

57955

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA UYGULANAN MIG  
KAYNAĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi  
Dokümantasyon Merkezi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Metin OYSU

57955

Ana Bilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MAKİNA MALZEMESİ VE İMALAT

EKİM 1996

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA UYGULANAN MIG  
KAYNAĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Metin OYSU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.Ekim 1996

Tezin savunulduğu Tarih : 11.Aralık 1996

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Yard.Doç.Dr.Kenan Ural	Prof.Dr. Kutsal Tülbentçi	Doç.Dr. Erdinç Kaluç
(.....)	(.....)	(.....)

ARALIK 1996

**7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA UYGULANAN MIG KAYNAĞININ  
MEKANİK ÖZELLİKLERE VE GERİLMELİ KOROZYON (GKÇ) DİRENCİNE  
OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI.**

Metin OYSU

**Anahtar kelimeler :** 7075,GKÇ ,MIG,RRA

**Özet:** Bu çalışmada T6 ve RRA ısıt işlemleri görmüş 7075 Alüminyum alaşımına uygulanan MIG kaynağının mekanik özellikler ve gerilmeli korozyon özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çalışmalar sonucu ITAB'da sertliğin düştüğü sünekliğin arttığı görülmüştür. Ayrıca ITAB'de gerilmeli korozyon çatlak hızının azaldığı görülmüştür , kaynak metalinde ise gerilmeli korozyon çatlak ilerlemesi görülmemiştir. Ayrıca kaynak sırasında parçaların soğutulması durumunda mekanik özelliklerin daha az etkilendiği görülmüştür.

**THE EFFECTS OF MIG WELDING APPLIED TO T6 AND RRA  
TEMPERED 7075 ALUMINUM ALLOYS ON MECHANICAL PROPERTIES  
AND STRESS CORROSION CRACKING**

Metin OYSU

**Keywords :** 7075,SCC,MIG,RRA

**Abstract :** In this study , the effects of MIG welding applied to T6 and RRA tempered 7075 Aluminum Alloys on mechanical properties and stress corrosion cracking behavior are investigated.

The results show that hardness decreases and ductility increases in the HAZ. Also,it was observed that stress corrosion cracking decreases in HAZ and no stress corrosion cracking was detected in welding metal.

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

7000 Serisi Alüminyum alaşımları hafifliği ve yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle uçak endüstrisinde geniş uygulama alanı bulmaktadır.

Ancak bu malzemenin ısıtılma şartları , gerilmeli korozyon çatlama direnci ve kaynağı konusundaki problemler malzemenin kullanımını büyük ölçüde sınırlamaktadır. Bu nedenle bu konu bilim adamları için çok geniş bir araştırmaya alanı oluşturmuştur.

Bu çalışmada 7075 Alüminyum alaşımına yapılan MIG kaynağının malzeme özelliklerine olan etkilerinin araştırılmasını amaçladım.

Yapılan çalışmanın aynı konuda çalışacak meslektaşlarıma ışık tutmasını dilerim.

Çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan danışmanım sayın Yrd.Doç.Dr.Kenan URAL (KO.Ü.), sayın Prof. İbrahim UZMAN (KO.Ü.), sayın Prof.Dr.Levon ÇAPAN (KO.Ü.) ve sayın DOÇ.Dr. Erdi KALUÇ'a (KO.Ü.) teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Genel Özellikler.....	3
2.1.1. Al-Cu Alaşimleri.....	3
2.1.2. Al-Si-Mg Alaşimleri.....	3
2.1.3. Al-Mg-Zn Alaşimleri.....	3
2.1.4. Al-Mg Alaşimleri.....	3
2.1.5. Al-Si Alaşimleri.....	4
2.1.6. Al-Sn Alaşimleri.....	4
2.2. Alüminyum alaşımlarının Gruplandırılması.....	4
2.2.1. Dövme Alüminyum Alaşimleri.....	5
2.2.1.1. Yüksek Mukavemetli Alaşımlar.....	6
2.2.2. Dökme Alüminyum Alaşimleri.....	7
2.3. Alaşım Elementleri ve Etkileri.....	8
2.3.1. Bakırın Etkisi.....	8
2.3.2. Magnezyumun Etkisi.....	9
2.3.3. Silisyumun Etkisi.....	10
2.3.4. Diğer Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	10
2.4. Alüminyum Alaşımlarının Simgelendirilmesi.....	11
2.4.1. Dövme Alüminyum Alaşimleri.....	11
2.4.2. Dökme Alüminyum Alaşimleri.....	12

BÖLÜM	3.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	13
	3.1.	Çözeltiyeye Alma.(Eriyik Isıl İşlemi).....	14
	3.2.	Çökeltme Sertleşmesi.(Yaşlandırma).....	15
	3.3.	RRA Isıl İşlemi.....	16
BÖLÜM	4.	ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI.....	19
	4.1.	Giriş.....	19
	4.2.	Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti.....	22
	4.2.1	Alüminyum Alaşımlarının kaynağında sıcak çatlak oluşumu.....	23
	4.2.1.1	Kaynak Telinin Seçimi.....	24
	4.2.1.2.	Kaynak hızının seçimi.....	24
	4.2.1.3.	Ön Isıtma Uygulaması.....	24
	4.2.1.4.	Kaynak Yerinin dizaynı.....	25
	4.3.	Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri	25
	4.3.1.	MIG Kaynağı.....	25
	4.3.1.1.	Kaynak Dikişlerinde Gözeneklilik.....	25
	4.3.1.2.	Kaynağın Uygulanması.....	27
	4.3.1.3.	Elle MIG Tekniği.....	27
	4.3.1.4.	MIG-MAG Kaynağında Ark Türleri ve Arkta Kaynak Metali Taşınımı.....	28
	4.3.1.5.	MIG Metodu ile Alüminyum Kaynağında Pratik Öneriler.....	30
	4.3.1.6.	Kaynak Telinin Seçimi.....	31
	4.3.1.7.	Koruyucu Gaz.....	32
	4.3.1.8.	Tel Besleme Ünitesinin Ayarı.....	32
	4.3.1.9.	Linerler.....	33
	4.3.1.10	Güç Kaynağının ayarlanması.....	33
	4.3.2	TIG Kaynağı.....	35
	4.3.2.1.	Koruyucu Gazlar .....	35
	4.3.2.2.	Elektrodlar.....	36
	4.3.3.	Elektrik Ark Kaynağı.....	36
	4.3.3.1	Kaynak İşlemi.....	37
	4.3.4.	Oksi-Asetilen Kaynağı.....	41
	4.3.4.1.	Kaynak İşlemi.....	41
	4.3.4.2.	Gaz Ergitme Kaynağının Avantajları.....	42

	4.3.4.3. Gaz Ergitme Kaynağının Dezavantajları.....	42
BÖLÜM	5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	43
	5.1. Amaç.....	43
	5.2. Malzeme.....	43
	5.3. Test Parçalarının Hazırlığı.....	44
	5.4. Kaynak İşleminin Uygulanması.....	46
	5.4.1. İlave Kaynak Tertibatı.....	47
	5.4.2. Kaynak İşleminin Yapılması.....	47
	5.5. Gerilmeli Korozyon Deneyleri.....	47
	5.5.1. Deney Yöntemi.....	47
	5.5.2. Korozif Madde Uygulaması.....	50
	5.6. MIG Kaynak İşleminde Sertlik Değişimi Deneyleri .....	50
BÖLÜM	6. DENEY SONUÇLARI .....	52
	6.1. DCB Numunelerinin sertlik değişiminin ölçülmesi.....	52
	6.2. Gerilmeli Korozyon Deneyi Sonuçları.....	53
	6.3. Kaynak işlemi Sonrası Sertlik Ölçüm Deneyi Sonuçları.....	55
BÖLÜM	7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....	58
KAYNAKLAR.....		59
ÖZGEÇMİŞ.....		61



## **SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR**

a	:Çatlak uzunluğu
da/dt	:Gerilmeli korozyon çatlak ilerleme hızı
E	:Elastisite modülü
HRB	:Rockwell B sertliği
K	:Gerilim şiddeti faktörü
$K_I$	:Model I için gerilim şiddeti faktörü
$K_{Ic}$	:Kritik gerilim şiddeti faktörü
$K_{I_{GKÇ}}$	:GKÇ'nin kırılmaya yol açmadığı en yüksek gerilim şiddeti faktörü.
l	:Levha kalınlığı
t	:Zaman
v	:Çatlak aralığı
$\sigma$	:Normal gerilme
$\sigma_{IGKÇ}$	:GKÇ'nin kırılmaya neden olmadığı en yüksek gerilim.
ASTM	:American society of testing materials
ASME	:American society of mechanical engineering
DCB	:Çift tesirli açma
DEKM	:Doğrusal elastik kırılma mekaniği
EPKM	:Elastik -plastik kırılma mekaniği
GKÇ	:Gerilmeli korozyon çatlama
MIG	:Metal inert gas
TIG	:Tungsten inert gas
ITAB	:Isının tesiri altındaki bölge

RRA :Retregasyon ve yeniden yaşlandırma

TÜBİTAK :Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Alüminyum alaşımındaki magnezyum miktarının kaynak çatlağı oluşumuna etkileri.....	9
Şekil 3.1.	Al - Cu denge diyagramı (Sadece alüminyumca zengin olan kısmı gösterilmiştir).....	15
Şekil 3.2.	Retregrasyon süresi ile sertliğin değişimi.....	17
Şekil 4.1.	Kaynak işlemi sonrası ITAB’de oluşan bölgeler.....	22
Şekil 4.2.	Kaynak hızına bağlı olarak çekme dayanımının değişimi.....	24
Şekil 5.1.	1.Tip DCB test parçasının şematik gösterimi.....	45
Şekil 5.2.	2.Tip DCB test parçasının şematik gösterimi.....	46
Şekil 5.3.	Gerilmeli korozyon deneylerinde kullanılan DCB numunesi.....	48
Şekil 5.4.	DCB numunesi ile yapılan gerilmeli korozyon deneyinde sabit bir çatlak açılması (v) değeri için a)Çatlak büyümesinin zamana göre değişimi b)Çatlak açmaya zorlayan kuvvetin çatlak boyuna göre değişimi c)Çatlak boyunun gerilim şiddeti faktörü K <sub>I</sub> ’de etkisi.....	49
Şekil 5.5.	Kaynak işlemi sonrası , sertlik değişiminin ölçülmesi için hazırlanan test parçalarının şematik şekli.....	51
Şekil 6.1.	T6 ısıt işlemi görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları.....	53
Şekil 6.2.	T6 ısıt işlemi görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları.....	54
Şekil 6.3.	T6 ısıt işlemi görmüş test numunesinde ,sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası yavaş soğutulmuş).....	55
Şekil 6.4.	T6 ısıt işlemi görmüş test numunesinde ,sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası ani soğutulmuş).....	55

Şekil 6.5.	RRA ısıt işlemleri görmüş test numunesinde ,sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası yavaş soğutulmuş).....	56
Şekil 6.6.	RRA ısıt işlemleri görmüş test numunesinde ,sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası ani soğutulmuş).....	56



## ***TABLolar DİZİNİ***

Tablo 1.1.	Dünyada alüminyum kullanımının sektörlere göre dağılımı.....	1
Tablo 2.1.	Dövme alüminyum alaşımlarının kaynak çatlağı oluşturma eğilimleri.....	5
Tablo 2.2.	Alaşım elementlerinin alüminyumda çözünürlü sınırları.....	8
Tablo 2.3.	Dövme alüminyum ve alaşımlarının simgeleme şekli.....	11
Tablo 2.4.	Dökme alüminyum ve alaşımlarının simgeleme şekli.....	12
Tablo 3.1.	Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemler.....	13
Tablo 3.2.	7075 Alüminyum alaşımının ısı işlem şartları ve işlem sonrası mekanik özellikler.....	14
Tablo 4.1.	Değişik kaynak yöntemlerinin uygulama sınırları.....	19
Tablo 4.2.	MIG ve TIG yöntemleriyle alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyeti.....	21
Tablo 4.3.	Ark türlerinin seçim tablosu.....	30
Tablo 4.4.	Alüminyum alaşımlarının TIG ve MIG kaynağı için istenilen dolgu metalinin kimyasal kompozisyonu.....	31
Tablo 4.5.	Alüminyumun gazaltı kaynağı için dolgu metali seçme klavuzu.....	32
Tablo 4.6.	Isıl işlem yapılabilir alüminyum alaşımlarının ark kaynağı kombinasyonlarında dolgu metali seçim klavuzu.....	34
Tablo 4.7.	Alüminyum alaşımlarının ark kaynağı kombinasyonlarında yaygınca kullanılan dolgu metalleri.....	39
Tablo 5.1.	7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.....	44
Tablo 5.2.	7075 Alüminyum alaşımının ısı işlem şartları.....	44

Tablo 5.3.	Test parçalarına uygulanan MIG kaynak işlemine ait datalar.....	46
Tablo 6.1.	RRA ısıt işlemi uygulanan DCB numunelerinin sertlik ölçüm sonuçları.....	51
Tablo 6.2.	T6 ısıt işlemi uygulanan DCB numunelerinin sertlik ölçüm sonuçları.....	52
Tablo 6.3.	T6 ısıt işlemi görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları ( $v=0.75\text{mm}$ ).....	52
Tablo 6.4.	T6 ısıt işlemi görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları ( $v=0.9\text{mm}$ ).....	53



## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Alüminyum yeryüzünde en fazla bulunan metalik malzemelerden biridir. Ancak Alüminyum ile tanışmamız çok eskilere dayanmamaktadır. Yüzyılı biraz aşan teknolojik geçmişine karşılık otomotivden uçak sanayiine, enerji iletim hatlarından inşaat uygulamalarına kadar kullanım alanları çok yaygındır. Günümüzde alüminyum ve alaşımları demir-çelikten sonra en çok tüketilen metalik malzemelerdir. Tablo 1.1 de sektör bazında alüminyumun kullanım oranları gösterilmiştir.

**Tablo 1.1** Dünyada alüminyum kullanımının sektörlere göre dağılımı

Sektor	%
İnşaat	27
Ulaşım	24
Ambalaj	15
Elektrik	10
Genel mühendislik	9
Mobilya, ev eşyaları	3
Metallurji	1
Diğer	7

Alüminyum çekici özellikleri nedeni ile çoğu zaman diğer metallere tercih edilmektedir. Öncelikle alüminyum hafif bir metaldir. Yoğunluğu  $2,7 \text{ g/cm}^3$  ile demirin yoğunluğunun yaklaşık üçte biridir. Buna karşılık mekanik dayanımı yeterince yüksektir. Hafif olmaları nedeniyle özellikle uçak endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu alaşımların kullanımında yüksek mukavemet özelliklerinin yanısıra tokluk, korozyon ve yorulma gibi özelliklerde etkin bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla amaç yüksek mukavemet yanında iyi bir tokluk, yüksek korozyon direnci ve yorulma direncine sahip olan alaşımlar üretebilmektir.

Bu özellikler ısıtma işlemi, termo-mekanik işlem (ısıtma-mekanik işlem) ve diğer metalurjik değişkenlerle sağlanabilir. Ancak malzeme özelliklerini etkileyen parametrelerin fazla oluşu ve karmaşık içyapı nedeni ile yapı özellik ilişkileri

yeterince açıklanamamakta, bu durumda istenen özelliklerin eldesini güçleştirmektedir.





## **BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ÖZELLİKLERİ.**

### **2.1. Genel Özellikler.**

Alüminyum pek çok element ile alaşım yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle sayısız kombinasyonlarla karşılaşmak mümkündür. Özellikle şekillendirme yöntemi ve ısıl işleme bağlı olarak aynı kimyasal kompozisyona sahip çok farklı özelliklerde alaşım üretimi yapılabilir. En yaygın olarak kullanılan bazı alüminyum alaşımları şunlardır.

#### **2.1.1. Al-Cu Alaşımları.**

En yaygın kullanılan alaşımdır. Duraliminyum olarak adlandırılır. % 2-6 Bakır içerirler. Diğer Al alaşımlarına göre korozyona karşı dirençleri azdır. Kaynak kabiliyetleri sınırlıdır.

#### **2.1.2. Al-Si-Mg Alaşımları.**

Al-Si-Mg Alaşımları %1,3'e kadar eşit oranda Si ve Mg içerirler. Az miktarda Cu, Cr yada Pb yaşlandırılmış durumda korozyon direncini ve dayanımını arttırmak için ilave edilir.

#### **2.1.3. Al-Mg-Zn Alaşımları.**

% 1-7,5 Zn ve 2,5-3,3 Mg içerirler. Cr ve Cu dayanımı arttırmak için eklenebilir. Ancak bu kaynak kabiliyetini azaltır. Klasik alaşımlar arasında en yüksek dayanıma sahip olanıdır. Uçak yapımında yapısal malzeme olarak kullanılır.

#### **2.1.4. Al - Mg Alaşımları .**

%10'a kadar Mg içeren döküm alaşımları otomotiv ve uçak yapımında kullanılır. Korozyon dirençleri yüksektir.

### **2.1.5. Al - Si Alaşımları.**

En yaygın döküm alaşımıdır. Tuzlu ortamlarda korozyona karşı yüksek dirence sahip olmalarından dolayı denizcilik sektöründe kullanılırlar.

### **2.1.6. Al-Sn Alaşımları.**

%20-30 Sn içerirler. Yüksek yorulma direncine sahiptirler. Yüksek yük taşıma kapasitesinde sahiptirler. Otomotiv sektöründe bağlama elemanı ve ambalaj sektöründe konserve kutusu olarak kullanılırlar.

