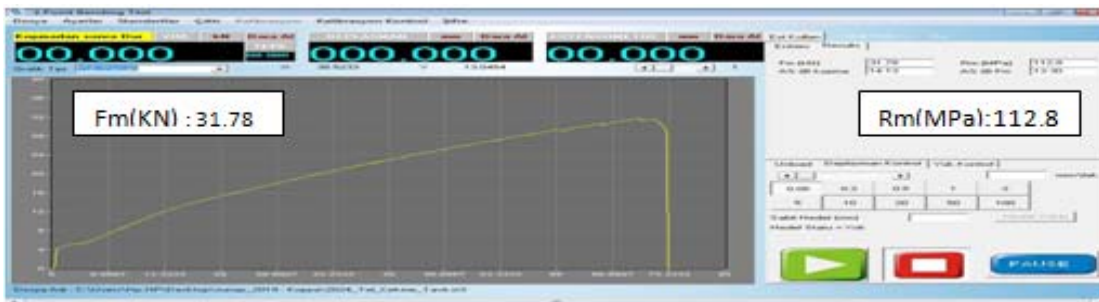
Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı  
 Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5 kaynak elektrotu, kullanıldı.



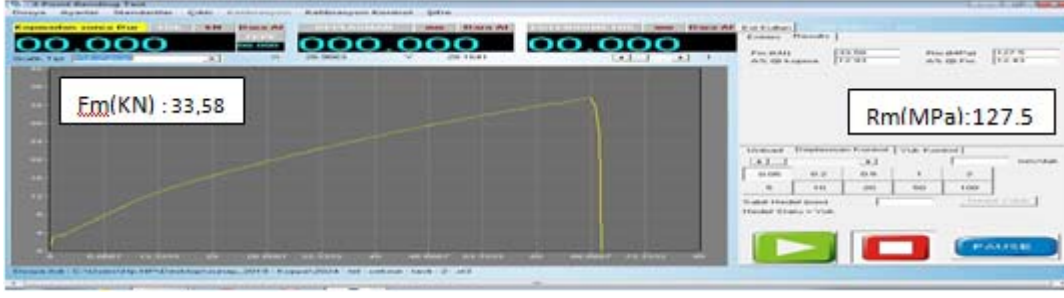
Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı  
 Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.



Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı  
 Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.



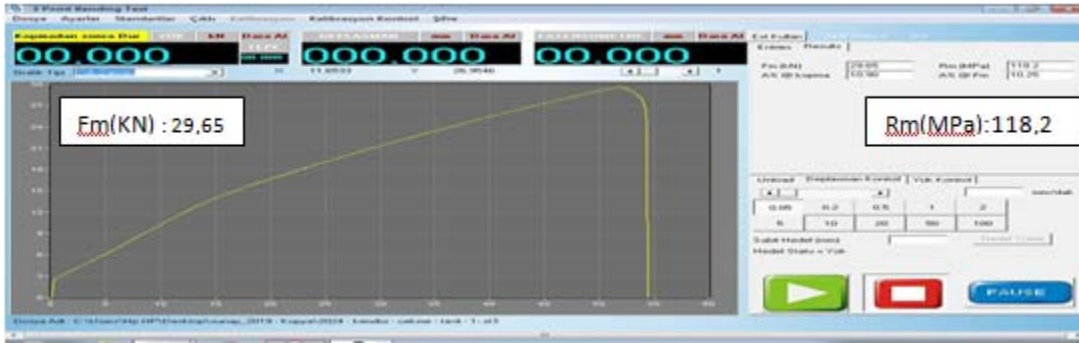
Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı  
 Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5 kaynak elektrotu, kullanıldı.  
 Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. Sonrasında malzeme fırında bekletilip soğutuldu.



Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : ER4043 – AISi5 kaynak elektrotu, kullanıldı.

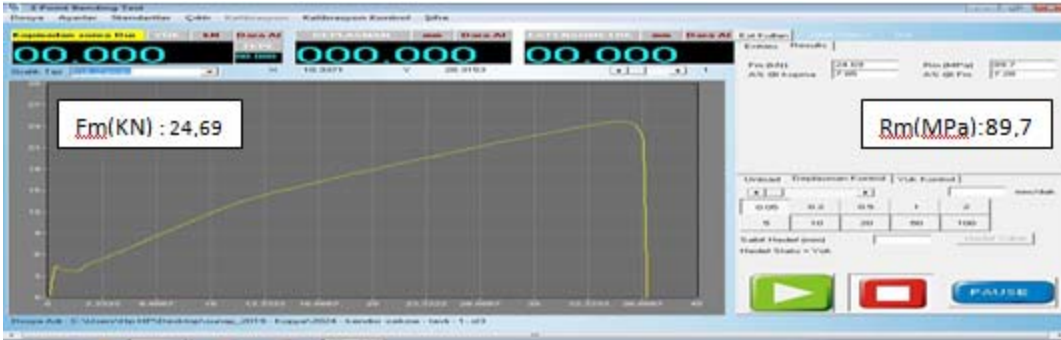
Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. Sonrasında malzeme fırında bekletilip soğutuldu.



Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı

Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. Sonrasında malzeme fırında bekletilip soğutuldu.



Malzeme : 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

Kaynak Malzemesi : Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı

Not : Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. Sonrasında malzeme fırında bekletilip soğutuldu.

**Tablolar 9.11. Çentik Darbe Deneyi Verileri****2024 T351 ve 7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ  
ÇENTİK - DARBE DENEYİ VERİLERİ**

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,28 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,55 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	5.3 Joule
Hesaplama	:	6.70 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	ITAB nokta
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,21 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,08 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	13.4 Joule
Hesaplama	:	18.108 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	4043 Al-Si5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,23 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,10 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	8.8 Joule
Hesaplama	:	13.33 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	4043 Al-Si5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	ITAB noktası
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,07 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	7,72 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	18.5 Joule
Hesaplama	:	29.83 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	4043 Al-Si5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta - Isıl işlem uygulandı
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	7,85 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,63 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	9.2 Joule
Hesaplama	:	13.73 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	4043 Al-Si5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta - Isıl işlem uygulandı
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,03 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,51 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	31.3 Joule
Hesaplama	:	41.18 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	ITAB noktası - ısıtım işlem uygulandı
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,14 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,77 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	17.8 Joule
Hesaplama	:	25.07 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta - Isıl işlem uygulandı
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,08 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,58 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	8.8 Joule
Hesaplama	:	11.42 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	ITAB noktası
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,20 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	7,89 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	14.7 Joule
Hesaplama	:	22.96 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	5356 Al-Mg5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,15 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,94 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	12.6 Joule
Hesaplama	:	17.5 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	5356 Al-Mg5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	ITAB noktası
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,11 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,23 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	20.1 Joule
Hesaplama	:	27.16 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	ITAB noktası
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	7,42 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,23 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	15.6 Joule
Hesaplama	:	25.57 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	7,10 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,12 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	5.9 Joule
Hesaplama	:	10.35 Joule / cm <sup>2</sup>

alzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	4043 Al-Si5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	ITAB noktası
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,03 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,60 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	9.6 Joule
Hesaplama	:	12.46 Joule / cm <sup>2</sup>

**Tablolar 9.12. ( -45 dereceye soğutulmuş ) Çentik Darbe Deneyi Verileri**

**CENTİK DARBE DENEYİNDE KULLANILAN TEST PARÇALARININ BİR KISMI - 45 °C DERECE SOĞUTULARAK ÇENTİK DARBE DENEYİ YAPILMIŞ VE ALINAN VERİLER PAYLAŞILMIŞTIR.**

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	4043 Al-Si5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta - Isıl işlem uygulandı / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,28 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,73 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	7.9 Joule
Hesaplama	:	10.97 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta - Isıl işlem uygulandı / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,25 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,39 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	5.7 Joule
Hesaplama	:	7.40 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	4043 Al-Si5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,15 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	10,20 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	HATALI OLCUM Joule
Hesaplama	:	Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	2024 -T351 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,21 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	11,45 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	221.6 Joule
Hesaplama	:	235.74 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta - Isıl işlem uygulandı / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,15 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	7,75 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	9.0 Joule
Hesaplama	:	14.28 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	5356 Al-Mg5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta - Isıl işlem uygulandı / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü	:	
a.) test metali kalınlık	:	8,25 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,17 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	12.8 Joule
Hesaplama	:	17.06 Joule / cm <sup>2</sup>



Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,15 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	9,10 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	4.7 Joule
Hesaplama	:	6.35 Joule / cm <sup>2</sup>

Malzeme	:	7075 –T651 Alüminyum Alaşımı
Kaynak Malzemesi	:	5356 Al-Mg5 Elektrot tel, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.
Test yapılan bölge	:	Kaynaklı nokta / - 45 °C soğutuldu
Malzeme ölçüsü		
a.) test metali kalınlık	:	8,16 mm
b.) kaynak noktası kalınlık	:	8,58 mm
Test sonrası ölçülen değer	:	18.3 Joule
Hesaplama	:	26.14 Joule / cm <sup>2</sup>

## Resimler 9.23. Çentik Darbe Deneyi - Kırılan Parçaların Resimleri

### ÇENTİK DARBE DENEYİ KIRILAN PARÇALARIN KIRILMA FOTOĞRAF ÖRNEKLERİ

**Resim 9.23.1** : 2024 T351 Alüminyum alaşımı  
4043 AlSi5 kaynak elektrotu kullanıldı. Kaynak yapılan noktadan çentik açıldı.



**Resim 9.23.2** : 2024 T351 Alüminyum alaşımı  
Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. ITAB noktadan çentik açıldı.



**Resim 9.23.3** : 7075 T651 Alüminyum alaşımı  
ER5356 - AlMg5, kaynak elektrotu kullanıldı. ITAB noktasından çentik açıldı.



**Resim 9.23.4 :** 7075 T651 Alüminyum alaşımı

Kendi malzemesi kaynak elektrotu kullanıldı. ITAB noktasından çentik açıldı.

Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırının içinde soğutuldu. Parçalar dış ortama alınarak oda sıcaklığı 20 °C de soğumaya bırakıldı.



**Resim 9.23.5 :** 7075 T651 Alüminyum alaşımı

Kendi malzemesi kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Kaynak noktasından çentik açıldı.

Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırının içinde soğutuldu. Parçalar dış ortama alınarak oda sıcaklığı 20 °C de soğumaya bırakıldı.

- 45 °C DERECE SOĞUTULMUŞ PARÇALAR



**Resim 9.23.6 :** 2024 T351 Alüminyum alaşımı

4043 AlSi5 kaynak elektrotu kullanıldı. - 45 °C DERECE SOĞUTULMUŞ PARÇALAR

ITAB noktadan çentik açıldı.



**Resim 9.23.7 :** 2024 T351 Alüminyum alaşımı

ER4043 - AlSi5 kaynak elektrotu kullanıldı. Kaynak noktasından çentik açıldı.

Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi. Parçalar fırının içinde soğutuldu. O Tavlama yapıldı. - 45 °C DERECE SOĞUTULMUŞ PARÇALAR



## Resimler 9.24. ÇEKME DENEYİ KIRILAN PARÇALARIN KIRILMA YERLERİ VE KIRILMA ŞEKİLLERİ

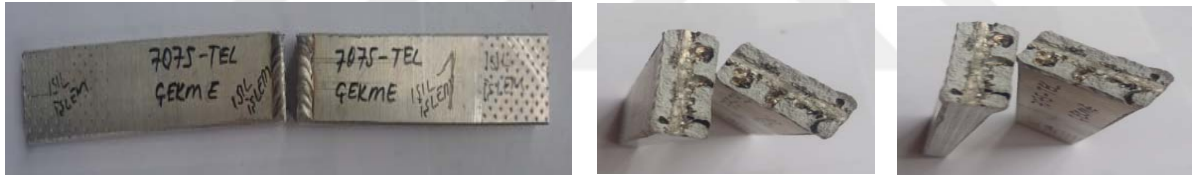
**Resim 9.24.1 :** 2024 T351 Alüminyum alaşımı . Kendi malzemesi ile kaynak edildi .



**Resim 9.24.2 :** 2024 T351 Alüminyum alaşımı ER4043 - AISi5 kaynak elektrotu ile kaynak edildi . Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi. Parçalar fırının içinde soğutuldu. O Tavlama yapıldı .



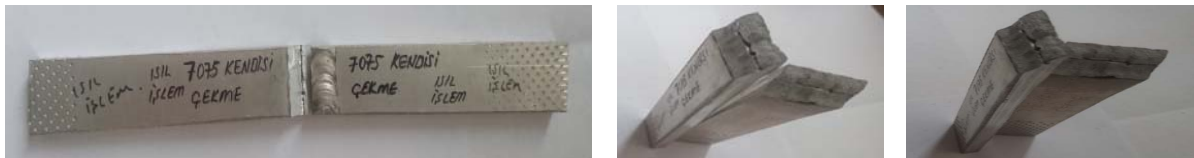
**Resim 9.24.3 :** 7075 T651 Alüminyum alaşımı ER5356 - AlMgİ5 kaynak elektrotu kullanıldı. Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırının içinde soğutuldu. Parçalar dış ortama alınarak oda sıcaklığı 20 °C de soğumaya bırakıldı.



**Resim 9.24.4 :** 7075 T651 Alüminyum alaşımı Kendi malzemesi , kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırının içinde soğutuldu. Parçalar dış ortama alınarak oda sıcaklığı 20 °C de soğumaya bırakıldı.



**Resim 9.24.5 :** 7075 T651 Alüminyum alaşımı ER5356 - AlMgİ5 kaynak elektrotu kullanıldı. Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırının içinde soğutuldu. Parçalar dış ortama alınarak oda sıcaklığı 20 °C de soğumaya bırakıldı.

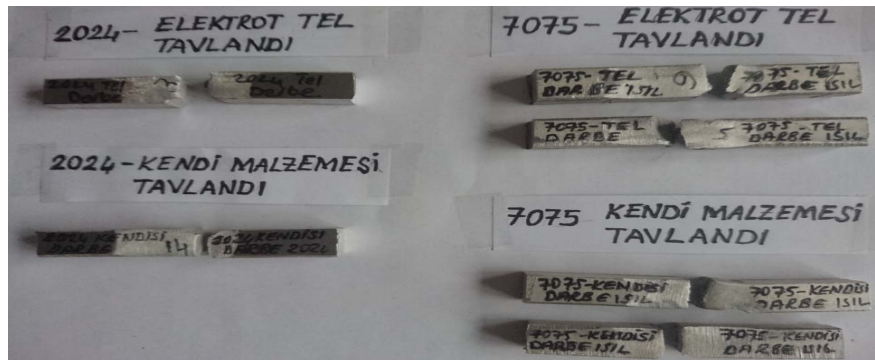


## Resimler 9.25. LABORATUAR DENEYLERİ İÇİN HAZIRLANMIŞ NUMUNELERİN - DENEY SONRASI FOTOGRAFLARI

**Resim 9.25.1 :** 2024 T351 - ER4043 AISİ5 Kaynak elektrotu kullanıldı.  
2024 T351 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.  
7075 T651 - ER5356 AlMg5 kaynak elektrotu olarak kullanıldı.  
7075 T651 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.



**Resim 9.25.2 :** 2024 T351 - ER4043 AISİ5 Kaynak elektrotu kullanıldı. Isıl işlem uygulandı.  
2024 T351 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı.  
7075 T651 - ER5356 AlMg5 kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı.  
7075 T651 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı.  
2024 T351 ISIL İŞLEMİ : Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi.  
Parçalar fırının içinde soğutuldu. O Tavlama yapıldı.  
7075 T651 ISIL İŞLEMİ : Malzeme 415 °C derece sıcaklıkta 3 saat bekletildi.  
260 °C ye kadar fırının içinde soğutuldu.  
Parçalar dış ortama alınarak oda sıcaklığı 20 °C de soğumaya bırakıldı



**Resim 9.25.3 :** 2024 T351 - ER4043 AISİ5 Kaynak elektrotu kullanıldı. - 45 °C kadar soğutuldu.  
2024 T351 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. - 45 °C kadar soğutuldu.  
2024 T351 - ER4043 AISİ5 Kaynak elektrotu kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. - 45 °C kadar soğutuldu. Isıl işlem şartı yukarıdaki resimde anlatıldı.  
2024 T351 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. - 45 °C kadar soğutuldu. Isıl işlem şartı yukarıdaki resimde anlatıldı.  
7075 T651 - ER5356 AlMg5 kaynak elektrotu olarak kullanıldı. - 45 °C kadar soğutuldu.  
7075 T651 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. - 45 °C kadar soğutuldu.  
7075 T651 - ER5356 AlMg5 kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. - 45 °C

kadar soğutuldu. Isıl işlem şartı yukarıdaki resimde anlatıldı.

7075 T651 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. - 45 °C kadar soğutuldu. Isıl işlem şartı yukarıdaki resimde anlatıldı.



**Resim 9.25.4** : 2024 T351 - ER4043 AISi5 Kaynak elektrotu kullanıldı.

2024 T351 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı.



**Resim 9.25.5** : 2024 T351 - ER4043 AISi5 Kaynak elektrotu kullanıldı. Isıl işlem uygulandı.

2024 T351 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. Isıl işlem şartı yukarıdaki resimde anlatıldı.



**Resim 9.25.6 :** 7075 T651 - ER5356 AlMg5 Kaynak elektrotu kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. 7075 T651 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. Isıl işlem şartı yukarıdaki resimde anlatıldı.



**Resim 9.25.7 :** 7075 T651 - ER5356 AlMg5 Kaynak elektrotu kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. 7075 T651 - Kendi malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Isıl işlem uygulandı. Isıl işlem şartı yukarıdaki resimde anlatıldı.



## 9.13. EĞME DENEYİ

**EĞME DENEYİ YAPILAN ALAŞIMLAR : 2024 T351 VE 7075 T651**

**EĞME DENEYİ GÖZLEMLDİĞİMİZ NOKTALAR : KAYNAK BÖLGESİ VE CEVRESİ**

### 9.13.1. Giriş

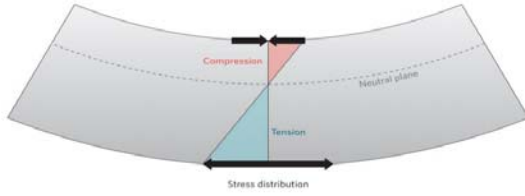
Eğme deneyi malzemenin mukavemeti hakkında bilgileri belirlemek ve malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmek amacı ile yapılır. Enine yük taşıyan kiriş gibi elemanlar eğilmeye maruz kalırlar. Kirişin her bir bölgesinde eğilme momentleri meydana gelir. Buda eğilme gerilmesi ile alakalıdır. Klasik eğilme denklemlerin geçerli olması için malzemenin homojen ve Hook Kanunlarına uyması gerekir.