Alaşım elementlerinin çok küçük oranda katılması ile yoğunluğunun çok az artmasına karşın, mekanik özellikleri ile dökülebilirlik özelliğinde önemli iyileşmeler gözlenmektedir. Alüminyum alaşımlarının korozyon direnci yüksektir. Saf alüminyum en yüksek korozyon direncine sahiptir. Bunu sırasıyla Al-Mn, Al-Mg, Al-Mg-Si ve Al-Si alaşımları izler. Bakır içeren alüminyum alaşımlarının korozyon direnci kötüdür. Alüminyum alaşımları ile diğer metallerin yada alaşımların kendi aralarında temas durumunda olmaları, nemli ortamda korozyona neden olur. (Tomashow 1966)

## **2.2. Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması.**

Alüminyum alaşımları teknolojik özelliklerine ve kullanma şartlarına bağlı olarak genellikle dövme ve dökme türü olmak üzere iki ana grupta incelenebilirler. Bu iki grup içinde dövme alüminyum alaşımları dövme ve plastik şekil verme usulleri ile şekillendirilirken, dökme alüminyum alaşımları sadece döküm yoluyla şekillendirilebilir.

Bu iki grup kendi içinde, ısıl işlem uygulanabilen ve ısıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları olmak üzere alt bölümlere ayrılırlar. Isıl işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri soğuk şekil verme ve ısıl işlem vasıtasıyla gerçekleştirilirken, ısıl işlem uygulanmayan alaşımlarda sadece soğuk şekil verme ile mukavemet artışı sağlanabilir.

### 2.2.1. Dövme Alüminyum Alaşımaları.

Dövülmüş veya dövme alüminyum alaşımaları çok geniş bir yer tutar. Bu alaşımlarda daha yüksek fiziksel özellikler elde edilmesi haddeleme ekstrüzyon, dövme gibi mekanik işlemler tarafından sağlanır. Bu işlemler tane yapısını inceltir ve alaşımı daha homojen yapar. Dövme işlemi malzemenin döküm yapısını bozarak, malzeme özelliklerini iyileştirir. Dövme alaşımlarının üretimindeki işlem kademeleri sırasıyla;

- İşlenmemiş parça veya ingotun dökümü.
- Sıcak veya çoğunlukla soğuk şekil verme.
- Isıl işlem şeklindedir.

Bir çok uçak ve uzay aracı uygulamalarında açık ve kapalı kalıp dövme alüminyum alaşımları kullanılır. Alüminyum alaşımlarının %20'ye yakını ekstrüzyon ürünü alaşımlar oluşturur. Ekstrüzyon ürünleri özel biçim ve kesit gerektiren her türlü uygulamada kullanılabilir (Tekin-1982). Ayrıca Tablo 2.1 de Dövme alüminyum alaşımlarının kaynak çatlak oluşumuna hassasiyetleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.1** Dövme alüminyum alaşımlarının kaynak çatlak oluşurma eğilimleri

<i>Alaşım</i>	<i>Bağlı çatlama hassasiyetleri</i>		
	<i>Küçük</i>	<i>Orta</i>	<i>Büyük</i>
Alüminyum	1100	1260	.....
Al-Mn	3003	.....	3004
Al-Mg	.....	5083, 5086, 5456	5052
Al-Mg <sub>2</sub> Si	.....	.....	6061, 6063
Al-Cu	.....	2219	2014, 2024
Al-Zn-Mg	.....	7039	X7005, 7075

### 2.2.1.1 Yüksek Mukavemetli Alaşımlar.

Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları (2000 ve 7000 serisi) mekanik özelliklerinin iyi olmasının yanısıra, hafif olmaları nedeniyle özellikle uçak endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu alaşımların kullanımında yüksek mukavemet özelliklerinin yanısıra tokluk, korozyon ve yorulma gibi özelliklerde etkin bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla amaç yüksek mukavemet yanında iyi bir tokluk, yüksek korozyon direnci ve yorulma direncine sahip olan alaşımlar üretebilmektir.

7000 serisi alüminyum alaşımlarında yüksek mekanik özellikleri sağlamak için uygulanan T6 ısıtıl işlemi gerilmeli korozyon çatlamaına hassas bir içyapı oluşturmaktadır. Bu problem T73 ısıtıl işlemi ile giderilmiştir. Ancak bu kez mukavemet ve sertlik özelliklerinde %10-15'lik bir azalma ortaya çıkmıştır. 1974 Yılında Cina tarafından tanıtılan "Retregasyon ve yeniden yaşlandırma" (RRA) ısıtıl işlemi ile yüksek mekanik özelliklerin yanısıra yüksek GKÇ direnci sağlanabileceğini öne sürmüştür. Daha sonra bu konuda yapılan çalışmalar, RRA işleminde sıcaklık ve işlem süresinin uygun seçilmesi durumunda bu problemin çözülebileceğini göstermiştir. (Wallace 1981,Ural 1987, Park 1988) Dolayısıyla ısıtıl işlem parametrelerinin uygun seçilmesi ile RRA ısıtıl işlemi her kalınlıktaki yüksek mukavemetli alüminyum alaşımına uygulanabilmektedir.

7000 serisi alüminyum alaşımlarının kullanımını sınırlayan bir diğer problemde kaynak işlemidir. Malzemenin tüm mekanik özellikleri ısıtıl işlemlerle sağlandığından kaynak nedeni ile yüksek ısı girdisi olan parçada yüksek mekanik özellikler tamamen kaybolabilmektedir.

33-50 daN /mm<sup>2</sup> ve hatta 60 daN/mm<sup>2</sup> ye kadar çekme mukavemeti ve %7-27 uzamaya sahiptirler. Uçak konstrüksiyonlarında yıllardan beri yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Bunlar 2000 serisi (Al-Cu-Mg) ve 7000 serisi (Al-Zn-Mg-Cu) alüminyum alaşımlarıdır.

Bu alaşımlar yüksek mukavemet özelliklerine sahip olmakla birlikte, düşük korozyon direnci gösterirler. Ancak bu alaşım grubunun tümünde ısıl işlemdeki değişme malzeme yapısını değiştirerek hem mekanik özellikleri hemde gerilmeli korozyon hassasiyetini büyük lde etkiler. Bu nedenle bu alaşımlarda yüksek mukavemetin yanısıra yüksek korozyon direncide sağlayacak ısıl işlemlerin belirlenmesi konusundaki çalışmalar devam etmektedir. Bunlar içinde en çok tanınanları aşağıdaki gruplarda yer almaktadır.

#### Al-Zn-Mg Alaşımları:

Yüksek mukavemet özellikleri için geliştirilmiş olan bu alaşım grubu karmaşık bir yapıya sahiptir. %5-7 Zn, %2-3 Mg ve daha düşük miktarlarda Cu içerirler. En tipik rneği uçaklarda yaygın olarak kullanılan 7075 Alaşımıdır. Bu alaşım dralmin türü alaşımlardan daha mukavemettir fakat gerilmeli korozyona karşı o kadar da hassastır. Sertleşmeyi sağlayan  $\beta$  (Mg-Zn<sub>2</sub>) fazıdır. İlave olarak CuAl<sub>2</sub> ve CuMgAl<sub>2</sub> bileşikleride kelebilir. Düşük miktarlarda Cr ilavesi bu alaşımın gerilmeli korozyon atlamaşını belirgin bir Şekilde iyileştirmektedir. Bu alaşımlar ABD 'de 7000 serisi olarak sembolleştirilmiştir. Bu alaşım grubunun GK mekanizması alüminyum bakır alaşımları kadar iyi tanıtılamamıştır.

#### **2.2.2. Dökme Alüminyum Alaşımları.**

Dökme alaşımlar genellikle kum döküm, pres döküm ve sabit kalıp yöntemleri kullanılarak dökülürler. Bu alaşımlar son derece yüksek fiziksel özellikler gösterir ve işlenmeye elverişlidirler. Dökme alaşımlar kaynak edilebilirler. Isıl işlem çok yaygın olarak dökme alüminyum alaşımlarına uygulanmakla birlikte, dökme alaşımların bir kısmına da uygulanabilir. Bu alaşım grubunun özellikleri her ne kadar hafif bir döküm alaşımı yapısı sergiliyorsa da çok geniş bir Şekilde taşıma sahasında kullanılmaktadırlar.

Dökme alüminyum alaşımları genellikle iki fazlıdır. Bu alaşımların bazı bileşim özellikleri ısıl işleme veya ergimiş metali kalıba dökmeden önce döküm yapısında bir iyileştirme işlemi vasıtasıyla düzeltilebilir. (Flinn et al 1975)

### 2.3. Alaşım Elementleri ve Alaşım Elementlerinin Etkileri.

Alüminyum birçok metal ile sıvı halde kolayca karışabilir. Bir çok alaşımda metaller arası bileşikler oluşur ve alaşımın mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileşir. Alüminyum ; bakır,magnezyum,mangan,silisyum,çinko gibi elementlerle yüksek sıcaklıklarda yüksek katı çözünürlüğü, oda sıcaklığında ise düşük katı çözünürlüğü gösterir. Alaşım elementlerinin çözünürlük sınırları Tablo 2.2'de gösterilmiştir. (Tekin 1982)

**Tablo 2.2** Alaşım elementlerinin alüminyumda çözünürlük sınırları

Alaşım elementi	Katılma sıcaklığında çözünürlük (%)	Oda sıcaklığında çözünürlük (%)
Cu	5.65	0.02
Mg	14.9	2.5
Mn	1.8	0.3
Si	1.65	0.1
Zn	8.2	2.0

Yüksek sıcaklıklarla oda sıcaklıklarındaki çözünürlükler arasındaki bu belirgin farklılıklar bu alaşım elementlerinin yer aldığı alaşımlarda çökeltme sertleşmesini mümkün kılar. Dolayısıyla bu tür alaşımların mekanik özellikleri yaşlandırma işlemi ile iyileştirilebilir. Bunun yanı sıra alaşım elementleri iyi işlenebilirlik, korozyon direncini artırma gibi etkilere de neden olurlar.

#### 2.3.1. Bakırın Etkisi.

Bakır alüminyum endüstrisinin hemen hemen başlangıcından beri en çok bilinen alaşım elementi olmuştur. Bakır düşük sıcaklıkta ısıtma işlemi, yüksek sıcaklıklarda ise diğer alaşım elementleri ile meydana getirdiği ara fazlar vasıtasıyla malzemenin mukavemetini artırır. (Mondolfo 1976)

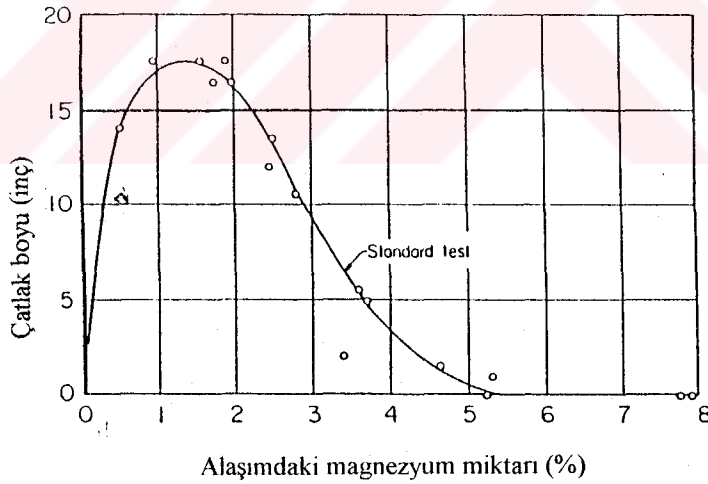
Bakır ilavesi ile akıcılık artar, çekilme ve sıcak yırtılma azalarak döküm işi kolaylaşır. Bakır kopma mukavemeti, elastiklik sınır ve özellikle sertlik gibi

mekanik özellikleri önemli ölçüde artırır. Buna karşılık deformasyon kabiliyeti ve süneklik bakır yüzdesine göre tedricen azalır. Bu nedenle dövme alaşımlarda plastik şekil verme işlemini güçleştireceğinden %5'den fazla bakır kullanılmaz.

Bakır alaşımın korozyon mukavemetini düşürür. Özellikle tavllanmış halde pitting oluşumuna neden olur. Yaşlandırma ile sertleştirildiğinde taneler arası kırılma ve gerilmeli korozyona karşı hassasiyet oluşur. Bakır ilavesi ile alaşımın yoğunluğu ihmal edilemeyecek şekilde artar.

### 2.3.2. Magnezyumun Etkisi.

Saf alüminyuma ilave edilen magnezyum bu malzemenin korozyona karşı olan mukavemet özelliklerini korumasının yanısıra yüksek mukavemet, süneklik gibi mekanik özellikleride geniş ölçüde iyileştirir. Kaynak kabiliyeti sağlamanın yanında malzeme yoğunluğunuda arttırmaz. Şekil 2.1 de alüminyum alaşımındaki magnezyum miktarının kaynak çatlak oluşumuna etkisi gösterilmiştir.



**Şekil 2.1** Alüminyum alaşımındaki magnezyum miktarının kaynak çatlak oluşumuna etkileri

Al-Mg alaşımının döküm özellikleri iyi değildir. % 10'a kadar Mg içeren döküm alaşımı yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip olmakla birlikte, erime ve dökmedeki teknolojik zorluklar bu alaşımın karmaşık parçalarda kullanılmasını engeller. Akıcılığı azdır, katılaşma aralığı geniş olduğundan sıcaklıkta kırılığandır. Al-Mg alaşımlarının özelliklerini iyileştirmek için ilave edilen manganez, çekme

mukavemetini iyileştirir. Bu durum artan manganez miktarı ile kendini gösterir. Al-Mg alaşımına ilave edilen silisyum döküm kabiliyetini artırır. Bu tip alaşımların korozyon dayanımlarında iyidir.

### **2.3.3. Silisyumun Etkisi.**

Al-Cu alaşımlarından sonra en tanınmış alüminyum alaşımları Al-Si alaşımlarıdır. Bu alaşımlar alüminyumun bulunmasından beri tanındığı halde, ancak 1920 'lerden sonra gelişmeye başlamış ve dökümcülüğe yarayan önemi sayesinde sanayide önem kazanmıştır. Silisyum, döküm alaşımlarda % 5-14 Si içerir. İyi akıcılığı sayesinde çok ince ve geniş yüzeyli parçalarla, nisbeten karmaşık parçaların imaline olanak verir. Silisyumlu alaşımlar korozyona karşı, bakırlı alaşımlara oranla daha dayanıklıdır. Yoğunluğu bakırlı alaşımlardan daha azdır. Buna karşılık nispeten düşük çekme mukavemeti ( $18 \text{ daN/mm}^2$ ) ve uzamaya sahiptir. Alaşıma bakır ve magnezyum gibi elementler katmak ve ısıl işlem uygulamak suretiyle mekanik özelliklerini yükseltmek mümkündür. (Üçışık -1978)

### **2.3.4. Diğer Alaşım Elementlerinin Etkisi.**

Mangan dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır. Metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir. Çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır.

Çinko dökülebilirliği düşürür. Yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler. %10'dan fazla çinko içeren alaşımlar gerilmeli korozyon çatlama gösterirler. Çinko diğer alaşım elementleri ile birlikte mukavemeti çok artırır.

Demir alüminyumda doğal katkı elementi olarak bulunur. Az oranlarda bulunduğu bazı alaşımların sertlik ve dayancını artırır, dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır. (Mondolfo 1976/ Tekin 1982)



## 2.4. Alüminyum Alaşımlarının Simgelendirilmesi.

### 2.4.1 Dövme Alüminyum Alaşımları.

Dünyada en yaygın olarak kullanılmakta olan ve Amerikan Standartları Birliği tarafından belirlenmiş olan bu simgeleme şekli, dört rakamdan oluşan bir sayılama sistemi üzerine kurulmuştur. Tablo 2.3’ de dövme alüminyum alaşımları için verilen simgeleme şeklinde görüldüğü gibi dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı ana alaşım elementinin cinsini gösterir. (Flinn 1975)

**Tablo 2.3** Dövme alüminyum ve alaşımlarının simgeleme şekli

<i>Simge</i>	<i>Temel Alaşım Elementi</i>	<i>Yapısı</i>
1XXX	Saf Alüminyum(Al > 99%)	-
2XXX	Bakır	İki Fazlı
3XXX	Manganez	Tek Fazlı
4XXX	Silisyum	İki Fazlı
5XXX	Magnezyum	Tek Fazlı
6XXX	Magnezyum-silisyum	İki Fazlı
7XXX	Çinko	İki Fazlı
8XXX	Diğer Elementler	-
9XXX	Kullanılmayan Dizi	-

Saf alüminyum için son iki rakam alüminyumun minimum saflık değerini gösterir. İkinci rakam ise özellikle denetlenen katkı elementlerinin sayısını verir. 2XXX’den 8XXX’e kadar olan dizilerde ilk rakam ana alaşım elementinin cinsini, ikinci rakam ise değişimleri simgeler. Özgün alaşımda bu ikinci rakam sıfırdır. Özellikle denetlenen katışıkların sayısı 1 ile 9 arasında bir rakamla, simge sayısının ikinci rakamı olarak kullanılır. Son iki rakamın özel bir anlamı yoktur, yalnızca alaşımı o dizide yer alan diğer alaşımlardan ayıran sıra sayısı olarak kullanılır. 9XXX dizisi ise yalnızca deneysel olarak değiştirilmekte olan yeni alaşımlar için kullanılır.

### 2.4.2. Dökme Alüminyum Alaşımları.

Dökme alüminyum ve alaşımları için kullanılan simgeleme şekli de dövme alüminyum ve alaşımlarına benzer. Dört rakamlı simgelemede tek fark dördüncü rakamın üçüncüden bir nokta ile ayrılmasıdır. Tablo 2.4 'de dökme alüminyum ve alaşımlarının simgeleme şeklini gösterir. (Tekin 1982)

**Tablo 2.4** Dökme alüminyum ve alaşımlarının simgeleme şekli

<i>Simge</i>	<i>Temel Alaşım Elementi</i>
1XX.X	Alüminyum (Al > 99.00%)
2XX.X	Bakır
3XX.X	Silisyum-bakır veya magnezyum
4XX.X	Silisyum
5XX.X	Magnezyum
6XX.X	Kullanılmayan dizi
7XX.X	Çinko
8XX.X	Kalay
9XX.X	Diğer Elementler

1XX.X için ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun % 99,00' dan daha yüksek olan saflık derecesini belirler. 2XX.X 'den 9XX.X ' e kadar olan dizilerde ilk rakam ana alaşım elementini belirtir. Bu alaşımların tümünde son rakam 0 ise parça döküm, 1 ise ingot olduğunu belirtir.

### **BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.**

Katı durumdaki bir metal veya alaşımda yapı ve özelliklerin düzeltilmesi amacıyla yapılan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemlerinin tümüne ısıtma işlemi adı verilmektedir. 2XXX, 6XXX ve 7XXX (7072 hariç) serisi dövme alaşımlar ve 2XX.0, 3XX.0 ve 7XX.0 serisi dökme alaşımları içeren ticari alaşımların mukavemet ve sertliği ısıtma işlemi vasıtasıyla önemli bir şekilde artmaktadır. Özellikle 2000 serisi ve 7000 serisi alüminyum alaşımlarının yüksek mekanik özellikleri ısıtma işlemleri veya termomekanik işlemlerle kazandırılmaktadır. Bu tür alaşımlara mekanik özellikleri artırmak amacıyla uygulanan ısıtma işlemleri Tablo 3.1’de verilmiştir. (Hunsicker 1967).

**Tablo 3.1** Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtma işlemleri

<i>Isıtma işlemi türü</i>	<i>Uygulanan işlemler</i>
T2	Tavlama (yalnız döküm alaşımları için)
T3	Çözeltiye alma + soğuk şekillendirme + doğal yaşlandırma
T4	Çözeltiye alma + doğal yaşlandırma
T5	Suni yaşlandırma
T6	Çözeltiye alma + suni yaşlandırma
T7	Çözeltiye alma + Stabilizasyon (çift kademeli yaşlandırma)
T8	Çözeltiye alma + soğuk şekillendirme + suni yaşlandırma
T9	Çözeltiye alma + suni yaşlandırma + soğuk şekillendirme
T10	Suni yaşlandırma + soğuk şekillendirme

Tabloda görüldüğü gibi malzemeye önce bir çözeltiye alma (eriyik) ısıtma işlemi uygulanmakta, daha sonra yaşlandırma veya soğuk şekillendirme veya her ikisinde ardarda uygulanmak suretiyle mekanik özelliklerin iyileşmesi sağlanmaktadır.

Tablo 3.2 ‘de ise en çok kullanılan iki yüksek mukavemetli alüminyum alaşımına ait çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemleri ile ilgili sıcaklık ve bekletme süreleri verilmiştir.

**Tablo 3.2** 7075 Alüminyum alaşımının ısıtım işlem şartları ve işlem sonrası mekanik özellikleri

Malzeme ısıtım işlem	Çözeltiye alma sıcaklığı	Yaşlandırma işlemi şartları	Kesme Mukv. (daN/mm <sup>2</sup> )	Akma Muk. (daN/mm <sup>2</sup> )	Sertlik (HRB)
7075-T6	465 °C	120 °C de 24 saat	57	50	85 - 90
7075-T73	465 °C	110 °C de 8 saat + 177 °C de 8 saat	50	43	75 - 80

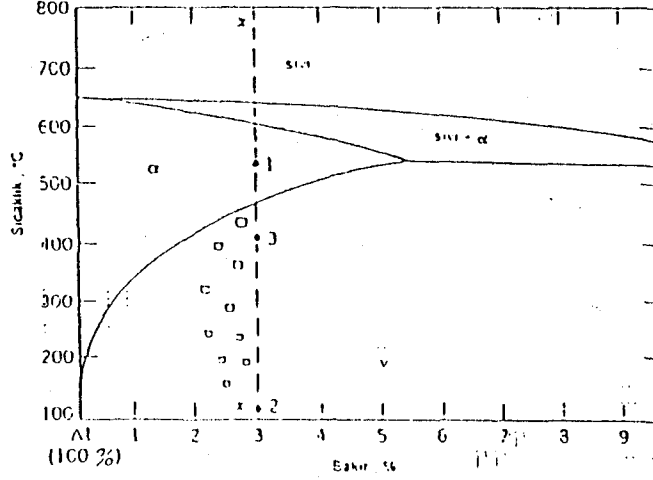
Tablodan'da görüldüğü gibi alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan ısıtım işlemler üç adımda gerçekleştirilmektedir.

- Eriyik ısıtım işlemi : Eriyebilir fazların erimesi,
- Su verme : Aşırı doymanın oluşması ,
- Yaşlandırma : Erimiş atomların oda sıcaklığında (doğal yaşlanma ) veya yüksek sıcaklıkta (suni yaşlanma ) çökmesi.

### 3.1. Çözeltiye Alma. (Eriyik Isıtım İşlemi.)

Çökme reaksiyonunun tam olarak gerçekleştirilmesi için gerekli olan ilk şart, aşırı doymuş katı bir eriyik oluşturmaktır. Bu amaçla alaşıma çözeltiye alma ısıtım işlemi olarak adlandırılan bir ısıtım işlem uygulanır. Bu işlemin amacı, alaşımdaki sertleştirme elementlerinin katı eriyik içinde maksimum miktarda yer almasını sağlamaktır. Katı eriyikte çökelti oluşturmak için asıl gereken şey, azalan sıcaklık ile bir katının eriyebilirliğinin azalmasıdır. Bakırın alüminyum içindeki katı eriyebilirliği sıcaklıkla artar. 250 °C 'de yaklaşık % 0,20 olan bu değer, ötektik erime sıcaklığı olan 548 °C 'de % 5,65 gibi maksimum bir değere ulaşır.

Bu özellikten faydalanarak, alaşım solvüs çizgisinin üzerinde fakat solidüs çizgisinin altındaki  $\alpha$  bölgesindeki bir sıcaklığa ısıtılmakta ve tamamen homojen bir katı eriyik oluşuncaya kadar bu sıcaklıkta tutulmaktadır. Daha sonra alaşım bu sıcaklıktan alınıp, oda sıcaklığında hızla su verildiğinde katı eriyikte erimiş madde saklanacaktır. Bu şekilde katı eriyik, aşırı doymuş katı eriyik olarak yarı kararlı duruma geçer. (Jastrzebski 1976)



**Şekil 3.1** Al - Cu denge diyagramı (Sadece alüminyumca zengin olan kısmı gösterilmiştir)

### 3.2. Çökelme Sertleşmesi. (Yaşlandırma)

Çökelme sertleşmesi alüminyum ve magnezyum alaşımları, bakır-berilyum alaşımları, yüksek nikel esaslı alaşımlar ve paslanmaz çelik türleri gibi katı eriyik yapabilen alaşımların mukavemetini artırmak için uygulanan çok önemli bir yöntemdir. Bu tür alaşımların mukavemetlendirilmesinde en etkili yol, tane içlerinde üniform olarak dağılmış geniş hacimli iyi bir çökelme oluşturmak amacıyla, yeterli düzeyde atomik yoğunluğa ve sıcaklık ile belirgin bir eriyebilirliğe sahip çözücü bir element kullanmaktır.

Alüminyum esaslı alaşımların çökelme sertleşmesi ilk olarak 1906 yılında Almanya'da metal bilimci Alfred Wilm tarafından çeliklerdeki sertleşmeye benzetilerek bulunmuştur. Wilm bileşimdeki %4 Cu, %0,5 Mg ve %0,5 Mn bulunan duralümin türü alaşımı 525 °C 'ye kadar ısıtıp sonra oda sıcaklığında hızla soğutmuştur. Bu işlem sonucu oldukça yumuşayan metal oda sıcaklığında bekletildiğinde sertliğinin arttığı görülmüştür. Bir haftadan az sürede oda sıcaklığında en yüksek sertliğe ulaşan bu alaşım, yaşlandırma veya çökelme sertleşmesi adıyla anılan olayın ortaya çıkmasını sağlamıştır. (Spiedel 1971)

Yaşlandırma sertleşmesi su verilmiş durumdaki alaşım ısıtılarak hızlandırılabilir. Bu işlem alaşımın solvus çizgisinin hemen aşağısındaki sıcaklıkta ısıtılması ve bu sıcaklıkta belirli bir süre tutulmasından ibarettir. Bu durum Şekil 3.1 'de belirtilmiştir.

Alaşımın yaşlandırma sıcaklığı olarak isimlendirilen bu sıcaklıkta, gerekli miktar ve türdeki çökelmeyi oluşturacak bir süre bekletilmesi sonucu istenen mukavemete ulaşılır. Yaşlandırma sıcaklığı bileşim, yapı ve alaşım türüne bağlıdır.

Sonuç olarak; eriyik ısıtma işlemi ve onu takibeden su verme işlemi sonucu elde edilen aşırı doymuş katı eriyik oda sıcaklığında bekletilerek (doğal yaşlandırma) veya yüksek sıcaklıklarda bekletilerek (suni yaşlandırma) yarı kararlı durumdan kararlı duruma geçer.

### **3.3. RRA Isıl İşlemi.**

Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında yüksek mukavemetin yanı sıra, yüksek korozyon direnci sağlanabilmesi amacıyla uygulanan geleneksel metod malzemenin aşırı yaşlandırılmasıdır. Bu yöntem malzemenin korozyon direncini yükseltirken malzeme mukavemetinde %10-15 azalmaya neden olmaktadır. Bu tür alaşımlarda mekanik özelliklerde bir azalmaya neden olmadan iyi korozyon özelliklerinin sağlanması oldukça önemlidir.

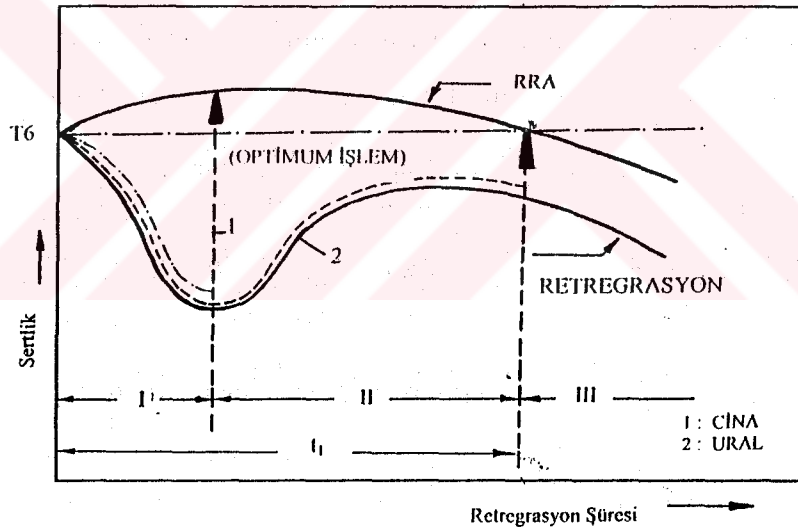
Bu konu üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ilk olarak Cina (1974) tarafından “retregrasyon ve yeniden yaşlandırma” (RRA) olarak adlandırılan bir ısıtma işlemi tanıtılmıştır. Cina tarafından yüksek mukavemetli 7075 alüminyum alaşımı üzerinde uygulanan RRA ısıtma işleminin, alaşımına T6 dayancının yanı sıra T73 şartlarındaki yüksek korozyon direncinide sağladığı öne sürülmüştür.

Cina 1-2,5 mm kalınlığındaki ince numuneler kullanarak yaptığı çalışmada T6 ısıtma işlemi görmüş numuneleri 200-280 °C arasında değişen bir sıcaklıkta kısa süreli ısıtarak suda veya havada soğuttuktan sonra T6 şartlarında yeniden yaşlandırılmıştır. Cina'nın çalışmada elde edilen retragasyon süresi - sertlik değişimi eğrisi Şekil 3.2 'de şematik olarak görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi numunelerin retragasyon işlemi sonucu düşen mukavemet değerleri, kritik retragasyon süresi içinde yeniden yaşlandırıldıklarında tekrar T6 mukavemetine ulaşmaktadır.

Retragasyon işlemi esnasında malzeme sertliğinde meydana gelen değişimler üç safhada incelenebilir.

- 1.safhada ilk birkaç saniye içinde malzeme sertliği ani bir düşüş göstererek bir minimuma inmektedir.
- 2.safhada malzeme sertliği artmaya başlamakta ve bu artış belli bir değere kadar devam etmektedir.
- 3.safhada ise malzemenin sertliği retregrasyon süresine bağlı olarak tekrar azalmaktadır.

Cina 'ya göre T6 ısıt işleminde görmüş olan 7075 alüminyum alaşımı minimum sertliğin elde edildiği süre kadar retregrasyona tabi tutulur ve soğutulursa, T73 işleminin GKÇ direncinin elde edildiği optimum işlem uygulanmış olur. Cina'nın çalışmasında ince numuneler kullanıldığından retregrasyon süresi 5-30 saniye arasında değişmektedir. Oysa 7075 alüminyum alaşımı uçaklarda genellikle kalın yapı elemanlarında kullanılmaktadır. Kalın parçalarda retregrasyon sıcaklığına ulaşmak için gerekli ön ısıtma süresi çok uzun olduğundan saniye mertebesindeki retregrasyon süreleri pratik yönden uygun değildir.



Şekil 3.2 Retregrasyon süresi ile sertliğin değişimi

Wallace ve arkadaşları (1981) tarafından yapılan çalışmada daha kalın numuneler üzerinde 180 -200 °C gibi düşük retregrasyon sıcaklıkları ve daha uzun retregrasyon süreleri denenmiştir.

Wallace DCB numuneleri kullanarak çatlak büyüme hızını gerilme şiddetinin fonksiyonu olarak ölçmüş ve RRA işlemini çatlak büyüme hızını önemli bir şekilde azalttığını göstererek Cina 'nın tezini doğrulamıştır. Bununla birlikte optimum

şartlar Cina'dan farklıdır. Retregasyon işlemi sırasında minimum mukavemete karşılık gelen retrefrasyon süresinin optimum şartlar olduğu kabul edilmiştir. Yeniden yaşlandırma sonrası maksimum mukavemete ulaşabilmek için gerekli optimum retregasyon süresinin, çatlak hızının ölçülmesi ile belirleneceğini ortaya çıkarmıştır.

Rajan (1982) ve Dahn (1983) retregasyon işlemi sırasında mukavemetteki ilk düşüşten sorumlu olarak Guiner-Preston (GP) bölgelerinin eski haline dönmesi olduğunu göstermiştir.

Ural K. (1987) yaptığı çalışmada T6 şatrlarındaki mekanik özelliklerin muhafaza edildiği en uzun süreli RRA işleminin , aynı zamanda T73 ısıtım şartlarındaki yüksek gerilmeli korozyon çatlama direncini sağladığını göstermiştir ve bunun optimum işlem olduğunu belirtmiştir.(Şekil 3.2)

Park (1988) transmisyon elektron mikroskobu kullanarak yaptığı araştırmada RRA işlemi sırasında mikro yapıdaki değişimleri ayrıntılı olarak göstermiştir. Buna göre retregasyon işlemi sırasında mukavemetteki ilk azalma  $\eta'$  partiküllerinin kısmi yada tam olarak çözünmesi ile gerçekleşmektedir.



## **BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI.**

### **4.1. Giriş**

En uygun kaynak yönteminin ve buna bağlı olarak da ilave metal (elektrod, kaynak teli) seçiminde dikkate alınacak hususlar aşağıda sıralanmıştır .

- Ana metalin bileşimi.
- Parçaların kalınlığı ve varsa, kalınlık farkları.
- Elde bulunan donanım.
- Kaynak edilecek parçanın çalışma koşulları. (korozyon, mekanik mukavemet, yorulma, sıcaklık, sızdırmazlık)
- Görünüm gereksinimleri . (renk, dikişlerin pürüzlülüğü)
- Nihai işlemler. (anodik koruma, boya, vb...)

**Tablo 4.1** Değişik kaynak yöntemlerinin uygulama sınırları

<b>Kaynak yöntemi</b>	<b>Minimum kalınlık (mm)</b>	<b>Max. kalınlık (mm)</b>
MIG	1,6	sınırsız
TIG	0,5	25
Oksi-asetilen	0,8	25
Örtülü elektrod	3,0	25
Direnç nokta	folio	4,75
Direnç dikiş	0,25	4,75
Basınç alım	0,4	20 cm 2
Basınç bindirme	folio	6
Ultrasonik kaynak	folio	3
Elektron ışın	0,6	160
Sert lehimleme	0,15	Sınırsız

Başarılı bir kaynağın, öbür metallerde de olduğu gibi, en önemli ve kaçınılmaz koşulu, ana metalin bileşiminin bilinmesidir. Eldeki ana metalin bileşimi, kayıtlardan bilinmiyorsa, atölye ölçeğinde yardımcı malzeme ile saptanabilir. Çeşitli alüminyum alaşımlarını ayırdetmek için dağlama yöntemi en uygunu olmaktadır

Bu arada, hafif metallerin, özellikle sıcakta, kuvvetli oksijen absorbe etme eğilimi kayda değerdir. Her ne kadar koruyucu oksit tabakası korozyon açısından faydalı olmakta ise de, metalinkinden çok yüksek olarak 2050 °C sıcaklıkta eriyen bu tabaka, kaynak sırasında eriyen metalin kaynaşmasını engeller ve dolayısıyla kaynak işlemini önemli ölçüde güçleştirir. Oksit tabakası gaz ergitme kaynağında dekapan aracılığıyla kimyasal olarak, basınçla kaynakta mekanik olarak ve koruyucu gaz kaynağında arkin kendisi tarafından tahrip edilir. Hafif metalleri havanın rutubetine ve asit ve eriyiklerin kimyasal etkilerine karşı daha dayanıklı kılmak için bunlara dekapajla özel bir yüzey koruma tabakası verilir. Alüminyum ve alaşımlarında Elokstal adıyla bilinen elektrokimyasal bir yüzey oksidasyonu yöntemi kullanılır.