Eğme deneyi TSE 'nin TS 205 tanımlarına bakılacak olursa, iki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının yön değiştirmeksizin ortasına bir kuvvet uygulandığında oluşan biçim değişikliği olarak tanımlanır. Bizim deneyimizde daire kesit kullanılmıştır.

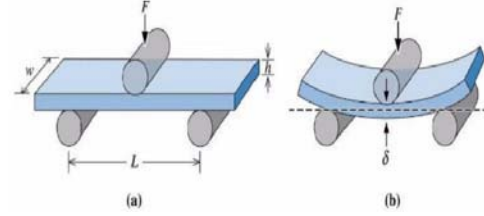
### 9.13.2. Hesaplamalar

Eğme deneyi sonucunda Momenti, Eğilme gerilmesi, Elastisite modülü ve Sehim miktarı gibi değerler hesaplanır. Bu deney genellikle kırılğan ve gevrek malzemeler için yapılır.

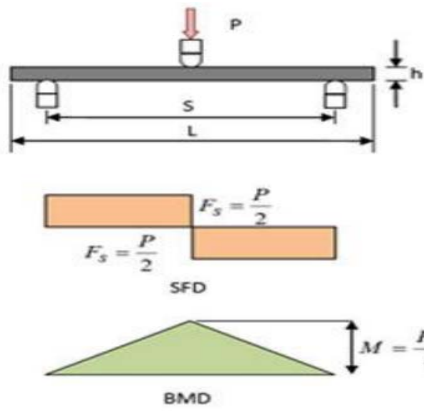
Deney numunesine bir kuvvet uygulandığında , numune kesitinin bir kısmında basma gerilmesi, kesitin geri kalan kısmında çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi iç yüzeye yakın bölgede basma gerilmeleri , dış yüzeye yakın bölgede ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir.



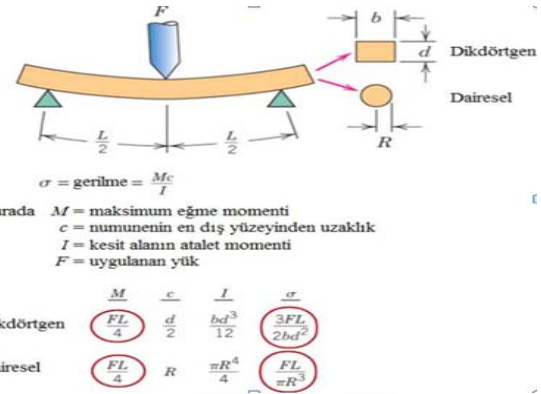
Şekil 9.7. Eğilme Halindeki Çubuk Üzerindeki Gerilme Dağılımı



Şekil 9.8. Nokta Eğme Deneyi Düzenegi



Şekil 9.9. 3 nokta için serbest cisim diyagramı



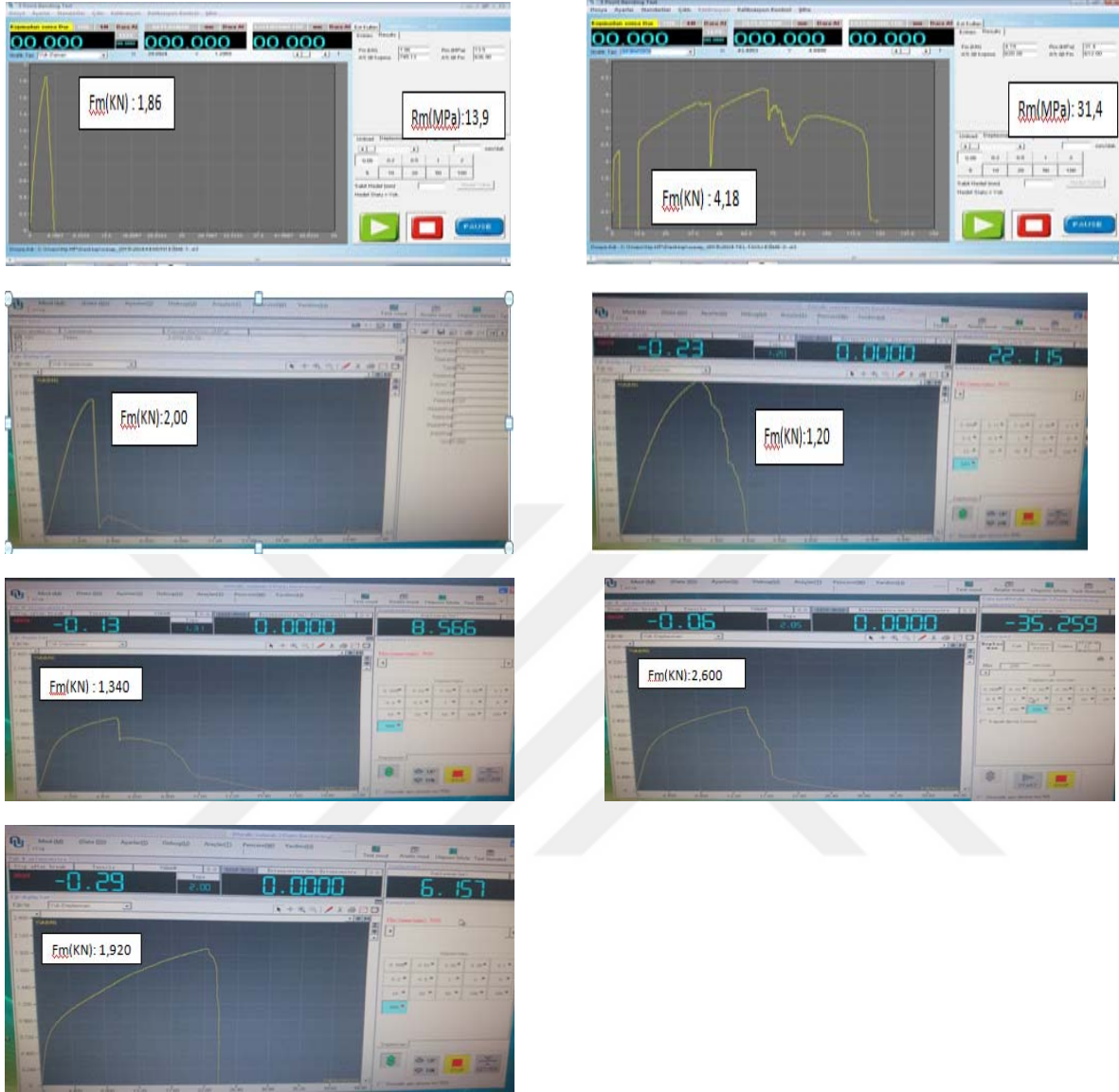
Şekil 9.10. Eğilme deneyi sonucunda malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli formüller.

### 9.13.3. Deneyin Uygulanması

Eğilme deneyi çekme cihazında aşağıdaki işleme sırasına göre yapılır.

- 1.) Eğilme düzeneği olarak kullanılan iki mesnet tabla üzerine, yüklenme bloğu denilen mandrel ise cihazın üst kısmına yerleştirilir.
- 2.) Bu düzenekte mandrel çapı ve mesnetlerin çapı , kullanılacak malzemeye göre ve bu malzemeye ait olan standarda uygun olarak seçilir.
- 3.) Mesnetler arası açıklık standartlara uygun ayarlanır ve numunenin kesit ölçüleri ile birlikte mesnetler arası mesafe de kumpasla ölçülerek kaydedilir.
- 4.) Düzenek ayarlandıktan sonra mesnetler üzerine numune yerleştirilir ve numune yükün uygulandığı mandrel yardımı ile eğilir.
- 5.) Deney sonucunda numunenin kırıldığı andaki maksimum yükünü Fmax ve eğilme miktarı B değerleri kaydedilir

**Tablolar 9.13.** Eğme Denei Verileri ve Grafikleri



**Resimler 9.26. EĞME DENEYİ - PARCALARIN EĞİLME YERLERİ VE EĞİLME ŞEKİLLERİ**

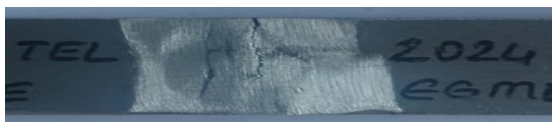
**Resim 9.26.1. :** 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

ER4043 – AISi5 kaynak elektrotu, kullanıldı. Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi, sonrasında malzeme fırında bekletilip soğutuldu. Arel Üniv. Lab.



**Resim 9.26.2. :** 2024 T351 - Alüminyum Alaşımı

ER4043 – AISi5 kaynak elektrotu, kullanıldı. Uludağ Üniversitesi Laboratuvarı





**Resim 9.26.3. :** 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı  
ER5356 – AlMg5 kaynak elektrotu, kullanıldı. Uludağ Üniversitesi Laboratuarı



**Resim 9.26.4. :** 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı  
ER5356 – AlMg5 kaynak elektrotu, kullanıldı. Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırında soğutuldu, sonrasında malzeme fırından çıkartılıp dışarıda soğutuldu . Uludağ Üniversitesi Laboratuarı



**Resim 9.26.5. :** 7075 T651 - Alüminyum Alaşımı  
Kendi Malzemesi, kaynak elektrotu olarak kullanıldı. Tavlı malzemedir. Bu malzeme, 415 °C sıcaklığa ısıtıldı. 415 °C da 3 saat bekletildi. 260 °C ye kadar fırında soğutuldu, sonrasında malzeme fırından çıkartılıp dışarıda soğutuldu. Uludağ Üniversitesi Laborat.