Alüminyum alaşımları için başlıca seri imalatta MIG ve TIG kaynakları, öbür kaynak yöntemlerinin yerine yerleşmişlerdir. Bunlar optimum kaynak kalitesi ve asgari distorsiyon sağlarlar ve dekapan gerektirmezler. Alüminyum alaşımlarının çoğunluğu hem MIG, hem de TIG yöntemiyle kaynak edilebilip kaynak kabiliyetleri, bu her iki yöntem karşısında esas itibariyle aynıdır. En çok kullanılan alaşımlar aşağıdaki tabloda, kaynak kabiliyeti sırasına göre, dizilmişlerdir.

**Tablo 4.2** MIG ve TIG yöntemleriyle alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyeti

• **KOLAY KAYNAK EDİLEBİLEN ALAŞIMLAR:**

<u>DÖVME ALAŞIMLAR.</u>	<u>DÖKÜM ALAŞIMLAR.</u>
Saf Alüminyum, EC, 1060, 1100	43
2219	
3003, 3004	
5005,5050,5052,5083,5086,5154,5254,	
5454,5456,5652	
6061,6063,6101,6151	
7005,7039	

• **ÇOĞU UYGULAMADA KAYNAK EDİLEBİLEN ALAŞIMLAR:**

(Bazı uygulamalarda özel teknikler gerekebilir. )

<u>DÖVME ALAŞIMLAR.</u>	<u>DÖKÜM ALAŞIMLAR</u>
2014	13,108,A108
4032	214,A214,B214,F21,
	319,333,355,C355,356
	A612,C612,D612

• **SINIRLI KAYNAK EDİLEBİLEN ALAŞIMLAR: (Özel teknikler gerektirir. )**

<u>DÖVME ALAŞIMLAR</u>	<u>DÖKÜM ALAŞIMLAR</u>
2024	138,195,B195

• **KAYNAĞI TAVSİYE EDİLMİYEN ALAŞIMLAR:**

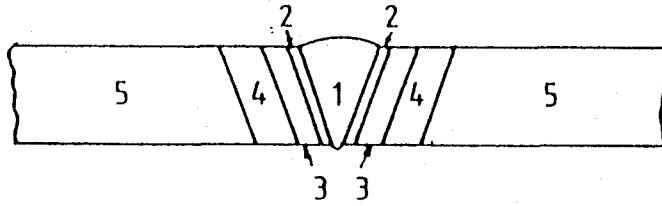
<u>DÖVME ALAŞIMLAR.</u>	<u>DÖKÜM ALAŞIMLAR.</u>
7075,7079,7178	122,142,220

#### 4.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti.

Dövme Alüminyum alaşımlarından en kolay kaynatılabilenleri , 1xxx,3xxx,5xxx ve 6xxx serileridir.2xxx ve 4xxx serisi alaşımlar özel ark kaynak teknikleri ile kaynatılabilirler.Yüksek mukavemetli 7xxx serisi alüminyum alaşımlarından 7075 ve 7178 serileri kaynak edilebilir,ancak ITAB’de sertlik ana metale göre daha fazladır.Bu nedenle kaynakları tavsiye edilmez.Buna karşılık 7005 ve 7039 alaşımları kaynak için özel olarak geliştirilmişlerdir ve kaynak kabiliyetleri iyidir.

Kaynak işlemi sırasındaki ısı girdisi , dövme sertleşmesinin etkilerini kısmen veya tamamen yok eder.Bu durumda ITAB’de akma sınırı düşer , düşük mukavemetli bölgenin boyutu kaynak hızı ve dövme sertleşmesinin miktarına bağlıdır.Genel olarak kaynaklar iyi birleştirme kalitesi ve süneklik gösterirler.

Orta ve Yüksek mukavemetli alaşımlarının kaynak kabiliyetinin düşük olmasının nedeni, ana metalden başka dört farklı bölgenin mevcut olması ve bunların etkilerinin yok edilememesidir. Şekil 4.1 ‘de 1. ve 3. bölgeler kaynak sonrası ısıl işleme cevap verebilirler,ancak fazla ısı girdisinin etkileri 2. bölgede kalacaktır.6xxx ve 7xxx serileri alaşımları kaynak edildiklerinde , sıcak çatlama meydana gelebilir.Özel olarak denetlenmiş kaynak süreçleri ile çatlama oluşumu asgariye indirilebilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir.



Şekil 4.1 Kaynak işlemi sonrası ITAB’de oluşan bölgeler.

1. Kaynak metali
2. Dar nüfusiyetli ,fazla ısınmış bölge.(kısmi ergime)
3. Ergiyik ısıt işlemler bölge.
4. Fazla yaşlanmış (yumuşamış) bölge.
5. Ana metal .(kaynaktan etkilenmemiş bölge)

Bölge 2'de fazla ısıtma etkisi ,kaynak ısısının ana metal içinde tane sınırı bileşenlerinin ergime ısını aştığında meydana gelir.Elektron ışın yöntemi ile kaynak edilen alaşımlarda ITAB , MIG ve TIG kaynaklarına göre çok daha dar olur.Ana metalin yüksek , ITAB'nin alçak mukavemetli olmaları nedeniyle ,T6 koşulunda alaşımların dikişleri ,kaynaklı halde düşük bir birleştirme kalitesi ve süneklik gösterirler.Kaynaktan sonra yapılan ergiyik ısıt işlemi ve yaşlandırma mukavemeti artırır ,ancak süneklikte artma görülmez.Kaynaklı konstrüksiyonlarda optimum nitelikler elde etmek için , tavllanmış koşulda yapılan kaynak işleminden sonra ergiyik ve yaşlandırma ısıt işlemlerinin yapılması gereklidir.

Dökme alüminyum alaşımları , gaz korumalı ark kaynağı ile kolayca birleştirilip tamir edilebilirler.Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, yeterli derecede temizleme işlemi uygulandığı, sac kalınlığına uygun olarak kaynak ağzı hazırlandığı, esas metale elverişli ilave metal (kaynak teli) ve kaynak dataları seçildiği zaman daima yüksek kaliteli kaynak bağlantıları elde etmek mümkündür. Bu arada kaynak işlemini uygulayan kaynakçıların da iyi yetişmiş ve ehliyetli olmaları gerekir.

#### **4.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Sıcak Çatlak Oluşumu.**

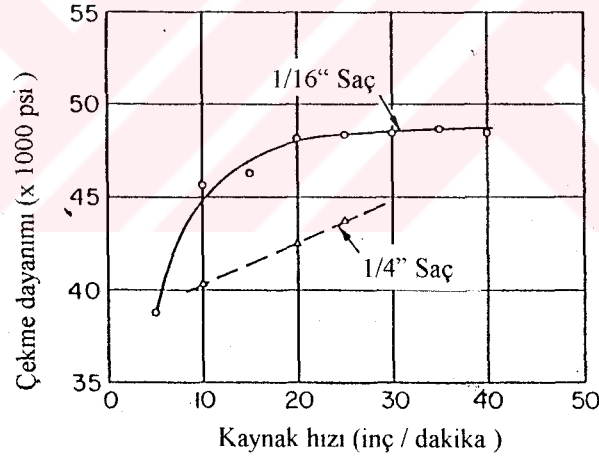
Sıcak çatlama, birçok halde alüminyum alaşımlarında görülen bir kusurdur.Alüminyum Alaşımlarının buna eğilimli olmasının yanında , kaynak sırasında birleşme yerinin tespit edilmesi gibi nedenlerden meydana gelirler. Sıcak çatlak saf alüminyum ve kaynak metalinde oluşmaz. Sıcak çatlak oluşumu aşağıda anlatılan önlemlerle önlenir.

#### 4.2.1.1. Kaynak Telinin Seçimi.

Alüminyum Alaşımlarının kaynağında ilave metal seçimi, dikiş çatlamasını yok etmede önemli bir etken olmaktadır. Çatlama genellikle, ana metalden daha yüksek alaşımlı ilave metal kullanmakla en aza indirilebilir. Örneğin 6061 alaşımı, 6061 ilave metalle kaynak edildiğinde çatlama fevkalade hassas olur; ama % 5 Si içeren kaynakta meydana gelen sıcak çatlak miktarını etkileyen sair nedenler arasında alaşımın katılma sıcaklık aralığı, genleşme katsayısı, ısıl gradien ,geri kalan sıvı hacminin katılmış malzeme hacmine oranı sayılır.

#### 4.2.1.2. Kaynak Hızının Seçimi.

Daha yüksek kaynak hızı uygulamak. Kaynak hızı arttıkça, kaynak bölgesine ısı girişi azalır. Böylece de sıcak metalle oda sıcaklığında olan metal arasındaki sıcaklık farkından hasıl olan gerilmeler daha az şiddetli olur.



**Şekil 4.2** Kaynak hızına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi

#### 4.2.1.3. Ön Isıtma Uygulanması.

Ön ısıtma uygulamak. Sıcaklık gradienini azaltarak ve daha hızlı kaynağa olanak sağlayarak kaynak bölgesinde katılma sırasında meydana gelen gerilmeleri azaltan ön ısıtma, sadece tespit edilmemiş birleştirmelerde kullanılır.

#### **4.2.1.4. Kaynak Yerinin Dizaynı.**

Bir alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi onun sıcak çatlamaya eğilimini etkiler. Kaynak metalinin kimyasal bileşimi, ana metalle ilave metal karışmasının ürünü olup, bu karışım sıcak çatlamaya yüksek derecede yatkın olabilir. Bu yatkınlığı azaltmak için birleşme yerinin dizaynı, nihai kaynak metalinde ana alaşım miktarını artıracak ya da azaltacak şekilde değiştirebilir.

### **4.3. Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri.**

#### **4.3.1. MIG Kaynağı.**

Alüminyum alaşımlarının ergime kaynağının çoğu MIG yöntemiyle yapılır. Kaynak nitelikleri genellikle ana metalinkilerine en azından eşit olur. Kaynak hızları, herhangi başka ark veya gaz yöntemlerinde elde edilebilenlerden yüksektir. IEB'ler, örtülü elektrod veya oksii-asetilen kaynağındakilerden daha dardır.

Argon korumasıyla ve elektrik akımı, kaynak banyosunun önünde ana metalin üstündeki oksit yüzeyini parçalar. Bu temizleme etkisinin, ana metal levhasını terkeden elektronlar ya da levhaya çarpan asal gaz ionları veya bu iki olayın birlikte vaki olmasına bağlandığı sanılır.

MIG yönteminin bir karakteristiğı olan enerjinin verimli kullanılışı, çoğu kez önısıtmayı gereksiz kılar. Dolayısıyla süreç kalın Al kesitlerinin kaynağında geniş ölçüde uygulanır.

#### **4.3.1.1. Kaynak Dikişlerinde Gözeneklilik.**

Bazı kaynaklı birleşmelerde sınırlı miktarda gözeneğe müsaade edilirse de bu kusur süneklik, yorulma ve çekme mukavemeti üzerinde ters etki yapar. Al kaynaklarında gözenekliliğın başlıca nedeni, kaynak banyosunda sıkışıp kalan gazlardır. Gaz kaçmaya vakit bulamadan metal donunca, gözenek hasıl olur. Gazlar, koruyucu gazda bulunabilen bulaşıcı maddelerden, hava ve sudan, kirli ana ve ilave metalden bulaşmalar, fazla uzun ark ya da şiddetli ark etkisinden ileri gelebilirler. Kaynak

banyosunda kalan gaz miktarı banyonun soğuma temposuna bağlıdır. Çeşitli gözeneklilik nedenleri ve önleyici tedbirler aşağıda gösterilmiştir.

### Gaz Sıkışması

Koruma gazı, hava veya gazlı bulaşıcılar, şiddetli ark etkisinin sonucu olarak kaynak banyosunda sıkışıp kalabilirler. Aşırı yüksek akım şiddetleri, kaynak banyosunda bir gaz kabarcığı üzerine metal yığarak gaz sürükleyebilir. Tüm kabarcık kaçmaya vakit bulmadan bu metal donar. Bu tip gözenekler genellikle şekil olarak düzensiz olur.

### Koruyucu Gaz

Koruyucu gaz tür ve bileşimi büyük çapta akım ileten ark sütununun kesitini ve dolayısı ile de elektrodda erime sonucu damlacıkları oluşturan kuvvetin şiddet ve doğrultusunu etkiler. Akımı ileten ark sütununun kesiti koruyucu gazın ısı iletme özelliğine bağlıdır; ısıyı iyi ileten koruyucu gaz halinde ark çekirdeği daralır, akım yoğunluğu artar ve sıcaklık yükselir. Karbondioksit ve Helium ısıyı iyi ilettiklerinden, bu gazların kullanılması halinde akım ileten ark çekirdeği argon veya argonca zengin gazlar haline nazaran daha ince oluşur.

### Hidrojen

Hava sıkışmalarına ek olarak bulaşıcılardan hidrojenin meydana gelmesi, alüminyumda gaz gözenekliliğinin bir başka nedenidir. Ergimiş Al, atomik hidrojene büyük eğilim arzeder. Oysaki katı Al, çok az hidrojen içerebilir. Şu halde, kaynak banyosu dondukça hidrojen yayımlanır. Donma temposu hızlı olduğundan gaz yüzeye yükselemez ve içerde kalıp gözenek oluşturur.

### Kaynak Banyosunun Soğuma Temposu

Kaynak banyosunda kalan gazın miktarı, banyonun katılaşma hızının bir fonksiyonudur. Banyonun ergime süresini ısı girdisi, kaynaktan ısı çıkışı oranı, alaşımın donma aralığı (katılaşma sıcaklığı), çevreleyen malzemenin sıcaklık ve



kütlesi saptar. Eğer kullanılmışsa, destek çubuğunun sıcaklık ve oluk şekli de ısı kaybı temposunu etkiler. Isı girdisi akım şiddeti yükseltilerek ve/veya ilerleme hızı azaltılarak arttırılır. Isı kaybını etkileyen faktörler genellikle sabittir.

#### **4.3.1.2. Kaynağın Uygulanması.**

Alüminyumun MIG kaynağında dikkate alınacak başlıca etkenler levha kalınlığı, alaşım ve elde bulunan donanımın tipidir. Bununla birlikte işe girişmeden önce prototip iş parçaları hazırlayıp bunlar üzerinde deneme kaynakları yapmak uygun düşer. Kaynağın kesin koşulları bu prototipler üzerinde saptanır.

Alüminyumun MIG kaynağı normal olarak dikişin sonunda bir krater bırakır. Bu krater çatlama eğiliminde olup çatlak sonradan kesintili kaynakta kırılmayı başlatabilir. Bu sorunun üstesinden gelmek için çarelerden biri, her dikiş parçasının sonunda kaynak yönünü tersine çevirip krateri doldurmaktır. Krater atlamasını önlemenin sair yollarından biri de arkı, işparasının dışında, sonradan atılacak bir sa üzerinde tutuşturup onu yine iş parçasının dışında bir sa üzerinde söndürmektir. Yağdan temizlemeden sonra bu alaşımlarda mekanik temizleme aranır. Paslanmaz elik dairesel fırça kullanılacaktır. Oksitlerin kimyasal yolla temizlenmesinde butyl alkol-fosforik asit tipinde eriyiklere daldırma yapılır. Sonra suyla iyice yıkanıp sıcak havayla kurutulur.

#### **4.3.1.3. Elle MIG Tekniği:**

Yüksek akım yoğunluğu ve bununla birlikte göreceli ince elektrod tel ve püskürme intikal şeklinin kullanımı, büyük kaynak hızlarını teşvik edip elle MIG kaynağını 3,2 mm ve daha kalın alüminyumun, bütün pozisyonlarda aynı rahatlıkla kaynağı için ideal kılar. İyi bir görüş sağlamak için tabanca (üfleç), alın ya da dış köşe kaynağının uzunlamasına yönünde işparasına bir 70-80° açıyla tutulur. Kaynak sağdan sola gider (sola kaynak), şöyle ki ergimiş banyo ana metale çarpar, ark etkisiyle alüminyum oksidi yüzey kabuğunun parçalandığı banyonun önünden işparasını “temizler”. Alüminyumun MIG kaynağında dikişler dar (ip dikiş) olup geniş salıntıdan, yetersiz argon örtüsünden ileri gelen kaynak metali oksitlenmesi nedeniyle, kaçınılacaktır. Meme (nozzle) ucu ile işparçası arasında 13 mm’lik bir

mesafe.Bu mesafe ark uzunluğunu kontrol eder ve uygun bir argon korumasını sağlar. Mümkün olduğu her yerde MIG üfleci iki elle tutulmalıdır; bu takdirde baş maskesi zorunlu olur. Önisıtma, 10-12 mm kalınlıktan itibaren zorunlu olup MIG kaynağında (dolgu ve kapak tabakaları için) mutlaka uygulanacaktır. Saç kalınlığı ve bileşimine göre bu sıcaklık 100 - 200°C olacaktır. Her halde sıcaklık, dikişin fazla yükseklik arzetyemeyip genişlemesine yayılmasını sağlayacak kadar yüksek olacaktır. Böylece de nüfuziyet hataları da iyice sınırlandırılmış olur. Pulsu MIG kaynağı da bu alanda çok şey vadetyemtedir şöyle ki 2 mm kalınlıktan itibaren bütün tabakalarda 1.6 mm elektrod teli kullanılabilir ve alçak akım şiddeti yoğunluğu sayesinde banyoya iyi hakim olunabilir. Güç pozisyonlarda kaynak da basitleşir. Çatlak tehlikesi de normal MIG'e göre daha azdır.