**Tablo 9.8. 7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMI CENTİK DARBE DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		Kaynak Noktası	ITAB	TAVLI	Ölçülen Joule	Hesaplanan joule/cm <sup>2</sup>
		ELEKTROT	KENDİSİ					
1	7075	X		X		X	9,2	13,73
2	7075	X		X		X	31	41,18
3	7075	X		X			12,6	17,5
4	7075	X			X		20,1	27,16
5	7075		X		X		14,7	22,96
6	7075		X		X	X	17,08	25,07
7	7075		X	X		X	8,8	11,42

**Tablo 9.9. 2024 T351 ALÜMİNYUM ALAŞIMI CENTİK DARBE DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		Kaynak Noktası	ITAB	TAVLI	Ölçülen Joule	Hesaplanan joule/cm <sup>2</sup>
		ELEKTROT	KENDİSİ					
1	2024	X		X			13,33	8,8
2	2024	X			X	X	29,83	18,5
3	2024	X			X		12,46	9,6
4	2024		X		X	X	18	13,4
5	2024		X		X	X	25,57	15,6
6	2024		X	X			10,35	5,9
7	2024		X	X			5,3	6,7

**Tablo 9.10 . 7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMI ( - 45 DERECE ) CENTİK DARBE DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		Kaynak Noktası	ITAB	TAVLI	Ölçülen Joule	Hesaplanan joule/cm <sup>2</sup>
		ELEKTROT	KENDİSİ					
1	7075	X		X		X	12,8	17,06
2	7075	X		X		X	18,3	26,14
3	7075		X	X		X	4,7	6,35

**Tablo 9.11 . 2024 T351 ALÜMİNYUM ALAŞIMI ( - 45 DERECE ) CENTİK DARBE DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		Kaynak Noktası	ITAB	TAVLI	Ölçülen Joule	Hesaplanan joule/cm <sup>2</sup>
		ELEKTROT	KENDİSİ					
1	<b>2024</b>	X		X		X	7,9	10,97
2	<b>2024</b>		X	X			22,16	23,57
3	<b>2024</b>		X	X		X	5.70	7.40

**Tablo 9.12. 7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMI - EĞME DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		TAVLI	Ölçülen
		ELEKTROT	KENDİSİ		
1	7075	X		X	1.300
2	7075	X			2.800
3	7075		X	X	1.950
4	7075		X	X	2.000

**Tablo 9.13. 2024 T351 ALÜMİNYUM ALAŞIMI - EĞME DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		TAVLI	Ölçülen
		ELEKTROT	KENDİSİ		
1	2024	X			1,200
2	2024		X	X	1,910
3	2024		X	X	1,850

Numunelerin hepsi EĞME DENEYİ sonucu KAYNAK NOKTALARINDAN kırılmıştır.

**Tablo 9.14. 7075 T651 - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - ÇEKME DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm Sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		Isıl İşlem	F ( KN )	CEKME DAYANIMI Rm ( MPa)
		ELEKTROT	KENDİSİ			
1	7075	X			32,93	130,1
2	7075	X			10,91	46
3	7075	X		X	24,00	88,7
4	7075	X		X	29,04	108,1
5	7075		X	X	29,07	103,5
6	7075		X	X	23,69	93,4
7	7075		X		30,00	114,8

**Tablo 9.15. 2024 T351 - ALÜMİNYUM ALAŞIMI - ÇEKME DENEYİ VERİLERİ**

Ölçüm Sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Malzemesi		Isıl İşlem	F ( KN )	CEKME DAYANIMI Rm ( MPa)
		ELEKTROT	KENDİSİ			
1	2024	X			27,64	105,8
2	2024	X			22,66	82,4
3	2024	X		X	31,70	112,8
4	2024	X		X	33,5	127,5
5	2024		X	X	29,65	118,2
6	2024		X	X	24,69	89,7
7	2024		X		36,72	147,3
8	2024		X		30,59	118,7

**7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMI - ÖLCÜLEN VICKERS SERTLİK DEĞERLERİ VE ORTALAMALARI**

Ölçü Sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Tel	Malzemesi Kendisi	Üst	Alt	Üst ITAB	Alt ITAB	Üst ITAB	Alt ITAB	Malzeme Bölgesi	Malzeme Bölgesi	Kaynak Noktası	ITAB Bölgesi	Malzeme Bölgesi
				Kaynak	Kaynak	Kaynak	Kaynak	Kaynak	Kaynak					
1	7075	X		331	306	289	314	279	294	305	290	318,5	294	297,5
2	7075	X		304	304	318	275	290	288	294	297	304	292,75	295,5
3	7075		X	336	279	258	269	264	266	298	300	307,5	264,5	299
4	7075		X	285	279	277	268	282	274	295	287	282	275,25	291

**2024 ALÜMİNYUM ALAŞIMI - ÖLCÜLEN VICKERS SERTLİK DEĞERLERİ VE ORTALAMALARI**

Ölçü Sayısı	Malzeme Alaşımı	Dolgu Tel	Malzemesi Kendisi	Üst	Alt	Üst ITAB	Alt ITAB	Üst ITAB	Alt ITAB	Malzeme Bölgesi	Malzeme Bölgesi	Kaynak Noktası	ITAB Bölgesi	Malzeme Bölgesi
				Kaynak	Kaynak	Kaynak	Kaynak	Kaynak	Kaynak					
1	2024	X		353	402	270	265	272	255	247	257	377,5	265,5	252
2	2024	X		332	324	267	253	250	251	249	269	328	255,25	259
3	2024		X	296	290	254	259	256	261	274	268	293	257,5	271
4	2024		X	307	299	257	280	264	277	252	250	303	269,5	251

# 10. BÖLÜM

## SONUÇ

### 10.1. ÇENTİK DARBE DENEYİ VERİLERİNİN YORUMLANMASI

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Çentik darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesindeki gerilimin konsantrasyonunun ( gerilim birikiminin) darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır.

1.) 7075 T651 Alüminyum Alaşımlarının laboratuvar ölçüm değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum 7075 alüminyum alaşımlarının daha sert ve tok olduğunu göstermektedir. Kırılmaya karşı malzemeyi daha dirençli yapmaktadır. Malzemenin kırılmaya karşı gösterdiği direnç Tokluk hakkında bize bilgi vermektedir. Dolayısıyla 7075 T651 serisi alüminyum alaşımı sert bir alaşım olup tok bir malzemedir diyebilir.

Ölçülen deney verileri ortalaması : 7075 T651 serisi ortalama : 22.717 Joule / cm<sup>2</sup>

Ölçülen deney verileri ortalaması : 2024 T351 serisi ortalama : 11.21 Joule / cm<sup>2</sup>

2.) 7075 T651 Alüminyum alaşımlarının Çentik darbe deneyinde tavlınmış deney numunelerine baktığımızda tokluk özelliklerin iyileştiği, sertlik mukavemetlerinin arttığı görülmektedir.

Ölçülen deney verileri ortalaması :

2024 T351	TAVLI	MAKSİMUM	18,5	Joule/cm <sup>2</sup>
		MİNİMUM	15,6	Joule/cm <sup>2</sup>

2024 T351	-	MAKSİMUM	8,8	Joule/cm <sup>2</sup>
		MİNİMUM	5,9	Joule/cm <sup>2</sup>

7075 T651	TAVLI	MAKSİMUM	27,16	Joule/cm <sup>2</sup>
		MİNİMUM	25,07	Joule/cm <sup>2</sup>

7075 T651	-	MAKSİMUM	17,5	Joule/cm <sup>2</sup>
		MİNİMUM	11,42	Joule/cm <sup>2</sup>

7075 alüminyum alaşımının kırılma dayanımı , 2024 alüminyum alaşımına göre daha yüksektir.

3.) 2024 T351 Alüminyum Alaşımları daha küçük bir kuvvet yardımıyla kırıldığı görülmektedir. Bu malzemenin daha gevrek olduğunu bize gösterir. Gevreklik bilindiği üzere kırılmaya karşı malzemenin gösterdiği direnç olarak tanımlamaktayız. 2024 T351 daha gevrek bir malzeme profili çizerken ,gevreklik malzemeye daha sünek bir yapı kazandırmaktadır. Sünekliliği şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlamaktayız.

4.) 2024 T351 alüminyum alaşımı , 7075 T651 serisine göre daha sünek ve esnek bir malzeme olarak tanımlayabiliriz.

5.) Malzememizin alaşım serisi fark etmeksizin, malzemenin tavllanmış olması, mukavemet değerlerini olumlu yönde değiştirmektedir.

6.) Alüminyum alaşım metalimizin, elektrot telleri ve kendi malzemesi ile yapılan TIG kaynaklı birleştirmede kaynak özelliklerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Kendi elektrot telleri ile yapılan kaynaklı birleştirme ile kendi malzemesi ile yapılan kaynaklı birleştirme arasında fark yok denecek kadar azdır. Bu durum kendi kaynak elektrotu yerine malzemenin kendisi ile kaynak yapılabileceği gerçeğini bize sunar.

7.) Alüminyum alaşımımızın -45 dereceye soğutulmuş yapıldığımız Çentik darbe deneyinde mukavemet değerlerinin bir miktar daha arttığı gözlenmiştir.

8.) ITAB noktasında açılan çentikli numunelerin eğme dirençleri daha iyi çıkmıştır.

9.) Kaynak noktasından açılan çentikli numunelerin eğme dirençleri daha düşük çıkmıştır. Kaynak noktasında açılan çentiğin , zayıf olan kaynak noktasını büsbütün zayıflattığı görülmüştür.

## 10.2. EĞME DENEYİ VERİLERİNİN YORUMLANMASI

Eğme deneyi malzemenin mukavemeti hakkında tasarım bilgilerini belirlemek ve malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmek amacı ile yapılır. Malzemenin maruz kaldığı yük altında plastik deformasyona uğrama kabiliyetini tayin etmek için kullanılan bir metot dur.

1.) 7075 T651 ve 2024 T351 alüminyum alaşımlarında numunelerin hepsi kaynaklı birleştirme noktalarından kırılmıştır.

2.) Alaşımın kendi elektrot teli veya kendi alaşımı ile kaynak edilmiş olması sonucu değiştirmemiş bütün numuneler kaynak noktasından kırılmıştır. Bu durum her iki alaşım serisinin kaynaklı birleştirme için uygun olmadığı sonucunu çıkarır.

3.) Eğme deneyi malzemenin gevrekliği ve kırılabilirliği hakkında bize bilgi verir. 7075 serisi 2024 serisi' de yaklaşık aynı değerler içerisinde kırılmıştır. Bu durum her iki serisinde kaynaklı birleştirmeye uygun olmadığı tezini bize doğrulamaktadır.

## 10.3. ÇEKME DENEYİ VERİLERİNİN YORUMLANMASI

Malzemenin stabil bir kuvvet altında deforme olup şekil ve boyut değişikliği hakkında bize verir.

1.) 7075 T651 serisinin kaynaklanabilir özelliğinin düşük olması , kaynak noktasında daha hızlı deforme olup kopmasına sebep olmuştur.

2.) 2024 T351 serisinin kaynakla bilir özelliği bir miktar daha iyidir. Bu çekme deneyi verilerine de yansımıştır.  $R_m$  (MPa) : Çekme Dayanımı

\*\* 2024 serisinde ortalama değeri  $R_m$  : 112,8

\*\* 7075 serisinde ortalama değeri  $R_m$  : 97,8 dir.

2024 serisinin çekme deneyi verileri daha yüksek çıkmıştır. Bu durum kaynak kabiliyetinin çok iyi olmasa da 7075 e göre bir miktar daha iyi olduğu sonucunu çıkarmıştır.

3.) Malzeme alaşım serisi 7075 veya 2024 ; her iki alaşım serisine tavlama yapılmış olması mekanik ve mukavemet özelliklerini iyileştirdiği sonucunu bize göstermiştir.

4.) Alaşımlarımızın kendi kaynak elektrotları ile yapılan kaynak ile kendi malzemesi ile yapılan TIG kaynağının mukavemeti arasında büyük bir fark saptanmamıştır. Dolayısıyla alaşım serilerimizin kendi malzemesiyle kaynak yapılmasında sakınca gözükmemektedir.

5.) 2024 serisinde ortalama değer  $F$  (KN) : 29,663 ,

7075 serisinde ortalama değer  $F$  (KN) : 25,76 dir.

Bu durum 2024 serisinin daha büyük kuvvetler altına deforme olduğunu gösterir. 2024 serisinin şekil ve boyut değişikliği daha büyük kuvvetler altında olmaktadır.

7075 serisinde ise daha küçük kuvvetler altında şekil ve boyut değişimi olmaktadır.

Bu durum 2024 serisinin darbesiz yük altında çalışacağı ortam şartlarında daha iyi mukavemet özelliği sağlayacağını göstermiştir.

#### 10.4. VICKERS SERTLİK DENEYİ VERİLERİNİN YORUMLANMASI

Deney verilerinin ortalama değerleri

**7075 T651 serisi :**

Elektrot Teli	Kaynak Noktası	96,5
Elektrot Teli	ITAB Bölgesi	109,5
Elektrot Teli	Malzeme Bölgesi	106

Elektrot Kendisi	Kaynak Noktası	109
Elektrot Kendisi	ITAB Bölgesi	129
Elektrot Kendisi	Malzeme Bölgesi	107

**2024 T351 Serisi :**

Elektrot Teli	Kaynak Noktası	76,5
Elektrot Teli	ITAB Bölgesi	138
Elektrot Teli	Malzeme Bölgesi	142,5



Elektrot Kendisi	Kaynak Noktası	105
Elektrot Kendisi	ITAB Bölgesi	135
Elektrot Kendisi	Malzeme Bölgesi	137

- 1.) ITAB bölgesindeki sertlik verileri , diğer bölgelere göre daha sert çıkmıştır.
- 2.) 2024 T351 Alüminyum Alaşımı diğer alaşım 7075 T651 Alüminyum Alaşımına göre kaynaklanabilir özelliğinin daha iyi olmasından dolayı , kaynak bölgesindeki mukavemet özellikleri bir miktar daha iyi sonuç vermiştir.
- 3.) Alüminyum Alaşımlarının kendi elektrot teli ile yapılan kaynaklı birleştirmede kaynak noktası sertliği daha düşük çıkmıştır.
- 4.) Alüminyum Alaşımlarının kendi metali ile yapılan kaynaklı birleştirmede kaynak noktası sertliği yüksek çıkmıştır.

#### **10.5. MİKROSERTLİK FOTOGRAFLARININ YORUMLANMASI**

- 1.) Kaynak noktasında , yüksek ısının etkisi ile çökelti minimum düzeydedir.
- 2.) ITAB noktasında ( kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ) yüksek ısının etkisi azaldığı için çökelti görülme başlanmıştır.
- 3.) Malzeme bölgesine gelindiğinde ise kaynak noktasında iyice uzaklaşıldığından dolayı çökelti miktarı artmıştır.
- 4.) Kaynak noktasında dendirik yapılar gözlenmektedir. Kaynak noktasından uzaklaştıkça dendiritik yapılar gözle görülür şekilde azalmaktadır.
- 5.) 7075 T651 ve 2024 T351 Alüminyum Alaşımında kendi malzemesi ile yapılan kaynak noktasında dendiritik yapılar daha büyüktür.
- 6.) 7075 T651 ve 2024 T351 Alüminyum Alaşımında elektrot teli ile yapılan kaynak noktasında dendiritik yapılar daha küçüktür.
- 7.) Kaynak noktasında dendirik yapılar daha küçük bir alanda sık olarak bulunurken , ITAB bölgesinde büyümüş ve daha geniş bir alana yayılmış olarak görülmektedir.

#### **10.6. MAKROSERTLİK FOTOGRAFLARININ YORUMLANMASI**

- 1.) Alüminyumun ısı iletim özelliğinin yüksek olmasından dolayı , kaynak noktasındaki yüksek ısının daha düşük bölgeye doğru kaçma isteği , ITAB bölgesinde kendisini göstermektedir.
- 2.) Alüminyum alaşımının kendi elektrotu ile yapılan kaynakta , kaynak noktasında , ITAB Bölgesine ısı geçişinin daha dar olduğunu görmekteyiz. ( kaynak elektro t telinde, yüksek ısının etkisi ile buharlaşma )
- 3.) Alüminyum alaşımının kendi malzemesi ile yapılan kaynakta, kaynak noktasında , ITAB Bölgesine ısı geçişinin daha geniş olduğunu görmekteyiz.
- 4.) 2024 T351 Alüminyum Alaşımında ısı geçişleri , kimyasal kompozisyonunda Cu 'nun olması nedeniyle daha net görülmektedir.
- 5.) 7075 T651 Alüminyum Alaşımında ısı geçişleri , kimyasal kompozisyonunda Zn 'nin olması ısıyı diğer alaşım grubuna göre kendi içinde absorbe ettiği görülmektedir.