#### **4.3.1.4. MIG-MAG Kaynağında Ark Türleri ve Arkta Kaynak Metali Taşınımı.**

MIG-MAG kaynağında gerekli ısı enerjisi, iş parçası ve eriyen tel elektrod arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır.Elektrik arkındaki olaylar oldukça karışık ve arkın fiziksel açıklaması konumuz dışı olduğundan, olayı basitçe, iş parçası ve tel elektrod arasında kızgın gaz ve metal buharları tarafından elektriğin iletimi diye tanımlayabiliriz.

#### **Kısa Ark**

Kısa ark yöntemi ince elektrodlarla (0.6 ila 1.2 mm) kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti ile kaynak yapıldığında karşılaşılan bir ark türüdür. Burada ark oluşunca elektrodun uc kısmı hemen erimeye başlar ve burada bir damlacık oluşur, damlacık banyoya doğru akarken elektrod ve iş parçası arasında kısa devre oluşur, gerilim düşer, akım şiddeti yükselir damla elektrodan kopar ve kısa devre ortadan kalkar ve aynı olay tekrarlanır. Uygulanan akım şiddeti, ark gerilimi koruyucu gaz türü ve elektrod metaline bağlı olarak bu işlem saniyede 20 ila 200 kere tekrarlanır.

### Uzun Ark (Globüler metal taşınımı)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrodun uç kısmında erime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrod çapını aştıktan sonra elektrodan kopar ve yerçekimi yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer.

### Sprey Ark

Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, sprey ark halinde görülür. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrod ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlalar halinde geçişi ile gerçekleşir. Damlacıklar tel çapından çok küçüktür ve telden uzun ark halinden çok daha süratle ayrılırlar. Damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir.

Sprey ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığından ortaya çıkar.

### Darbeli (Pulsu) Ark

Bu yöntemin uygulanabilmesi için bu tür kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreticine gerek vardır. Burada sözü edilen darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirlerinden iyi ayırt etmek gereklidir. Darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmadan iş parçasına az ısı girdisi uygulanarak çalışmak mümkün olabilmektedir ve ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir.

**Tablo 4.3** Ark türlerinin seçim tablosu.

ARK TÜRLERİNİN UYGULAMADA SEÇİMİ.				
	<i>SPREY ARK</i>	<i>UZUN ARK</i>	<i>KISA ARK</i>	<i>DARBELİ ARK</i>
MIG	Alüminyum Bakır	Alüminyum	Alüminyum $S \leq 1,5$ mm.	Alüminyum Bakır
MAG	Yatay ve oluk pozis yonda kalın ve orta kalın parçaların iç köşe ve alın birleş tirmelerinde dolgu ve kapak pasoların da Oluk pozisyonun da kök ve dolgu pasolarında.	Alaşımız ve az ala şımlı çelikler .Yatay oluk ve yukarıdan aşağıya dik pozis yonlarda kalın ve orta kalın parçaların alın birleştirmeleri nin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda ince par çaların iç köşe ve alın birleş tirmelerinde. Her pozisyonda kalın parça ların alın birleştirmelerinin kök pasolarında. Tavan, içköşe tavan, yuka rıdan aşağı ve aşağıdan yukarı dik, korniş pozisyonlarında içköşe ve alın birleştir melerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda orta ve kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmele rinin dolgu ve kapak pasolarında. Kök paso için özel hallerde. Az ısı girdisinin uygu lanmasının gerekli ol duğu hallerde.

#### 4.3.1.5. MIG Metodu İle Alüminyum Kaynağında Pratik Öneriler.

- Kaynak işleminde önce kaynak yapılacak bölgenin paslanmaz çelik telli bir fırça ile temizlenerek oksitli tabakadan arındırılması gerekmektedir.
- Alüminyum kaynağının temel prensibi “sıcak ve hızlı” olmasıdır. Alüminyum kaynağında voltajın aynı kalınlıktaki bir çelik için gerekli voltajın üstünde tutulması ve kaynak hızının artırılması kaynak kalitesinde iyileşme sağlar.
- Alüminyum en doğal özelliği olan süper ısı iletkenliği, kaynağın uygun bir derinliğe yayılmasını (nüfuziyetini) engellemektedir. Kaynağın nüfuziyeti başlangıçta olduğu gibi çok yetersiz olabilir, fakat bir süre sonra kaynak yapılan parçanın aşırı ısınması kaynağın çok derine yayılmasına veya parçasının erimesine yol açmaktadır.

- Alüminyumun yumuşak bir malzeme olması, kaynak telinin herhangi bir tel sürücü mekanizma ile uygun bir şekilde beslenmesini güçleştirmektedir.
- Alüminyumun düşük erime sıcaklığına (1210 °F) sahip olması kaynak telinin erimesine (burnback) yol açar ve akım memesinin tıkanıp, kaynak telinin tel sürücüde veya torç içinde katlanıp sıkışmasına sebep olmaktadır.
- Her iki parça da (kaynak teli ve kaynak yapılacak parça) oksijenden kolaylıkla etkilenmektedirler. Aslında kaynak telinin oksitlenmesi halinde oksitli yüzeyin nüfuziyeti için normalden daha yüksek sıcaklıklara gerek duyulacağından kaynağın kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir.

#### 4.3.1.6. Kaynak Telinin Seçimi.

Alüminyum kaynağı telin seçimi ile başlar. Düşünülmesi gereken ilk faktör telin çapıdır. Telin çapı 0.6 mm kadar küçük olabileceği gibi 6 mm gibi büyük değerlerde olabilir. Telin çapının artması ile kaynak telinin beslenmesi kolaylaşır. Bu nedenle kaynak teli, kaynak yapılan parçanın kalınlığı ve uygulamanın doğası elverdiğince kalın seçilmelidir. Kaynak teli seçiminde ikinci önemli faktör telin türü ya da alaşımıdır. İki temel kaynak teli türü yaygın olarak kullanılmaktadır. (ER 4043 ve ER 5356). ER 4043 daha yumuşaktır ve bu nedenle bu telin beslenmesi daha zordur. Seçilen telin türü kaynak yapılacak alüminyum alaşımına uygun olmalı ve gerekli çekme ve süneklik özelliklerini sağlamalıdır.

**Tablo 4.4.** Alüminyum alaşımlarının TIG ve MIG kaynağı için istenilen dolgu metalinin kimyasal kompozisyonu

AWS sınıflandırılması	Bileşim, %					Diger Elementler		Alüminyum		
	Silikon	Demir	Bakır	Mangan	Magnezyum	Krom	Kalay		Herbiri	Toplam
ER1100	(d)	(d)	0.05-0.20	0.05	...	...	0.10	0.05	0.15	99.00 min(c)
ER2319(e)	0.20	0.30	5.6-6.8	0.20-0.40	0.02	...	0.10	0.05	0.15	rem
ER4043	4.5-6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	...	0.10	0.05	0.15	rem
ER4047	11.0-13.0	0.8	0.30	0.15	0.10	...	0.20	0.05	0.15	rem
ER4145	9.3-10.7	0.8	< 3.3-4.7	0.15	0.15	0.15	0.20	0.05	0.15	rem
ER5183	0.40	0.40	0.10	0.50-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25	0.25	0.05	0.15	rem
ER5356	0.25	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	0.10	0.05	0.15	rem
ER5554	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	0.25	0.05	0.15	rem
ER5556	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	0.25	0.05	0.15	rem
ER5654	(f)	(f)	0.05	0.01	3.1-3.9	0.15-0.35	0.20	0.05	0.15	rem
R242 0(g)(h)	0.7	1.0	3.5-4.5	0.35	1.2-1.8	0.25	0.35	0.05	0.15	rem
R295 0(g)	0.7-1.5	1.0	4.0-5.0	0.35	0.03	...	0.35	0.05	0.15	rem
R355 0(g)(i)	4.5-5.5	0.6(j)	1.0-1.5	0.50(j)	0.40-0.6	0.25	0.35	0.05	0.15	rem
R356 0(g)(i)	6.5-7.5	0.6	0.25	0.35	0.20-0.40	...	0.35	0.05	0.15	rem

**Tablo 4.5.** Alüminyumun gazaltı kaynağı için dolgu metali seçme klavuzu

Esas metal	319 0.	356 0.	511 0.	7005(a).	6061.	
	333 0.		512 0.	7039.		6063.
	355 0.	413 0.	514 0.	710 0.	6101.	
	435 0.	443 0.	A514 0.	711 0.	6151.	
				712 0.	6201.	
					6951	
1060, 1350	4145(c)(d)	4043(c)(e)	4043(c)(f)	4043(c)	4043(c)	4043(c)
1100, 3003						
alclad 3003	4145(c)(d)	4043(c)(e)	4043(c)(f)	4043(c)	4043(c)	4043(c)
2014, 2024	4145(p)	4145			4145	4145
2219	4145(c)(d)(f)	4145(c)(d)	4043(c)	4043(c)	4145	4145
3004, alclad 3004	4043(d)	4043(c)	4043(c)	4043(c)	4043(c)(e)	4043(c)(e)
5005, 5050	4043(c)	4043(c)	4043(c)	5356(f)	4043(f)	4043(h)
5052, 5652(b)	4043(c)	4043(c)(h)	5654(h)	5356(f)	4043(f)	4043(h)
5083		5356(c)(d)(f)	5356(f)	5183(f)	5356(d)(h)	5356(d)(f)
5086		5356(c)(d)(f)	5356(f)	5356(f)	5356(f)	5356(f)
5154, 5254(b)		4043(c)(h)	5654(h)	5356(h)	5356(f)	5356(f)
5454	4043(c)	4043(c)(h)	5654(h)	5356(h)	5356(c)(h)	5356(d)(h)
5456		5356(c)(d)(f)	5356(f)	5556(f)	5356(f)	5356(d)(h)
6061, 6063, 6101, 6201,						
6151, 6951	4145(c)(d)	4043(c)(h)	5356(d)(h)	5356(c)(d)(h)	4043(c)(h)	4043(c)(h)
6070	4145(c)(d)	4043(c)(f)	5356(d)(f)	5356(c)(d)(f)	4043(c)(f)	4043(c)(f)
7039, 7005(a),						
710 0, 711 0, 712 0	4043(c)	4043(c)(h)	5356(h)	5356(f)		
511 0, 512 0, 514 0, A514 0		4043(c)(h)	5654(h)(j)			
356 0, 413 0, 443 0.	4145(c)(d)	4043(c)(f)				

Esas metal	5454	5154,	5086	5083	5052,	5005,	3004,	2219	2014,	1100,
		5254(b)			5652(b)	5050	alclad		2014,	3003,
							3004		2014	alclad
							3004		2014	3003
1060, 1350	4043(c)(f)	4043(c)(f)	5356(d)	5356(d)	4043(c)	1100(d)	4043	4145	4145	1100(d)
1100, 3003										
alclad 3003	4043(c)(f)	4043(c)(f)	5356(d)	5356(d)	4043(c)(f)	4043(f)	4043(f)	4145	4145	1100(d)
2014, 2024								4145(g)	4145(g)	1
2219	4043(c)	4043(c)	4043	4043	4043(c)	4043	4043	2319(c)(d)		
3004, alclad 3004	5654(h)	5654(h)	5356(f)	5356(f)	4043(c)(f)	4043(f)	4043(f)			
5005, 5050	5654(h)	5654(h)	5356(f)	5356(f)	4043(c)(f)	4043(f)	4043(f)			
5052, 5652(b)	5654(h)	5654(h)	5356(f)	5356(f)	5654(h)(d)(h)					
5083	5356(f)	5356(h)	5356(f)	5183(f)						
5086	5356(h)	5356(h)	5356(f)							
5154, 5254(b)	5654(h)	5654(h)(h)								
5454	5554(d)(f)									
5456										
6061, 6063,										
6101, 6201,										
6151, 6951										
6070										
7039, 7005(a),										
710 0, 711 0,										
712 0										
511 0, 512 0,										
514 0, A514 0										
356 0, 413 0,										
443 0.										

**4.3.1.7. Koruyucu Gaz.**

Koruyucu gaz olarak kullanılabilen birçok argon ve helyum karışımları vardır, fakat argon gazının iyi bir iletme sağlaması, stabil ark oluşturması ve kaynağın sıçramasını önlemesi nedeniyle % 100 argon koruyucu gaz yaygın olarak tavsiye edilmektedir. Helyum daha sıcak bir ark oluşturup kaynağın daha derin yayılmasına yol açar. Koruyucu gaz tabakası kaynağı atmosferden ayrı tutması açısından çok önemlidir. Eğer kaynak akımına maruz kalıyorsa gaz akışı artırılmalıdır.

**4.3.1.8. Tel Besleme Ünitesinin Ayarı.**

Deneyim ve tekniğin rol oynadığı tel besleyicinin ayarlanması önemli bir noktadır. İlk olarak tel gerginliği belirlenmelidir. Tel üzerinde aşırı gerilme yumuşak olan

alüminyum telinin ezilip geri basınç oluşturmaya ve telin sıkışmasına neden olur. Ayrıca aşırı gerilme telin burularak hatalı kaynak oluşturmaya yol açar.

Telin kaynak torçuna doğru ilerlemesini güçleştiren engellere karşı telin belirli bir gerginlikte olması gerekir. Bu engeller (tozlar, katlanmış liner, tıkanmış akım memesi, vb.) geri basınç yaratıp telin katlanıp sıkışmasına neden olabilirler. Makaralar ile kaynak teli arasındaki kayganlık, telin durması halinde tele zarar vermeden dönebilmelerini sağlar. Fakat çok fazla gerginlikle çok az gerginlik arasında hassas bir denge vardır.

Tel gerginliğini ayarlamak için sıfırdan başlayıp yumuşak bir akışa ulaşıncaya kadar tel gerginliği artırılmalıdır. Kaynak telinin ilerlemesini tutmak suretiyle durdurarak sürücü makaraların tel üzerinde kaydığı gözlenmelidir. Alüminyum kaynağında önemli bir nokta sürücü makaraların seçimidir. Başka önemli bir noktada sürücü mekanizmada liner girişi ile sürücü makaralar arasındaki mesafedir. Bu mesafe mekanizmanın dizaynı elverdiğince küçük tutulmalıdır.

#### **4.3.1.9. Linerleri.**

Teflon linerler yaygın olarak tavsiye edilmektedir. İç yüzeyin kaygan olması nedeniyle telin aşınmasını ve sıkışmasını önler. Fakat teflon linerler çelik linerlerle karşılaştırıldığında daha az dayanıklıdır. Çelik linerler daha dayanıklı olmalarına rağmen yumuşak olan alüminyum telini aşındırıp açığa çıkan parçacıkların lineri tıkama tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır.

#### **4.3.1.10. Güç Kaynağını Ayarlanması.**

Alüminyum kaynağında diğer önemli bir nokta da kaynak makinasının ayarlanmasıdır. Alüminyum kaynağı için kutuplama (polarity) OCEP'ye ayarlanmalıdır. Alüminyum ısıyı iyi iletmesi nedeniyle kesin bir voltaj ayarı yapmak oldukça güçtür. Yapılması gereken şey, yüksek voltajla başlayıp erimeye yol açmadan kaynağın uygun bir derinliğe nüfuziyeti sağlanana kadar voltajı düşürmektir. Tel ilerleme hızının ayarlanmasında ise izlenecek yol; yüksek hızla başlayıp, hızı azaltarak kaynak yapılan parçanın kalınlığı için optimum hızı



ulaşılmalıdır. Bunun yanında kaynağın çıkardığı sesin düzenliliğine ve sabitliliğine dikkat edilmelidir.

**Tablo 4.6** Isıl işlem yapılabilir alüminyum alaşımlarının ark kaynağı kombinasyonlarında dolgu metali seçim klavuzu

Kaynak edilecek alaşımlar şartlar	Kaynaklanabilirlik					Mukavemet					Dolgu alaşımları					Süneklik					Korozyon direnci					
	2119	4043	5118	5556(T)	5554(R)	2119	4043	4145	5556(T)	5554(R)	2119	4043	4145	5556(T)	5554(R)	2119	4043	4145	5556(T)	5554(R)	2119	4043	4145	5556(T)	5554(R)	
2014, 2024																										
2014, 2024 or 2219	X	C B A				A	B A				A	B A				A	B B				A	B B				
2219	Y	C B A				A	C B				A	B B				A	B B				A	B B				
2219	X or Z	A A A				A	B B				A	B B				A	B B				A	B B				
2219	Y or Z	A A A				A	C B				A	B B				A	B B				A	B B				
6061, 6063																										
6061, 6063 or 6101	X	A B				A	B				A	B				A	B				A	B				
1100	X	A				A					A					A					A					
2014 or 2024	X	B A				A					A					A					A					
2219	X	A A				A	A				A	A				A	A				A	A				
3003, 3004, 5005 or 5050	X	A A				A	A				A	A				A	A				A	A				
5052, 5154, or 5454	X	A				A					A					A					A					
5083, 5086, or 5456	X	A				A	B				A	B				A	B				A	B				
6061, 6063, or 6101	X or Z	A A				A	B				A	B				A	B				A	B				
7005	X or Z	A A				A	B				A	B				A	B				A	B				
7005 or 7039	Y or Z	A A				A	B				A	B				A	B				A	B				
5032, 5154, or 5454	X	A				A	B				A	B				A	B				A	B				
5083, 5086, or 5456	X	A				A	B				A	B				A	B				A	B				
6061 or 6063	X	A				A	B				A	B				A	B				A	B				
7005 or 7039	Y or Z	A				A	B				A	B				A	B				A	B				
7005 or 7039	Y or Z	A				A	B				A	B				A	B				A	B				
7075	X	A A B				A	B				A	B				A	B				A	B				
7075 or 7178	Y or Z	A A A				A	B				A	B				A	B				A	B				



### 4.3.2. TIG Kaynağı.

TIG kaynak yöntemi günümüzde, alüminyum ve alaşımlarının kaynağında geniş çapta kullanıldığından büyük bir önem taşır. Bu konuda TIG kaynak yönteminin başlıca üstünlükleri şöyle sıralanabilir .

- Yüksek bir kaynak hızının sağlanması
- Kaynak enerjisinin belirli bir bölgeye yoğunlaştırılması
- Isıl çarpımların azlığı
- Mekanik özelliklerin çok iyi bir şekilde korunabilmesi
- Sıhhatli kaynak dikişlerinin elde edilmesi
- Kaynak sonrası bir temizleme işlemine ihtiyaç göstermemesi
- Kolay bir şekilde mekanize edilmesi

TIG “Tungsten Inert Gas” yönteminde kaynak arkı ergimeyen bir tungsten elektrot ile kaynak yapılan iş parçası arasında oluşur. Ark, elektrot ve ergimiş kaynak banyosu havanın zararlı etkisinden argon, helyum veya her ikisinin belirli oranlardaki karışımları ile korunur .Koruyucu gazın soy bir gaz olması nedeni ile oksidasyon ve nitrur oluşumu gibi, istenmeyen durumlar önlenir.

#### 4.3.2.1. Koruyucu Gazlar .

Alüminyum ve alaşımlarının TIG kaynağında koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılır. Ancak özel hallerde helyum veya argon-helyum karışımları kullanılmaktadır.

#### Argon

Argon, helyuma göre daha düşük bir iyonizasyon enerjisine sahiptir (15,7 eV). Bunun için kolayca bir plazma meydana getirir. Ark stabil ve sakin yanar. İyi bir elektrik iletkenliğine sahiptir. Isı iletkenliği kötüdür. Kaynak banyosunun yüzey gerilimi yüksektir, sıçrama yapar ve tipik argon parmağı şeklinde bir nüfuziyet sağlar; ark gerilimi düşüktür ve ısı girdisi azdır Sarfiyatı helyumdan daha azdır.

## Helyum

Helyumun iyonizasyon enerjisi yüksektir (24,5 eV). Dolayısıyla uzun bir ark boyuna ihtiyaç gösterir. Bu ark gerilimini yükseltir. Bunun sonucunda kaynak yerine verilen ısı miktarının yükselmesi, dikişin oluşumuna ve kaynak sırasındaki davranışına tesir eder. Nüfuziyet, tipik argon parmağı formunu kaybeder ve dikiş genişler. Kaynak hızı yükselir. Kaynak arkı sakin değildir. Isı iletkenliği iyidir.

## Helyum-Argon Karışımı

Uygulamada çok kere iki gazın iyi özelliklerinden faydalanarak, gazaltı kaynağında koruyucu gaz olarak helyum-argon karışımları kullanılır. Böylece kaynak yerinde oluşan ısı, isteğe göre helyum miktarının fazlalaştırılması veya azaltılması ile sağlanır. Helyum miktarı arttıkça vizkozite azalır ve kaynak hızı yükselir.

### **4.3.2.2. Elektrotlar.**

TIG kaynağında çok yüksek ergime noktasına sahip (3340°C) bulunan tungsten elektrotlar kullanılır. Günümüzde kullanılan tungsten elektrotlar % 2 kadar toryumla alaşımlandırılmıştır (bazıları da zirkonyumla). Elektrot ucunun formu ark ve parçaya verilen ısıya tesir eder. Ucu yarım yuvarlak şekillendirilmiş bir silindirik elektrot ile yapılan kaynakta geniş fakat derinliği az bir nüfuziyet oluşur. Üte yandan ucu konik olan bir elektrot ile aynı akım şiddetinde yapılan kaynakta ise, dar ve derinliği fazla bir nüfuziyet oluşur.

### **4.3.3. Elektrik Ark Kaynağı.**

Bu yöntemle bütün alüminyum türleriyle ısıl işlem yoluyla sertleşmeyen alaşımları kaynak etmek mümkündür. Yapısal sertleşmeli alaşımlar arasında Al-Si-Mg ve Al-Mg-Si tipi alaşımlar da uygun şekilde örtülü elektrodla birleştirilebilirler; ancak dikişe yakın bölgelerde mekanik karakteristikler düşer. Çinko ve magnezyumlu alaşımlar, kaynaktan sonra herhangi bir işlemi gerektirmeden, mekanik karakteristiklerinin az çok tümüne yeniden sahip olurlar.

Örtülü elektrodla metal-ark kaynağında karşılaşılan bir güçlük, arkın kesilmesiyle ortaya çıkar: Elektrodun ucunu ergimiş dekapan tabakası kaplar. Bu oluşma temizlenmeden (genellikle çubuğu işparçası veya başka bir yüzeye vurarak) arkın iyi bir yeniden tutuşturulması mümkün olmaz.

#### **4.3.3.1. Kaynak İşlemi.**

##### Hazırlık

Alüminyum üzerinde kaynaklı birleştirmelerin tasarımında önemli husus, ani kesit ve kaynak yönü değişmelerinden kaçınmaktır. Bunu sağlamak için bazen birleşecek parçalar arasına ara parçalar koymak kolaylık sağlayabilir. Takviye plakaları, kesitleri düzenli olarak azalacak şekilde kesilirler.

##### Yüzeylerin Temizlenmesi

Kaynak edilecek parçalar genellikle önceden kesilmiş, şekillendirilmiş, talaşlı işleme tabi tutulmuş olur. Bu itibarla bu işlemlerden kalan yağın tam temizlenmesi, yüksek kalitede kaynak için kaçınılmaz bir koşuldur.

##### Elektrod Seçimi

Alüminyumun metal-ark kaynağı için AWS Spesifikasyonu A5.3'e göre iki tip elektrod, 1100 ve 4043 alaşımlarıdır.

Alaşım 1100, en az 8,5 kg/mm<sup>2</sup> kopma mukavemetli, bir terk edilen metal veren ticari olarak saf (% 99) alüminyumdur. Genel amaçlı işlerin çoğuna uygun olan alaşım 4043, yaklaşık % 95 Al ve % 5 Si içerir ve 10 kg/mm<sup>2</sup>'lik kaynak metali mukavemetine sahiptir. Korozyona mukavemetin arandığı uygulamalarda elektrodlar, mümkün olduğu kadar ana metal bileşimine yakın alanlardan seçileceklerdir. Kaynak dikişi gözenekliliğinin çoğu, elektrod örtüsündeki rutubete bağlıdır. Bu nedenle tamamen kuru olduğundan şüphe edilen elektrodlar kaynaktan önce 175-200 °C'ta bir saat süreyle fırınlanacaklardır.

## Önısıtma

Alüminyum parçaların 200°C'a önısıtılması istenir ve levha kaynağında bu işlem gereklidir. Önısıtma, oksı-asetilen üfleci ya da elektriksel dirençle yapılabilir.

## Uygulama Teknikleri

Alüminyumun örtülü çubuk elektrodla kaynağında arkın tutuşturulması, çelikte olanıkinden farklıdır. Hem Al elektrod hem de ana metal az çok derhal ergiyip katılaştıklarından, elektrod yapışması bir sorun olabilmektedir. Bundan kaçınmak için ark, elektrodu ana metalin yüzeyi üzerinde bir fırçalama hareketi yaparak tutuşturulur. Başlangıçta elektrod dikeye yakın tutulacaktır. Ark istikrar bulduktan sonra elektrod, tamamlanmış dikişe yönelik olmak üzere, ilerleme yönünde 20-30° yatırılabilir. Çok fazla eğim, püskürme ve gözeneklere neden olabilir.

## Kaynak Sonrası İşlemler

Mümkün olduğu kadar kaynak tek pasoda yapılacaktır. Çok pasolusu gerektiğinde, iyi sonuç almak için pasolar arasında özenli cüruf temizliği esastır. Bu, çoğu kez mekanik yolla dönel tel fırça, yuvarlak başlı veya sivri cüruf çekici ile olur.

## Pozisyonlar

Her mümkün olduğu yerde, yerde yatay pozisyonda kaynak yapılacaktır. Yatay düzlemde dış köşe kaynakları, iş parçasını aşağıya doğru yaklaşık 20°de pozisyona getirmekle en iyi sonuç alınır. Tavan kaynağı gerektiğinde, ince ip dikiş dizileri şeklinde çekilecektir. Bindirme ve dış köşe kaynakları, elektrodu yataya göre 45°de tutarak yapılabilir.





#### **4.3.4. Oksi-asetilen Kaynağı.**

##### **4.3.4.1. Kaynak İşlemi.**

###### Kaynak Alevi

Gaz ergitme kaynağı her tür hafif metala uygulanabilir; bunda oksii-asetilen alevi en iyi sonucu verir. Bununla birlikte hafif metallerin kaynağında “hafif” alevle çalışılır yani belli bir üfleç memesi numarası için uygulanan oksijen basıncından 0.2-0.4 atü kadar daha az basınca ayarlanır. Sakin ve sivri yanması gereken kaynak alevi normal veya hafif asetilen fazlalı (karbürleyici) aleve ayarlanacak , dış örtülü alev (Oksitleyici) alevden kesinlikle kaçınılacaktır. Hiçbir surette alevin beyaz konisi iş parçasına temas etmeyecektir.Ön ısıtma gereği, bilinen nedenlerle, burada da önemini koruyor.

###### Kaynak Teli

Bunların seçimine ait öneriler, yukardaki tablolarda verilmiştir. Sonradan ısıt işleme ya da eloksallamaya tabi tutulacak iş parçaları için mümkün olduğu kadar ana metalle aynı veya buna yakın bileşimde kaynak teli kullanmakta yarar vardır.

###### Dekapan

(Redükleyici) Asetileni fazla alev, oksit tabakasını çözmeye yetmediğinden bir dekapan kullanılması kesinlikle gereklidir Dekapansız kaynak edilebilir dökme silumin (Al-Si) dışında bütün hafif metal alaşımlarında dekapan kullanılması zorunludur. Kimyasal açıdan hafif metal dekapanları, alkali ve toprak-alkali metallerin (sodyum, potasyum, lityum) klorür ve flüorürlerinden oluşur.

###### Kaynak Ağzı Hazırlığı

Hafif metallerin oksii-asetilen kaynağında mümkün olduğu kadar küt alın şekillerine yer verilmelidir. Önemle üzerinde durulması gereken bir önlem de, her türlü ağız

şekillerinde, keskin köşe ve sivriliklerin eğe ile alınmasıdır şöyle ki bunlar, alevle temasta derhal yanarlar, yani oksit oluştururlar ve dikişe dahil olurlar.

#### **4.3.4.2. Gaz Ergitme (oksi-asetien) Kaynağının Avantajları.**

Ucuz, basit ve kolay taşınabilir teçhizat; kullanılması çok kolay bir üfleç; bu üfleç erişilmesi güç yerlerde ve zor pozisyonlarda iyi kullanılabilir; ucuz dikiş ön hazırlığı ,özellikle kalın saçların çok pasolu kaynağında, dikişlerin sıcak olarak çekişlenebilme olanağı ki, böylece fevkalade düz ve kolay temizlenebilir yüzeyler elde edilir. Bu, örneğin besin maddeleri kaplarında aranan bir sonuçtur. Bunların dışında da yüksek korozyon dayanımlı bir kaynak elde edilir.

#### **4.3.4.3. Gaz Ergitme (oksi-asetilen) Kaynağının Dezavantajları.**

Dikiş içine girmelere neden olabilecek bir dekapanın kullanılması, bu dekapanın korozyona götürebilmesi nedeniyle bunun artıklarının temizlenmesi gereği (pahalı kaynak sonrası işler); dikişin her iki yanında geniş IEB'ler, ıslah edilmiş veya sertleştirilmiş hafif metal alaşımlarında işparçası düzeyinde zayıf mukavemetli bölgeler meydana getirirler ; gaz ergitme kaynağında meydana gelen büyük distorsiyonlar, pahalı düzeltme işlemlerini gerektirirler.



## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.**

### **5.1 Amaç.**

Deneysel çalışmaların amacı MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilmiş 7075 Alüminyum alaşımında mekanik özelliklerin ve korozyon direncinin değişimini araştırmaktır. Deneysel parçası olarak 25,4mm (1") kalınlığındaki T6 ve RRA ısıtılmasına tabi tutulmuş 7075 Alüminyum alaşımı malzemeler kullanılmıştır. Kaynak sonrası sertlik değişimlerinin saptanmasında Rockwell-B sertlik ölçme yöntemi uygulanmıştır. Gerilmeli korozyon çatlaması direncinin saptanması için gerilmeli korozyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda C.M.Liao'nun CORROSION (1993) dergisinde yayınlanan makalesinden faydalanılmıştır. Liao tarafından yapılan deneylerde ; T6 ısıtılmasına tabi tutulmuş 7075 Alüminyum alaşımında ana metal , kaynak metali ve ITAB 'daki gerilmeli korozyon direnci ile sertlik değişimleri incelenmiştir. Biz yaptığımız çalışmada T6 ısıtılmasının yanında RRA ısıtılması uygulanmış 7075 Alüminyum alaşımındaki Gerilmeli korozyon direnci ve sertlik değişimlerini inceledik. Ayrıca 5 mm kalınlığındaki test numunelerinde farklı MIG kaynağı uygulamaları yapılarak sertlik değişimlerini incelenmiştir.

### **5.2 Malzeme.**

Deneysel çalışmalarda kullanılan 7075 Alüminyum alaşımı Seydişehir Alüminyum fabrikalarında üretilmiştir. 150 mm çapında ve 100 mm boyunda silindirik halindeki döküm ingot testere ile kesilerek 30 mm kalınlığında 2 adet test parçası elde edilmiştir. Bu parçalara Tübitak'ta haddelendirme işlemi uygulanarak kalınlıkları 25,4mm (1") 'ye indirilmiştir. Kullanılan 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 5.1 'de verilmiştir. Test parçaları haddelendikten sonra parçalara ayrı ayrı T6 ve RRA ısıtılması uygulanmıştır. Tablo 5.2 'de 7075 Alüminyum alaşımına uygulanan T6 ve RRA ısıtılmasına ait ısıtılma şartları verilmiştir.

**Tablo 5.1** 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

<i>Element</i>	<i>Zn</i>	<i>Mg</i>	<i>Cu</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>
<i>Ağırlık</i>	5.1-6.1	2.1-	1.2-	0.40	0.50	0.30	0.20	Balans
<i>%</i>		2.9	2.0					

**Tablo 5.2** 7075 Alüminyum alaşımının ısıtım şartları

<i>Isıtım işlem</i>	<i>Isıtım işlem sıcaklık ve süreleri.</i>	
<i>T6</i>	1) Tavlama.	(465 ° C - 2.5 saat)
	2) Suda soğutma.	
	3) Suni yaşlandırma.	(120 ° C - 24 saat)
<i>RRA</i>	1) Tavlama.	(200 ° C - 75 Dakika)
	2) Suda soğutma.	
	3) Suni yaşlandırma.	(120 ° C - 24 saat)

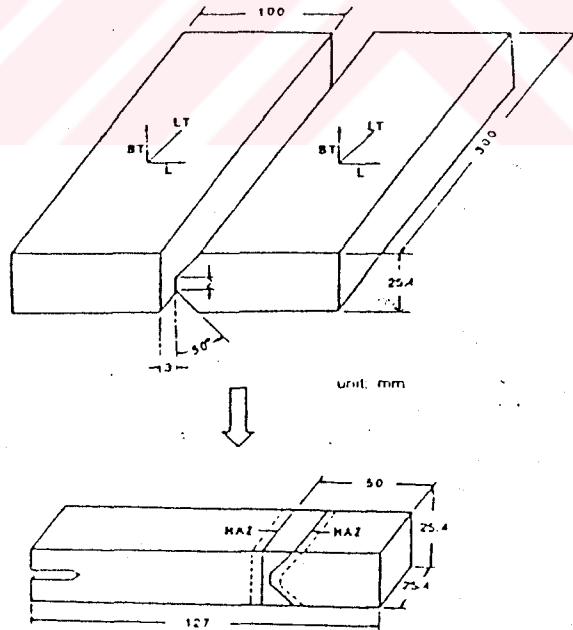
### 5.3 Test Parçalarının Hazırlığı.

Haddeleme işlemi uygulanmış 7075 Alüminyum alaşımı parçasında haddeleme doğrultusunun farklı kombinasyonları ile iki farklı birleştirme dizaynı kabul edildi. K tipi kaynak ağızı açılan test parçaları MIG kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Kaynak uygulaması diğer bölümde anlatılmıştır.

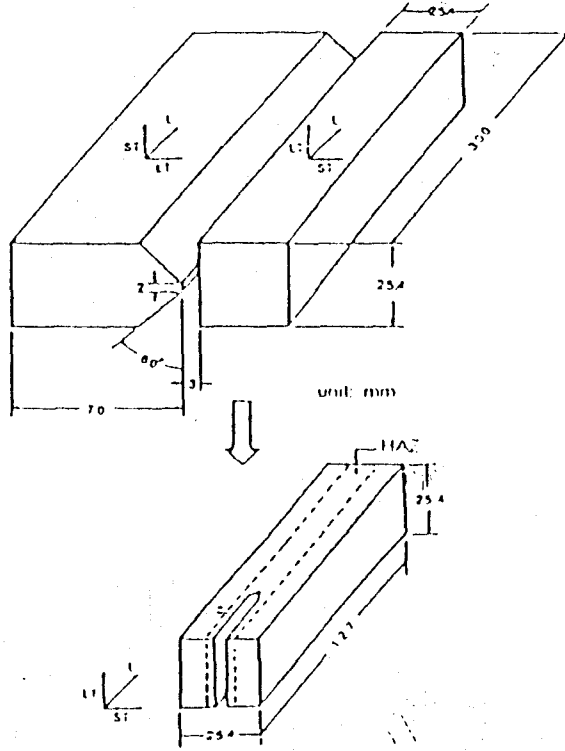
Özel olarak dizayn edilen 1.Tip test parçası , Şekil 5.1 'de şematik olarak verilmiştir. Bu şekil çentiğin kaynak doğrultusuna dik olduğunu göstermektedir. Bu tip test parçasında çatlak haddeleme doğrultusundaki kaynak doğrultusuna dik olarak ilerleyecektir. Bu çatlak ana metalden ITAB ve kaynak metaline doğru ilerleyeceği anlamına gelmektedir.