# 11. BÖLÜM

## KAYNAKLAR

### 1. BÖLÜM ( GİRİŞ )

- [ 1 ] Aylin Konez, Hikmet Alagöz, Serra Topal, Müfit Gülgeç, Mühendis ve Makine, Cilt 46 – Sayı 547
- [ 2 ] Hikmet Alagöz, Müfit Gülgeç, Aylin Konez, Mühendis ve Makine, Mayıs 2004, sayı 532  
Malzeme Teknolojileri
- [ 3 ] Malzeme Teknolojileri Strateji Grubu
- [ 4 ] Havacılık ve Uzay Uygulamalarında Şekil Hafızalı Alaşımlar , Emre Acar, Tuğrul Oktay ,  
Ömer Halis Demir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 7, SAYI 2 ( 2018 ) 335 – 349
- [ 6 ] Mekanik Özellik ve Kesme Geometrisinin Alüminyum Alaşımları 2024 Alaşımının  
İşlene bilme özelliklerine Etkileri, Yusuf Özçatal , Bayram Aydın, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim  
Fakültesi, 30.12.2005
- [ 7 ] Uçak Yapımında Kullanılan Malzemeler ve Özelliklerinin İncelenmesi , Kerem Altuğ Güler,  
Yıldız Teknik Üniversitesi , Kimya - Metalurji Fakültesi , Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  
Bölümü, Bitirme Tezi
- [ 8 ] 7075 Alüminyum Alaşımlarının Sertlik ve Aşınma Davranışlarının Etkisi , Ramazan Yılmaz ,  
Dursun Özyürek, Erkan Kibar, Sakarya Üniversitesi , Teknoloji Fakültesi , İmalat Mühendisliği  
Bölümü, Karabük Üniversitesi , Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü , 14.10.2011
- [ 9 ] Alüminyum Alaşımı 2024 Alüminyum Alaşımında Mekanik Özelliklere Etkisi, Yılmaz Güven,  
Yunus Emre Delikanlı, Süleyman Demirel Üniversitesi , Mühendislik Fakültesi , Makine  
Mühendisliği Bölümü , Teknik Bilimler Dergisi , 2012
- [ 10 ] RRA İşleminde Yeniden Çözeltilmeye Alma Parametrelerinin 7075 Alüminyum Alaşımlarının  
Çekme Dayanımına Etkisi, Dursun Özyürek, Ramazan Yılmaz, Erkan Kibar, Karabük Üniversitesi ,  
Teknoloji Fakültesi , İmalat Mühendisliği Bölümü , Karabük , Sakarya Üniversitesi , Teknoloji  
Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü , Sakarya , 14.10.2011
- [ 11 ] Alüminyum Alaşımı 2024 Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Parametrelerinin Mekanik  
Özelliklere Etkisi , Pamukkale Üniversitesi , Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 18, Sayı 1. 2012 ,  
Adnan Akkurt, Aydın Şık , İsmail Ovalı , Gazi Üniversitesi , Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü ,  
Hacettepe Üniversitesi , Makine Resim Konstrüksiyon Bölümü
- [ 12 ] Farklı Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Kaynatılması ve Mekanik  
Özelliklerinin İncelenmesi Mehmeay Ayvaz, Hakan Çetinel, Celal Bayar Üniversitesi , Mühendislik  
Fakültesi , Makine Mühendisliği Bölümü , 7.11.2011 – 39-46
- [ 13 ] Alüminyum Alaşımları, Tanıtılması ve Özellikleri, Yasin Burak Arslan

- [ 14 ] Deformasyon Yaşlanması AA7075 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, K. Gülerüz, r. Kaçar, Karabük Üniversitesi
- [ 15 ] Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Seçimi , Mustafa Yurdakul , Oğuz Özbay, Yusuf Tansel İç , Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bölümü , Makine Mühendisliği Bölümü , Cilt 17, No 2, 1 – 23, 2002
- [ 16 ] Prof.Dr. Hüseyin Uzun , Sakarya Üniversitesi , Mühendislik Fakültesi , Makine Mühendisliği Bölümü – ders notları
- [ 17 ] Savunma Sanayinde , Uçak ve avacılık Sektöründe Kaynak Yöntemlerinin incelenmesi, Doç.Dr. Ege Üniversitesi , Mühendislik Fakültesi , Makine Mühendisliği Bölümü ,Atınc Eryavuz Makine Mühendisleri Odası , İzmir Şubesi , Makale , 03.02.2016
- [ 18 ] Farklı Alüminyum Alaşımlarının, Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi , Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Fakültesi , Ali Yürük, Nizamettin Kahraman , 4(2016) 894-901
- [ 19 ] Prof.Dr. Özgül Keleş - İTÜ - Malzeme Bilimi Ders Notları
- [ 20 ] Tülomsaş Deneysel Laboratuvarı, Kaynaklı Malzemeler İçin Deneysel Numune Hazırlama Föyleri
- [ 21 ] İTÜ Doktora Tezi - Al-Cu Bileşiklerinin Üretimi , Erdem Arpat
- [ 22 ] Hadde Alüminyum Alaşımlarının Uçaklarda Kullanılması, Kubilay Çoşkun, Yüksek Lisans Tezi
- [ 23 ] Talsad - Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği
- [ 24 ] İTÜ - Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi
- [ 25 ] Alüminyum Alaşımlarının Kodlanması , Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, Toksan , Tanya Ayçan Başer
- [ 25 ] Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi , Fen Mühendislik Dergisi , TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş 2024 Alüminyum Alaşımının Kaynak Bölgesinin Çökme Sertleşmesi Bakımından İncelenmesi , Enver ATİK , Cevdet Meriç , Atilla Şahan , Cilt 3, Sayı 3, 75 83 Ekim 2001
- [ 26 ] X. Kaynak Teknoloji Ulusal Kongre Ve Sergisi, Bildirimler Kitabı
- [ 27 ] İTÜ Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Edilmesi - Cengiz Sevinç - Haziran 2002 – Yüksek Lisans Tezi
- [ 28 ] Aydoğan , A., 2000 Uçak Endüstrisinde Kullanılan Metal ve Metal Dışı Malzemeler ve Bu Malzemelerin Muayene Yöntemleri , Kayseri III. Havacılık Sempozyumu , Kayseri , 10 – 12 Mayıs
- [ 29 ] Megson, T.H.G., 1999. Aircraft Structures For Engineering Students, John Wiley / Sons Inc , New York.
- [ 30 ] Chun, M., NIU, Y., 1990 Airframe Structural Design , Conmilt Press California.
- [ 31 ] Zincir Seyfi “ Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımları ve Özellikleri , İ.T.Ü Bitirme Tezi

## 2. BÖLÜM ( ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ )

- [ 1 ] Smith , 2001
- [ 2 ] Zeytin , 2000
- [ 3 ] [www.world-aluminium.org](http://www.world-aluminium.org)
- [ 4 ] Malzeme ve metalurji mühendisi - Yasin Burak Arslan
- [ 5 ] Key to metals, , Serdar Korkut - published Mayıs 2017 - Updated 19 Ağustos 2018
- [ 6 ] Alüminyum Alaşımları ve Üretim Yöntemleri - MalzemeBilimi.Net  
<https://malzemebilimi.net> › Malzeme Bilimi
- [ 7 ] 7075, 6061 Ve 2024 Alüminyum Alaşımlarının ... - DergiPark  
[Dergipark.gov.tr/download/article-file/362582](http://Dergipark.gov.tr/download/article-file/362582)
- [ 8 ] 7075 – 3EN Alüminyum - 3enaluminyum.com.tr/7075-2/
- [ 9 ] Alüminyum Alaşımların Mekanik Özellikleri | GEBZE TEKNİK ... - WEB  
[web.gtu.edu.tr/aluminyum/2016/02/08/aluminyum-alasimlarin-mekanik-ozellikleri/](http://web.gtu.edu.tr/aluminyum/2016/02/08/aluminyum-alasimlarin-mekanik-ozellikleri/)
- [ 10 ] Alüminyum Levha ve Alaşımları - Güray Alüminyum  
<https://gurayaluminyum.com.tr/aluminyum-levha-ve-alasimlari/>
- [ 11 ] Yüksek Lisans Tezi  
[acikerisim.pau.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11499/.../Ali%20Tekin%20Güner.pdf?...](http://acikerisim.pau.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11499/.../Ali%20Tekin%20Güner.pdf?...)
- [ 12 ] yeniden çözeltilmeye alma parametrelerinin 7075 alüminyum ...  
[www.mmfdergi.gazi.edu.tr/article/view/1061000542](http://www.mmfdergi.gazi.edu.tr/article/view/1061000542)
- [ 13 ] Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075/SiCp kompozitlerin sertlik ve korozyon ...  
[www.dicle.edu.tr/muhendislikdergisi/cilt8sayi4/MD-17-025.pdf](http://www.dicle.edu.tr/muhendislikdergisi/cilt8sayi4/MD-17-025.pdf)
- [ 14 ] İTÜ Akademik Açık Arşiv: Tezler  
<https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/3>
- [ 15 ] E-Tezler | ODTÜ Kütüphanesi – METU- <https://lib.metu.edu.tr/tr/e-kaynaklar-e-tezler>
- [ 16 ] Açık Arşiv Ana Sayfası - Marmara Üniversitesi - [dspace.marmara.edu.tr/](http://dspace.marmara.edu.tr/)
- [ 17 ] Ege Üniversitesi Acik Erisim Sistemi: Home  
[acikerisim.ege.edu.tr/](http://acikerisim.ege.edu.tr/)
- [ 18 ] [www. Aluminyumsanayi.com](http://www.Aluminyumsanayi.com)
- [ 19 ] Assan Alüminyum -<https://www.assanaluminyum.com/tr-tr/surdurulebilirlik/her-yonuyle-aluminyum>

[ 20 ] Prof.Dr. Ayşegül Akdoğan Eker

### **3. BÖLÜM ( 2024 - T351 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMI )**

[ 1 ] Seykoç Alüminyum

[ 2 ] Assan Alüminyum

[ 3 ] Varzene Alüminyum

[ 4 ] İnci Alüminyum

[ 5 ] Bodycote Alüminyum

[ 6 ] Alsan Alüminyum

[ 7 ] Ankara Metal

[ 8 ] Aluhan Metal

[ 9 ] Teknocast Alüminyum

[ 10 ] ASHBY Diyagramları

[ 11 ] metaluzmanı.com - Metal ve Kaynak Teknolojileri

[ 12 ] Tags : Alüminyum İmalat Mühendislik

[ 13 ] Yıldız Teknik Üniversitesi – Doç. Dr. Kerem Altuğ Güler

### **4. BÖLÜM ( 7075 - T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMI )**

[ 1 ] Seykoç Alüminyum

[ 2 ] Assan Alüminyum

[ 3 ] Altek Metal

[ 4 ] Gönenc Alüminyum

[ 5 ] Referans Metal

[ 6 ] Serba Metal

[ 7 ] Empo Alüminyum

[ 8 ] Quantum Alüminyum

[ 9 ] RRA işleminin 7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi - itüdergisi  
[itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi\\_d/article/view/733/669](http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/view/733/669)