Şekil 5.2 'de özel olarak dizayn edilmiş 2.tip test parçası şematik olarak gösterilmiştir. Çentik ITAB' da yerleştirilmiştir. Çatlak ITAB 'da kaynak ve haddeleme yönüne paralel olarak ilerleyecektir.

Test numunelerinden birine T6 , diğerine RRA ısı işlemleri uygulandıktan sonra , 1.Tip ve 2.Tip test numunelerinden hazırlanmıştır.Kaynak işleminden sonra parçalar kaba ölçülerinde hidrolik testere ile kesilmiş daha sonra freze taezghında tam ölçülerinde işlenmiştir. Çentik açma işlemi için 1.mm kalınlığında , V ağızlı dairesel freze çakısı kullanılmıştır.



**Şekil 5.1** 1.Tip DCB test parçasının şematik gösterimi



**Şekil 5.2** 2.tip DCB test parçasının şematik gösterimi

#### 5.4. Kaynak İşleminin Uygulanması.

Bu deneyde T6 ve RRA ısıt işlemleri uygulanmış iki ayrı deney parçası aşağıda belirtilen şartlarda kaynak edilmiştir.

**Tablo 5.3** Test parçalarına uygulanan MIG kaynak işlemine ait kaynak dataları

<u>KAYNAK USULÜ</u>	: MIG -Gazaltı Kaynak Yöntemi.
<u>KAYNAK MAKİNASI</u>	: ESAB - 450.Amper - Su soğutmalı - Pulsu Kaynak Makinası.
<u>KAYNAK AKIMI</u>	: $I_k = 260$ .Amper
<u>KAYNAK GERİLİMİ</u>	: $U = 27$ .Volt
<u>KORUYUCU GAZ</u>	: (%100) Saf Argon DIN 32526-II
<u>ELEKTROD</u>	: ER 5183 (AWS Er 5183) - 1,2mm MIG kaynak teli.
<u>TEL İLERLEME HIZI</u>	: $v = 8$ .m/dak
<u>KORUYUCU GAZ DEBİSİ</u>	: $Q = 12$ .lt/dak
<u>KAYNAK PASOSU</u>	: 1.Paso kök , 2.Paso dolgu .

#### **5.4.1 İlave Kaynak Tertibatı.**

Kaynak telinin sürüldüğü torç spiralli çelik malzeme kaynağı için çelik malzemedan dizayn edilmiştir. Ancak Alüminyumun sertliği düşük olduğundan telin ezilmemesi ve spiral içinde sıkışmaması için teflon spiralli kaynak torcu kullanılmıştır. MIG Sürücü ünitesinde , kaynak telini torca sürmeye yarayan makaraların daha rahat sürme yapabilmesi amacı ile derin yüzey tırtıllarına sahip makaralar kullanılmıştır.

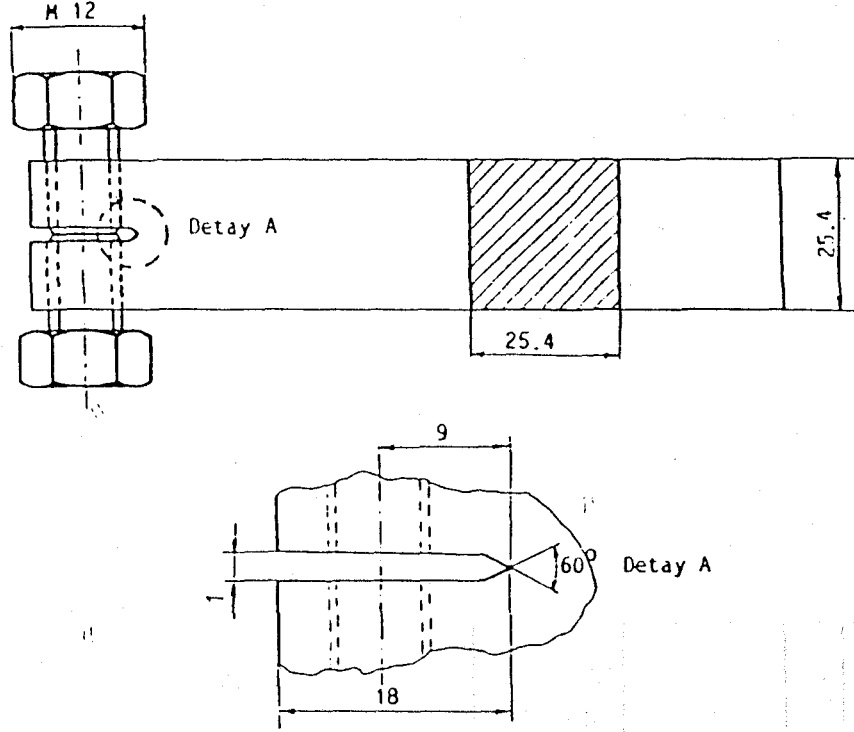
#### **5.4.2. Kaynak İşleminin Yapılması.**

Kaynak bölgesinde uniform bir ITAB sağlamak için K tipi köşe kaynak ağızı hazırlanmıştır. Kaynak işlemi MIG -gazaltı kaynak sertifikasına sahip kaynakçı tarafından yapılmıştır. Pasolar arasında , malzeme sıcaklığının fazla yükselmesine engel olmak amacı ile malzeme soğumaya terk edilmiştir.

### **5.5. Gerilmeli Korozyon Deneyleri.**

#### **5.5.1. Deney Yöntemi**

T6 ve RRA ısıtıl işlemi uygulanmış 7075 Alüminyum alaşımlarının GKÇ dirençlerindeki değişimlerinin araştırılması için yapılan gerilmeli korozyon deneylerinde Dahlberg (1967) ve Hyatt (1971) tarafından gerçekleştirilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem özellikle yüksek mukavemetli Alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyon deneyleri için geliştirilmiş olup , diğer yöntemlere göre önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Bu avantajların başlıcaları ; uygulama ve numunelerin imalat kolaylığı , ön yorulma çatlaklarına gerek olmaması , gerilme uygulaması için özel bir tertibata gerek olmaması ve tek bir deney ile malzemenin GKÇ direnci özelliklerinin belirlenmesidir. Şekil 5.3 'de bu yöntemde kullanılan DCB numunesinin şekli ve boyutları verilmiştir. Numunelerin çentik açılan yüzeyleri , çatlak boyunun net bir şekilde ölçülmesi için parlatılmıştır.



**Sekil 5.3** Gerilmeli korozyon deneylerinde kullanılan DCB numunesi.

Şekilde görülen civataların karşılıklı olarak döndürülmesi ile çentik açılmaya zorlanmaktadır. Belli bir yükleme sonucunda çentik ucunda mekanik olarak küçük bir çatlak meydana gelmekte ve bu esnada yükleme durdurulmaktadır. Çatlak ucundaki gerilim şiddeti faktörü  $K_1$  aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$K_1 = \frac{v \cdot E \cdot h \sqrt{3h(a+0,6h)^2 + h^3}}{4 \left[ (a+0,6h)^3 + h^2 \cdot a \right]} \quad (5.1)$$

Burada ,

$v$  : Yükleme esnasındaki açılma miktarı. (mm)

$E$  : Malzemenin elastiklik modülü (  $7,1 \cdot 10^{10}$  N/m<sup>2</sup>)

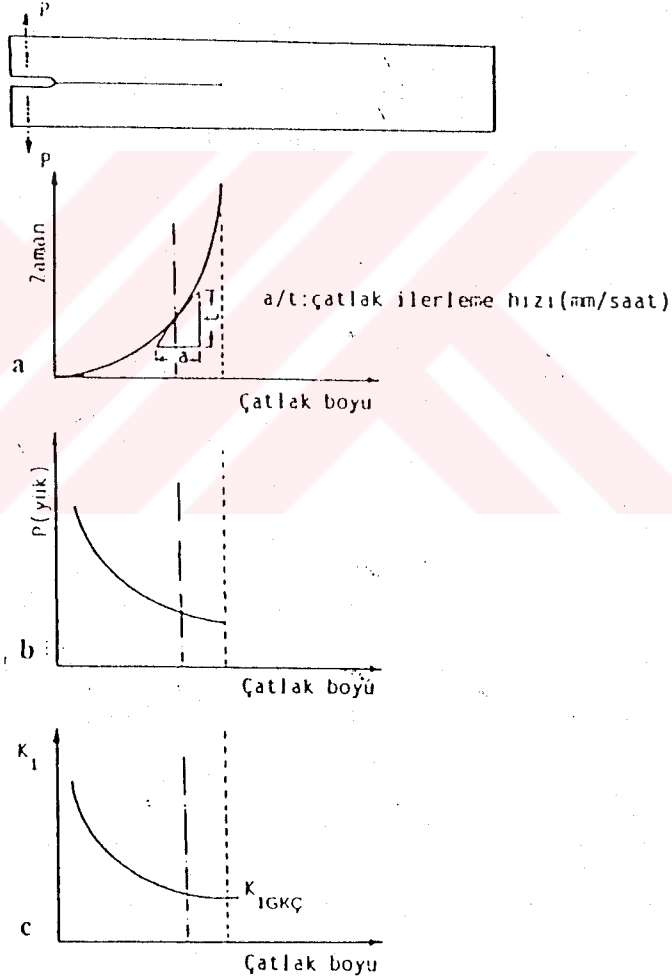
$a$  : Yükleme eksenine göre çatlak boyu. (mm)

$h$  : Numunenin yarı kalınlığı.

$K_1$ : Gerilim şiddeti faktörü.

Çatlatılmış numune korozif bir etkiye maruz kaldığında , çatlak ucundaki gerilmeli korozyon etkisi çatlağın büyümesine sebep olacaktır. Deney sırasında çatlak açılma miktarı  $v$  , değişmediğinden çatlağı ilerlemeye zorlayan  $P$  kuvveti ve çatlak ucundaki gerilim şiddet faktörü  $K_I$  , çatlak boyu arttıkça azalacaktır. Şekil 5.4' de  $P$  kuvveti ve  $K_I$ 'in çatlak boyuna bağlı olarak değişimi görülmektedir. Belli bir çatlak boyuna erişildiğinde  $K_I$  değeri malzemenin gerilmeli korozyon şartları altındaki kritik gerilim şiddeti faktörü olan  $K_{IGKÇ}$  değerine eşit olacaktır .

$K_{IGKÇ}$  Malzemenin gerilmeli korozyon direncini karakterize eden önemli bir özelliğidir. Deney sırasında ayrıca çatlak boyunun zamana göre değişimi ölçülerek yine önemli kriterlerden biri olan çatlak ilerleme hızı ( $da/dt$ ) değeri tespit edilmiştir.



**Şekil 5.4** DCB numunesi ile yapılan gerilmeli korozyon deneyinde sabit bir çatlak açılması ( $v$ ) değeri için :

- Çatlak büyümesinin zamana göre değişimi.
- Çatlağı açmaya zorlayan kuvvetin çatlak boyuna göre değişimi.
- Çatlak boyunun gerilim şiddeti faktörü  $K_I$  'de etkisi.

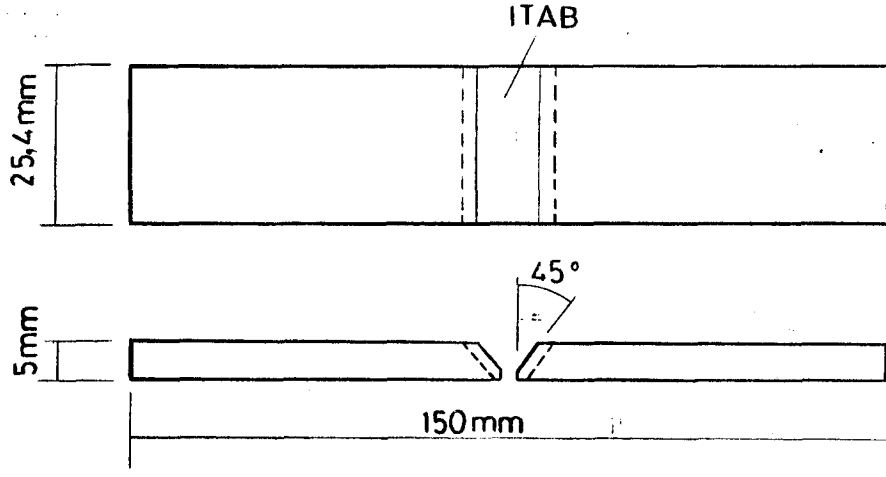
### **5.5.2. Korozyf Madde Uygulaması.**

Önceden çatlatılmış DCB numunelerinde gerilmeli korozyon çatlağında ilerleme oluşturmak için % 3.5 NaCl içeren standart sulu çözelti kullanılmıştır. Damıtık su kullanılarak hazırlanan bu çözelti periyodik olarak günde üç defa çatlak ucuna damlatılmıştır. Çatlak boyu optik bir ölçme sistemi kullanılarak belli aralıklarla 0,001 mm tamlığında her iki çatlak yüzeyinde ölçülmek kaydı ile bunların aritmetik ortalaması alınarak çatlağın zamana göre değişimi saptanmıştır. Çatlak boyunu ölçmeden önce çatlaklı yüzeyler parlatılmıştır. Çatlak ucunda korozyon artıklarının zamanla birikmesi nedeni ile çatlak boyunun okunması güçleşeceğinden , daha önce parlatılmış olan bu yüzeyler Alüminyum Oksit tozu ile silinerek korozyon artıklarından arındırılmış ve böylece çatlak ucunun net bir şekilde görülebilmesi temin edilmiştir.

### **5.6 MIG Kaynak İşleminde Sertlik Değişimi Deneyleri.**

Alüminyum alaşımlarına uygulanan kaynak yöntemi ve uygulama şeklinin , mekanik özelliklerin değişimine olan etkisi farklı olmaktadır. Mekanik özelliklerin değişimini tespit etmek amacı ile bu deney yapılmıştır. Test malzemesi olarak 7075 Alüminyum alaşımı seçilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış, T6 ısıl işlemi uygulanmış ve RRA ısıl işlemi uygulanmış test parçalarından ikişer adet hazırlanmıştır. Test parçalarının birer tanesinin kaynak işleminde kaynak pasoları arasında paçalar ani olarak suyun içinde soğutulmuştur. Diğer numuneler ise kaynak pasoları arasında soğutulmadan kaynak edilmiştir. Kaynak işlemleri ince pasolar halinde ve yüksek kaynak hızı ile yapılmıştır. Bu tip uygulama ile kaynak işlemindeki ısı girdisi azaltılmaya çalışılmıştır.





**Şekil 5.5** Kaynak işlemi sonrası , sertlik değişiminin ölçülmesi için hazırlanan test parçalarının şematik şekli..

## BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI.

### 6.1. DCB Numunelerinin Sertlik Değişiminin Ölçülmesi.

RRA ve T6 ısıtma işlemi uygulanan 1. ve 2. tip DCB numunelerinin (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2) sertliklerindeki değişimler Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 'de verilmiştir.

**Tablo 6.1** RRA ısıtma işlemi uygulanan DCB numunelerinin sertlik ölçüm sonuçları

Malzeme numarası.	Retregrasyon süresi (dakika)	Retregrasyon sonu sertlik (HRB)	RRA sonu sertlik (HRB)	MIG kaynak sonu Ana metal	MIG kaynak sonu ITAB	Kaynak metali (HRB)
1.Tip DCB numunesi	75	84	88	45	33	15
2.Tip DCB numunesi	75	84	88	38	35	15

**Tablo 6.2** T6 ısıtma işlemi uygulanan DCB numunelerinin sertlik ölçüm sonuçları

Malzeme numarası	T6 sonu sertlik (HRB)	MIG Kaynak sonu Ana metal	MIG Kaynak sonu ITAB	Kaynak Metali (HRB)
1.Tip DCB numunesi	89	30	37	18
2.Tip DCB numunesi	89	32	26	12

## 6.2 Gerilmeli Korozyon Deneyi Sonuçları.

T6 ısıtılmış işlemi görmüş iki ayrı 2.tip DCB numunesine uygulanan gerilmeli korozyon deneyi sonuçları Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 'de görülmektedir. Tablolarda verilen da/dt çatlak ilerleme hızı değerleri , orijin programı yardımıyla bilgisayarda hazırlanmıştır. Burada öncelikle çatlak boyu a 'nın zamana (t) göre değişimi bulunmuş ve daha sonrada da/dt türevi alınarak çatlak ilerleme hızı da/dt bulunmuştur.

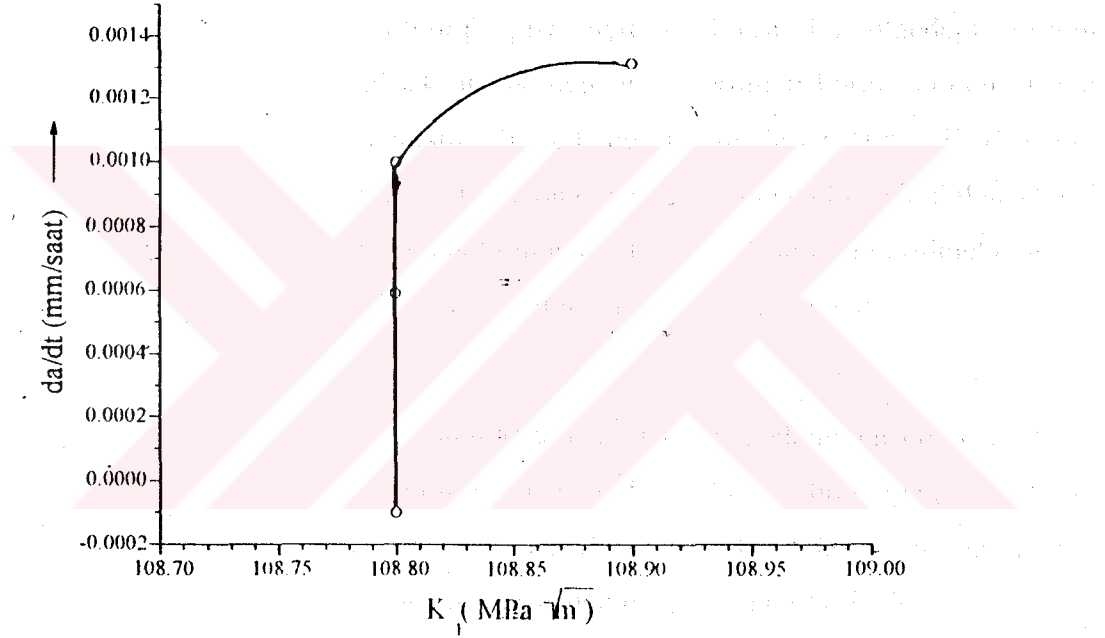
**Tablo 6.3** T6 ısıtılmış işlemi görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları (  $v=0.75\text{mm}$  )

Süre (saat)	a (mm)	$a_{gkç}$ (mm)	K1 ( $\text{Mpa}\sqrt{\text{m}}$ )	da/dt (mm/saat)
0	9.61	0	93.0	0.00105
48	9.65	0.04	92.8	0.00045
96	9.65	0.04	92.8	0
120	9.65	0.04	92.8	0
$a = -6.194 \times 10^{-6} t^2 + 1.05 \times 10^{-3} t + 0.6109$ $da/dt = -1.2388 \times 10^{-5} t + 0.00105$				

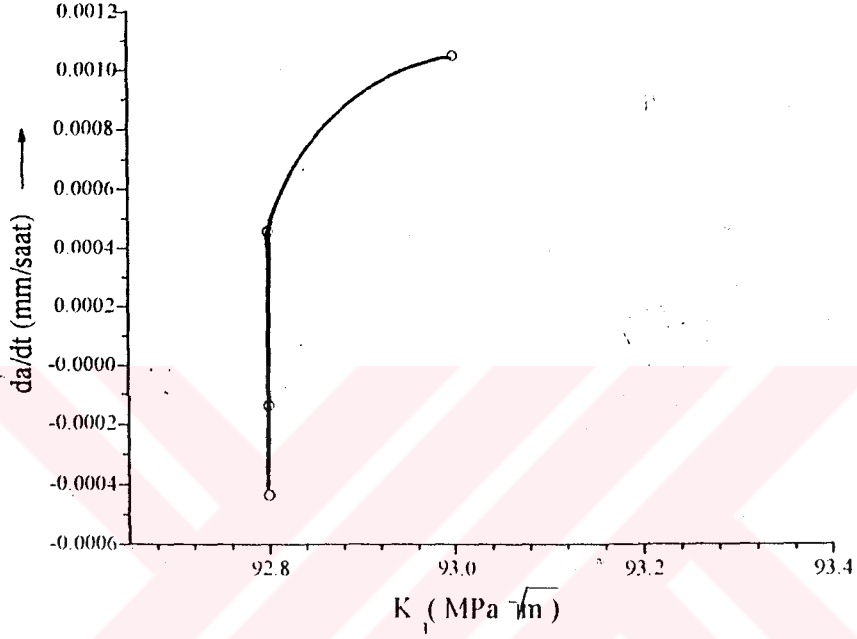
**Tablo 6.4** T6 ısıtılmış işlemi görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları (  $v=0.9\text{mm}$  )

Süre (saat)	a (mm)	$a_{gkç}$ (mm)	K1 ( $\text{Mpa}\sqrt{\text{m}}$ )	da/dt (mm/saat)
0	9.825	0	108.9	0.00131
48	9.875	0.05	108.7	0.00057
96	9.875	0.05	108.7	0
120	9.875	0.05	108.7	0
$a = -7.743 \times 10^{-6} t^2 + 1.31 \times 10^{-3} t + 0.00113$ $da/dt = -1.54 \times 10^{-5} t + 1.31 \times 10^{-3}$				

T6 ısıl işlemleri görmüş 1.tip DCB numuneleri ve RRA ısıl işlemleri görmüş 1. ve 2. tip DCB numunelerinde ITAB'nin tüm parçaya yayılmış olması, bu bölgedeki sertliğin düşük ve sünekliğinin çok yüksek olması nedeniyle gerilmeli korozyon deneyi için gerekli ön çatlak elde edilememiştir. Bu nedenle bu parçalarda  $da/dt - K_1$  değişimi eğrisi elde edilememiştir. Şekil 6.1 de ise bu deneylerde sonuç elde edilebilen T6 ısıl işlemi uygulanmış 2.tip DCB numunelerinin  $da/dt - K_1$  değişimleri görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



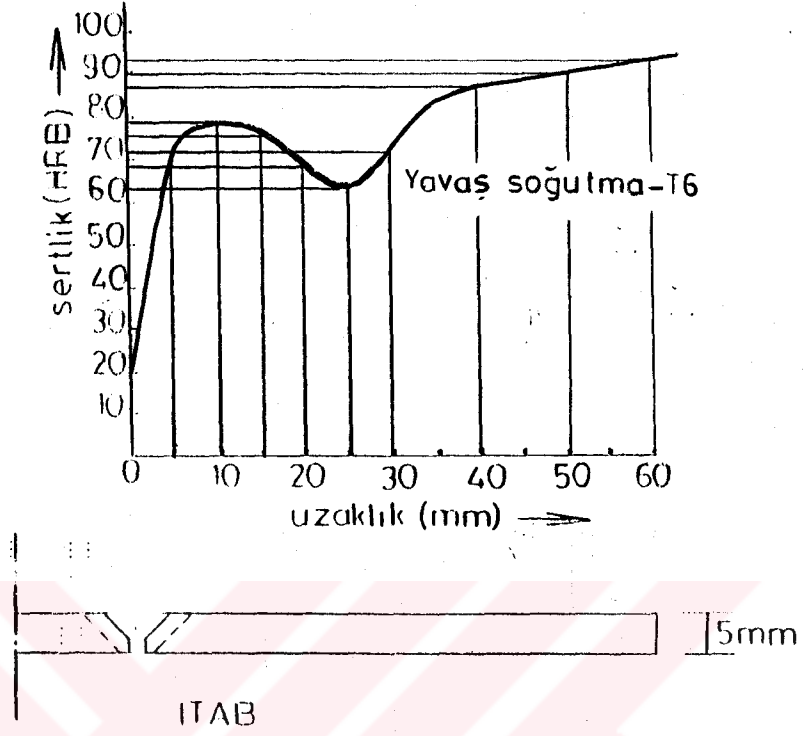
**Şekil 6.1** T6 ısıl işlemi görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları.



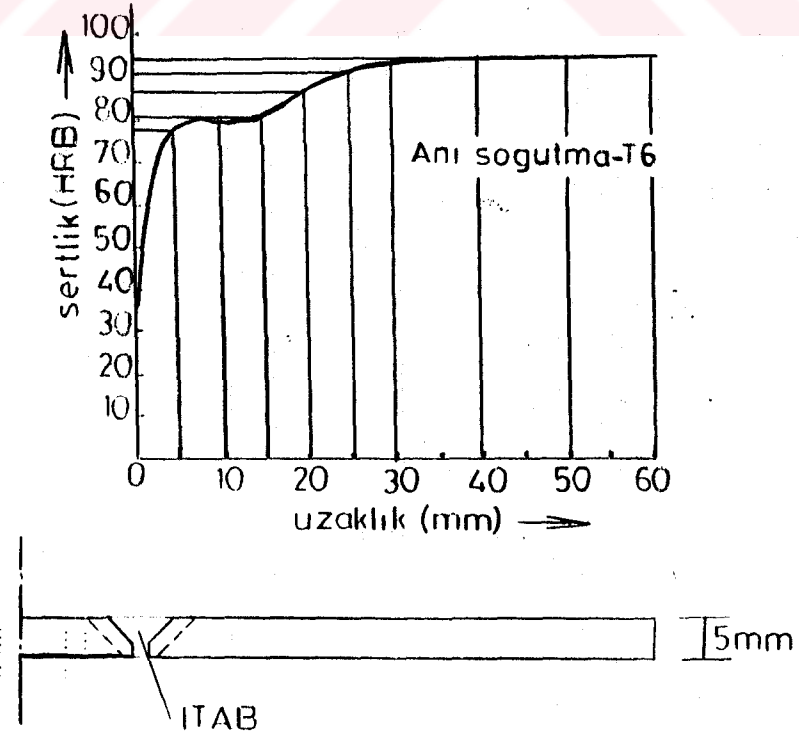
**Şekil 6.2** T6 ısı işlemleri görmüş 2.tip DCB numunesine ait gerilmeli korozyon deneyi sonuçları.

### 6.3 Kaynak İşlemi Sonrası Sertlik Ölçüm Deneyi Sonuçları .

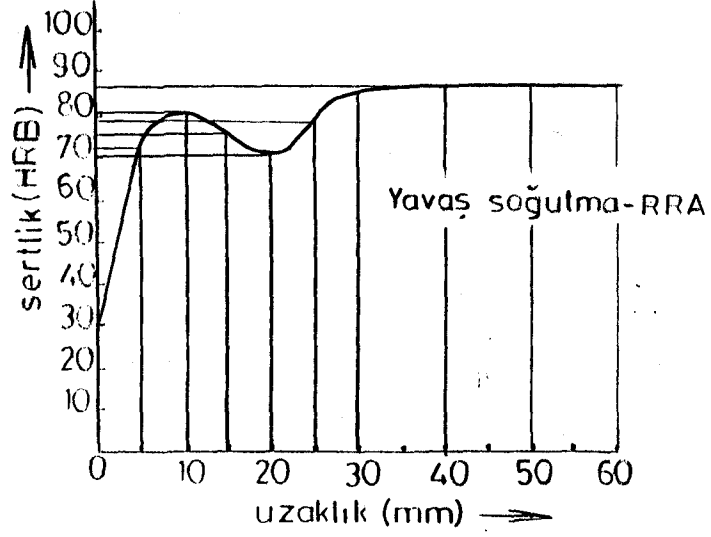
T6 ve RRA ısı işlemleri uygulanmış , daha önceki bölümlerde boyutları verilen test parçalarında sertlik değerlerinin ölçüm sonuçları Şekil 6.3 , Şekil 6.4 , Şekil 6.5. ve Şekil 6.6. 'da grafik olarak verilmiştir. Isı girdisini azaltmak amacı ile test parçalarından iki tanesi , kaynak işleminden sonra suya daldırılıp ani olarak soğutulmuştur.Diğer iki adet test numunesi ise kaynak işleminden sonra kendi halinde soğumaya terk edilmiştir.



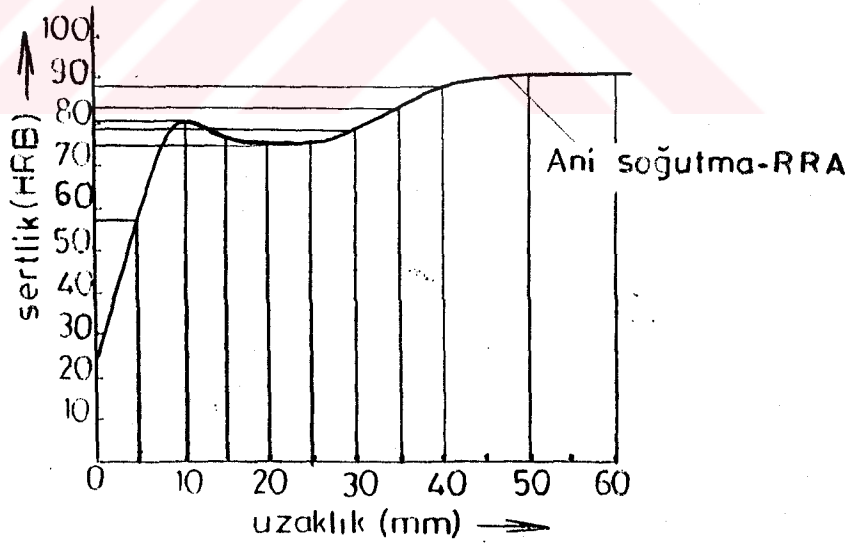
**Şekil 6.3.** T6 Isıl işlemi görmüş test numunesinde ,sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası yavaş soğutulmuş)



**Şekil 6.4.** T6 Isıl işlemi görmüş test numunesinde ,sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası ani soğutulmuş)



Şekil 6.5. RRA Isıl işlemi görmüş test numunesinde , sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası yavaş soğutulmuş)



Şekil 6.6. RRA Isıl işlemi görmüş test numunesinde , sertlik dağılımı deneyi sonuçları (kaynak sonrası ani soğutulmuş)

## **BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ**

1. Alüminyum alaşımının , gerek T6 gerekse RRA şartlarında uygulanan MIG kaynağında ITAB'da sertliğin büyük ölçüde düştüğü görülmüştür.
2. Mekanik özelliklerindeki bu azalma nedeniyle , özellikle uçak parçaları gibi hayati önem taşıyan yapılarda kullanılan bu alaşıma , kaynak uygulamasının yapılmaması gerektiği açıkça ortaya çıkmıştır.
3. RRA şartlarında ITAB'da daha yüksek sertlik elde edilmiştir.Bu durum RRA işleminin GKÇ direnci yönünden olduğu gibi , kaynak açısından T6 şartlarına göre avantaj sağladığını göstermiştir.
4. Malzemenin ısı iletkenliğinin fazla oluşu nedeniyle ITAB oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Bu bölgeyi daraltmak için özellikle kalın ve çok pasolu kaynak işlemlerinde her pasodan sonra parçanın soğumasını beklemek daha uygun olacaktır.
5. Sertlikteki büyük düşüşe rağmen ITAB'da GKÇ direnci T6 şartlarında daha yüksek olmaktadır.
6. ITAB 'ın daha dar olduğu TIG ve Elektron ışın gibi kaynak yöntemlerinin kullanılması durumunda mekanik ve gerilmeli korozyon özelliklerinin daha iyi olabileceği , bu yöntemler içinde aynı testlerin yapılmasıyla faydalı sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.



**KAYNAKLAR**

1. ANIK,S., 1986. Kaynak teknolojisi el kitabı ., İstanbul.
2. BURTON,C.L. MAYER,L.W. and SPUHLER,E.H., 1967. Aircraft and aerospace application . Aluminum Vol.2, Design and application ,K.R. Van Horn (Editor), American Society for Metals Park, third printing, p.415-429.,Ohio.
3. CADDELL,R.M., 1980. Deformation and fracture of solids. by Prentice Hall., New Jersey.
4. FINE,M.E., 1975. Precipitation hardening of aluminum alloys. Metall.Trans.A, Vol.6A ., USA.
5. FITCH JR,G.E., 1972. Application of fracture mechanics to aircraft structure proceedings of a symposium. Western Metals and tool Exposition ad Conference, California David W.Hoepner.,Los Angeles.
6. FLINN,R.A.TROJEN,P.K., 1975. Engineering materials and their application. Houghtoh Mifflin Comp., Boston.
7. HUNSICKER,H., 1967. The Metallurgy of heat treatmant aluminum, American Society for Metals, Vol.1.,USA.
8. JASTRZEBSKI,J., 1976. The nature of properties of engineering materials. 2 nd ed ., Wiley, Canada.
9. LIAO ,M.,1993. SCC Behavior of an Al-3.7 wt %Zn -2.5 wt%Mg Alloy Before and After Welding in 3.5 % NaCl Solution .Corrosion ., Ohio.
10. MONDOLFO,L., 1976. Aluminum alloy structure and properties ., England.
11. OĞUZ,B., 1990. Demirdışı metallerin kaynağı., Qerlıkon.,İstanbul.

12. TEKİN,E., 1982. Demir dışı metaller ve uygulamalı optik metalografisi ., Ankara.
13. URAL,K., 1987. Alüminyum alaşımının retragrasyon işleminde optimum şartların araştırılması . Doktora tezi, Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. .İstanbul.
14. ÜÇİŞİK, A.H., 1978.Alüminyum alaşımları ., İTÜ- İstanbul.



## ÖZGEÇMİŞ

1968 Yılında Sakarya 'da doğdu. İlk, orta, lise (Teknik lise/Makina bölümü) öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 1989 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi - Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden Makina Mühendisi olarak mezun oldu.

1989 - 1993 tarihleri arasında bir Holding'in Endüstriyel tesisler kuran Şirketinde şantiye şefi olarak çalıştı. 1993 Yılından beri Çelik konstrüksiyon ve makina imalatı yapan özel bir şirkette fabrika müdürü olarak çalışmaktadır.

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

26.11/1996

.....tarhinde..MMK..M9303..no'lu.....Metin.....OYSU  
.....'ya ait yüksek lisans tezinde yapılan ikinci kontrol  
sonucunda bulunan tüm hataların düzeltildiği tespit edilmiştir. Siyah kaplı  
bez ciltin hazırlanmasında hiçbir engel yoktur.

Bilgilerinize arz ederim.

Araştırma Görevlisi

Metin NİL

Metin N

Metin NİL  
Dokümanasyon Merkezi