[ 10 ] Yıldız Teknik Üniversitesi – Doç. Dr. Kerem Altuğ Güler

## 5. BÖLÜM ( KAYNAK ÖNCESİ ALÜMİNYUM TEMİZLİĞİ )

- [ 1 ] As kaynak
- [ 2 ] Gedik kaynak
- [ 3 ] Miller kaynak
- [ 4 ] Lincoln Kaynak , USA
- [ 5 ] ESAB kaynak
- [ 6 ] Oerlikon kaynak

## 6. BÖLÜM ( TIG KAYNAĞI )

- [ 1 ] <https://www.metalurjimalzeme.net/kaynak-muhendisligi/>
- [ 2 ] Askaynak - Alüminyum Ve Alaşımlarının Kaynağı
- [ 3 ] Aluminum and Aluminum Alloys Welding Handbook, Vol – 3, Part – 1  
AWS Yayınları, 8. Edition ( 1996 )
- [ 4 ] “ Welding Aluminum and Aluminum Alloys ” The Procedure Handbook of Arc Welding,  
Part – 9 Lincoln Electric Yayınları, 13 Edition ( 1994 )
- [ 5 ] “ Choosing Aluminum Wire ” Frank G. Armao, Lincoln Electric Co. Web Sitesi ( 2002 )
- [ 6 ] <https://www.metalurjimalzeme.net/aluminyum-kaynagi/>
- [ 7 ] <https://www.youtube.com/watch?v=-PbRTEtcX3Q>
- [ 8 ] Fronius International GmbH/Ar-Ge Merkezi Thalheim/Avusturya.
- [ 9 ] Soğuk metal transferi (CMT/Cold metal transferi), Fronius mühendislerince geliştirilmiş bir proses olup, bildiride sunulan tüm veriler Fronius International GmbH şirketine aittir.
- [ 10 ] metaluzmanı.com - Orhan baylan - TIG Kaynağı - 30 nisan 2015
- [ 11 ] Yükler, İ., “ Alüminyum Alaşımlar ve Isıl İşlemleri ” İstanbul , 150 – 200 ( 2000 )
- [ 12 ] Şaldır, r., “ Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti ” , Yüksek Lisans Tezi , Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul ( 2003 )
- [ 13 ] Akça, H., “ TIG Yöntemiyle Kaynak Edilen Alüminyum ve Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi ” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul , ( 2006 )
- [ 14 ] Anık , S., “ Makine Mühendisliği El Kitabı Üretim ve Tasarım, Kaynak Teknolojisi ” A. Cerit ( Der. ) TMMOB Makine Mühendisleri Odası , 2, 222s., 1996
- [ 15 ] Timaç. G., “ Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemiyle

Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi “ Yüksek Lisans Tezi , Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul, 2006

[ 16 ] Lincoln Electric - Super Glaze - Alüminyum Kaynak Telleri

[ 17 ] <https://malzemebilimi.net/tig-argon-kaynagi.html> - Fronius International GmbH/Ar-Ge Merkezi Thalheim/Avusturya.

[ 18 ] <http://www.metaluzmani.com/tig-kaynagi-sematik-gosterim-ve-ozet-bilgi/>

[ 19 ] <http://www.metaluzmani.com/baglanti-tipine-gore-tig-kaynak-torcu-acilari/>

[ 20 ] <http://www.mesanark.com/elektrotlu-ark-kaynagi-hakkinda-teknik-bilgi.asp>

[ 21 ] <http://www.teknikbelgeler.com/dokuman/belge/kaynakegitimnotlari.pdf> - Kaynak Eğitim Notları

[ 22 ] Sakarya üniversitesi – Prof.Dr. Ramazan Yılmaz – Teknik Eğitim Fakültesi  
[http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/71940/39466/kaynak hatalar%C4%B1\\_1.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/71940/39466/kaynak hatalar%C4%B1_1.pdf)

[ 23 ] Gesbey Wind Steel

## 7. BÖLÜM ( ISIL İŞLEM )

[ 1 ] Akdoğan, A., 2008,

[http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum\\_ve\\_Aluminyum\\_Alasimlari.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf),  
(Erişim Tarihi: 26.03.2012)

[ 2 ] Geçkinli A.E. , 2002, Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi, 2. Isıl İşlem Sempozyumu CD’ si, 07-08 Şubat , Maçka-İstanbul.

[ 3 ] <http://eyupyaylaci.com/malzemelerde-cokelmesertlesmesi/>, (Erişim Tarihi: 20.02.2011)

[ 4 ] Savaşkan, T., 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Beta Basım A.Ş., Trabzon. 111-112

[ 5 ] Su, Ş., 1988. 2XXX Grubu Alaşımlarda Katı Eriyiğe Alma Sıcaklık ve Süresinin Yaşlanma Sonrası Özelliklere Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya. 19 s.

[ 6 ] Tayanç, M., Zeytin, G., 1998, Yaşlandırma Koşullarının 6063 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, TMMOB Metalurji Müh. Odası, 1. Isıl İşlem Sempozyumu, İ.T.Ü., Maslak-İstanbul, 63

[ 7 ] Tekin, E., 1984, Demirdışı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi, II.Baskı, SEGEM Yayın No: 101, Ankara, 397

[ 8 ] Yılmaz, B., 2002. Alüminyum Alaşımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 23s.

[ 9 ] Prof dr. Hatem akbulut

- [ 10 ] Prof.Dr. Ayşegül Akdoğan Eker
- [ 11 ] H. Uzun , ‘ Faz Diyağramları ‘ internet sunusu 2014
- [ 12 ] A.Alsaran ‘ çökme sertleşmesi ‘ internet sunusu 2014
- [ 13 ] yalıtımlı alüminyum
- [ 14 ] <https://malzemebilimi.net/yaslandirma-sertlestirmesi.html>
- [ 15 ] University of cambridge
- [ 16 ] ASTM,1982
- [ 17 ] Can, 2006
- [ 18 ] K. H. Rendigs, “Aluminum structures used in aerospace Status and prospects”[J]. Mater Sci Forum, 1997.
- [ 19 ] J. C. Williams, E A. Jr Starke, “Progress in structural materials for aerospace systems [J]”, Acta Mater, 2003.
- [ 20 ] H. Demirci, Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi Seçilmiş Temel Kavramlar ve Endüstriyel Uygulamalar, Alfa Basım Yayın, 2004.
- [ 21 ] [www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2002\\_2/1-24.pdf](http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2002_2/1-24.pdf)
- [ 22 ] Talsad Yayınları, “Türkiye”de ve Dünya”da Alüminyum” (Alüminyumun önemli kullanım yerleri ve alternatif olduğu malzemeler)
- [ 23 ] [www3.gazi.edu.tr/](http://www3.gazi.edu.tr/),slayt 29.
- [ 24 ] M. Baydoğan, “Retregasyon ve Yeniden yaşlandırma uygulanmış 2014 ve 7075 Kalite Alüminyum alaşımlarının Mekanik ve Korozyon özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [ 25 ] E. Geçkinli, “Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi”, II. Isıl İşlem Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 07-08 Şubat 2002.
- [ 26 ] M, V. Lancker, Metallurgy of Aluminum Alloys, Chapman and Hall [10] G.Waterloo, V. Hansen, J. G Jones, S.R. Skjerworld, Mater. Sci. Eng. A303, 2001.
- [ 27 ] A. Deschamps, F. Livet Y. Brachet, Acta Mater. 47 ss.281, 1999.
- [ 28 ] G. Sha, A. Cerezo, Acta Mater. 52, ss.4503-4516, 2004.
- [ 29 ] D. Wang, D.R. Ni, Z.Y. Ma, “Effect of pre-strain and two step aging on microstructure and stress corrosion cracking of 7050 alloy”, Materials Science and Engineering A, 494, ss. 360-366, 2008
- [ 30 ] C. Junzhou, Z. Liang, Y. Shoujie, S. Wenzhu, D. Shenglon,, “Investigation of precipitation behavior and related hardening in AA 7055 aluminum alloy”, Materials Science and Engineering A, 500, 34- 32, 2009.



- [ 31 ] T.S. Srivatsan, S. Sriram, *Acta Metall Mater*, 42, ss 3083-3091, 1994.
- [ 32 ] ASM Handbook, Heat Treating, ASM. International Materials Park, Ohio” vol. 4, 1990
- [ 33 ] Ferrer, C.P., Koul, M.G., Connolly, B.J., Moran, A.L., “Improvements in Strength and Stress Corrosion Cracking Properties in Aluminum Alloy 7075 via Low-Temperature Retrogression and Re-Ageing Heat Treatments”, *Corrosion* 6, 520–528, 2003.
- [ 34 ] Parker, J.K, Ardell, A.J., “Effect of Retrogression and Reaging Treatments on the Microstructure of Al-7075-T651”. *Mater. Trans. A*, 15, 1531– 1543. 1984.
- [ 35 ] Cina, B.M., “Reducing the Susceptibility of Alloys, Alloys Particularly Aluminium to Stress Corrosion Cracking”, U.S. Patent, No: 3, 856, 584, Dec. 24, 1974
- [ 36 ] 15. Viana F, Pinto AMP, Santos HMC, Lopes AB., “Retrogression, Re-Aging of 7075 Aluminium Alloy: Microstructural Characterization”, *J. Mater. Process. Tech.* 92–93, 54–59, 1999.
- [ 37 ] Kibar, E., 7075 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan RRA Isıl İşlemlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2010
- [ 38 ] Li, G. F., Zhang, X. M., Li, P. H., You J. H., “Effects of Retrogression Heating Rate on Microstructures and Mechanical Properties of Aluminium Alloy 7050”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 20, 935-941, 2010.
- [ 39 ] Holt, R.T., Raizenne, M. D., and Wallace, W., “RRA Heat Treatment of Large Al 7075-T6 Components”, Technical Report No: ADP010412, 1999
- [ 40 ] Marlaud T., Deschamps A., Bley F., Lefebvre W., Baroux B., “Evolution of Precipitate Microstructures during the Retrogression, ReAging Heat Treatment of an Al– Zn–Mg–Cu. Alloy”, *Acta Mater.* 58, 4814–4826, 2010.
- [ 41 ] Yılmaz, R., Özyürek, D., Kibar, E., “The Effects of Retrogression Parameters on Hardness and Wear Behaviours of 7075 Aluminium Alloys”, *Journal of the Faculty of Engineering Architecture of Gazi University* in press 2012.
- [ 42 ] Miller, W.S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A.J., Smet, P. De, Harsler, A., Vieregge, A., “Recent Development in Aluminium Alloys for the Automotive Industry”, *Mater. Sci. Eng. A* 280, 37–49, 2000
- [ 43 ] Yurdakul, M., Özbay, O., İç, Y. T., “Selection of Aerospace Aluminium Alloys, *Journal of the Faculty of Engineering Architecture of Gazi University*, Vol. 17, No 2, 1-23, 2002
- [ 44 ] Rendigs K H. “Aluminium Structures Used in Aerospace-Status and Prospects”, *J. Mater. Sci. Forum*, 242: 11-24, 1997.
- [ 45 ] Heinz, A., Haszler, A., Keidel, C., Moldenhauer, S., Benedictus, R., Miller, W S., “Recent Development in Aluminium Alloys for Aerospace Applications”, *Mater. Sci. Eng. A - Structural Materials Properties*, 280, 102-107, 2000

- [ 46 ] Ferrer, C.P., "Optimizing the Strength and SCC Resistance of Aluminium Alloys Used for Refurbishing Aging Aircraft", U.S.N.A Trident Scholar project report, 2001.
- [ 47 ] ASTM,1982
- [ 48 ] Savaşkan , 1999
- [ 49 ] Askeland, 1990
- [ 50 ] alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>
- [51] Geçkinli, 1990 - Geçkinli, 2002
- [ 52 ] Su, 1988
- [ 53 ] <http://eyupyaylaci.com/malzemelerde-cokelme-sertlesmesi/>
- [ 54 ] Akdoğan, 2008
- [ 55 ] Yılmaz, 2002
- [ 56 ] Tekin , 1984 ; Tayanç , 1998
- [ 57 ] Smith W.E., Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri, Demir Dışı Alaşımalar , Cilt 2, çeviri M. Erdoğan , Nobel Dağıtımı , 2001
- [ 58 ] Wu, YL., Froes F.H Alvarez A., Li CG,, Liu J., Microstructure and Properties of a New Super High Strength Al-Zn-Mg-Cu alloy C912, Mater. Design . 18,211-215.1997
- [ 59 ] Ay, N., 7075 Alüminyum Alaşımında RRA Isıl İşleminin Mikroyapıya Etkisi ve Kinetik Analiz, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1989.
- [ 60 ] Kibar, E., Yılmaz, R., Özyürek, D., "Wear Properties of 7075 Aluminium Alloys Produced By Powder Metallurgy", 5. International Powder Metallurgy, Ankara-Turkey, 69-76, 08-12 October 2008.
- [ 61 ] Mindivan H., Kayalı, E.S., Cimenoglu, H., "Tribological Behavior of Squeeze Cast Aluminum Matrix Composites", Wear, 265, 645-654, 2008.
- [ 62 ] How, H.C., Baker, T.N., "Dry Sliding Wear Behaviour of Saffil- Reinforced AA6061 composites", Wear, 210, 263-272, 1997.
- [ 63 ] Baydogan, M., Cimenoglu, H., Kayali, E.S., "A Study on Sliding Wear of a 7075 Aluminum Alloy", Wear, 257, 852-861, 2004.
- [ 64 ] Manisa , Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü , Çökeltme sertleşmesi ( Yaşlanma Deneyi ) , Çökeltme sertleşmesi sırasında meydana gelen mikroyapısal değişimler.
- [ 65 ] Valentina F Degtyareva - Institute of State Physics RAS - **The phase diagram Al-Zn**
- [ 67 ] <https://malzemebilimi.net/yaslandirma-sertlestirmesi.html>

[ 69 ] alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>

[ 70 ] Forum tr - <https://www.frmtr.com/fizik-kimya/888716-aluminyum-ve-alasimlarda-isil-islemler.html>

[ 71 ] Bodycote - <https://www.bodycote.com/tr/hizmetler/isil-islem/cozeltiye-alma-ve-yaslandirma/cozeltiye-alma-ve-yaslandirma-aluminyum-alasimlar/>

[ 72 ] Doç. Dr. Özkan Özdemir , Mukavemet Arttırıcı İşlemler

[ 73 ] Prof. Dr. Hatem Akbulut

[ 74 ] Faz Diyagramları - [simgeirizalp.cbu.edu.tr/muhmlzB/bolum1.pdf](http://simgeirizalp.cbu.edu.tr/muhmlzB/bolum1.pdf)

## **8. BÖLÜM ( TIG KAYNAK TELLERİ )**

[ 1 ] Esab kaynak

[ 2 ] Öz Metal

[ 3 ] As Kaynak

[ 4 ] Oerlikon

[ 5 ] Lincoln Electric USA

[ 6 ] Gedik kaynak

[ 7 ] Fronius kaynak

## **9. BÖLÜM ( LABORATUAR VE DENEY CALIŞMALARI )**

[ 1 ] Seykoç Alüminyum

[ 2 ] Uğural alüminyum ısıtım işlem sembolleri

### **9.1. VICKERS SERTLİK ÖLCÜMÜ KAYNAKLAR**

[ 3 ] Bulut makina – sertlik ölçme metotları ve cihazları

### **9.2. ÇEKME DENEYİ KAYNAKLAR**

[ 4 ] Doç. Dr. Ramazan Kayıkçı, Araş.Görv. Gülşah Aktaş, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Çekme Deneyi Föyü.

[ 5 ] Mehmet Yüksel , Cemal Meran, " Malzeme Bilgisine Giriş Cilt 2 " , MMO, 2010

[ 6 ] Yrd. Doç. Dr. Kemal Yıldızlı, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü , Çekme / Eğme Deney Föyü

[ 7 ] Kayalı ES, Ensari C, Dikeç F. Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Yayını , 1996

### 9.3. EĞME DENEYİ KAYNAKLAR

- [ 8 ] [http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/malzeme/dersler/malzeme\\_lab/e%C4%9Fme.pdf](http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/malzeme/dersler/malzeme_lab/e%C4%9Fme.pdf)
- [ 9 ] Metalik Malzemenin Eğme ve Katlama Deneyleri TS 205
- [ 10 ] <http://www.nature.com/nphoton/journal/v8/n8/images/nphoton.2014.169-f1.jpg>
- [ 11 ] [http://mim.bilecik.edu.tr//Dosya/Arsiv/deney\\_foyle/bahar\\_donemi/3%20NOKTA%20EGME.pdf](http://mim.bilecik.edu.tr//Dosya/Arsiv/deney_foyle/bahar_donemi/3%20NOKTA%20EGME.pdf)
- [ 12 ] The Science and Engineering of Materials, 4 th ed Donald R. Askeland – Pradeep P. Phule Chapter 6 - Mechanical Properties and Behavior
- [ 13 ] <http://nptel.ac.in/courses/101104010/lecture39/images/figure6.jpg>
- [ 14 ] [http://www.makina.selcuk.edu.tr//img/cekme\\_egilme.pdf](http://www.makina.selcuk.edu.tr//img/cekme_egilme.pdf)
- [ 15 ] Standart Test Method for Determination of Breaking Strength of Ceramic Tiles by Three Point Loading ASTM C 1505 -01
- [ 16 ] Standart Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials ASTM D7264/D7264M-15
- [ 17 ] <https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/426/757805425/kaynakli.baglantilarin.egme.testleri.pdf>
- [ 18 ] <http://www.mech.utah.edu/-rusmeeha/labNotes/composites.html>

### 9.4. ÇENTİK DARBE DENEYİ KAYNAKLAR

- [ 19 ] [http://malzememuh.cbu.edu.tr/db\\_images/site\\_117/file/darbe.pdf](http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/darbe.pdf)
- [ 20 ] [http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/53867/49137/darbe\\_deneyleri.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/53867/49137/darbe_deneyleri.pdf)
- [ 21 ] <http://www.metaluzmani.com/category/malzeme-ve-muayenesi/tahribatli/centik-darbe-deneyi/>