

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ (5083 VE 7039) KAYNAK ÖNCESİ
VE SONRASI MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet ERDEM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Mayıs 2001
ANKARA**

114697

Mehmet ERDEM tarafından hazırlanan ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ (5083 VE 7039) KAYNAK ÖNCESİ VE SONRASI MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Doç. Dr. Mehmet Tüker
.....

Tez yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından metal eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç Dr. Adem Kurt

Üye : Doç Dr. Mehmet TÜRKEK (Danışman)

Üye : Y-Doç Dr. Behçet GÜVENÇ

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kuralına uygundur.



**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ (5083 VE 7039) KAYNAK ÖNCESİ
VE SONRASI MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehmet ERDEM

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ESTİTÜSÜ
Mayıs 2001**

ÖZET

Alüminyumun işlenebilen alaşımları; Al-Mg alaşımlarından 5083 ve Al-Zn alaşımlarından 7039 alaşımlarının, kaynak öncesi ve sonrası standart mekanik, mikro yapısal ve balistik mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Öncelikli olarak 12,7 mm kalınlığındaki, her iki alaşım grubuna ait alüminyum levhalar MIG kaynağı ile kaynatılarak, çekme, eğme ve sertlik deneyleri yapılarak, ITAB' ın mikro yapı fotoğrafları alınıp, kaynak öncesi ve sonrası mekanik değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Balistik özelliğe sahip 38 mm kalınlığındaki 7039 alaşımına balistik kaynak ağzı açılarak, MIG kaynak yöntemi ile kaynatılıp, balistik deney yapılmıştır. Balistik deneyler; ana metale 8 adet atış , geçiş bölgesine 21 adet atış ve kaynak dolgu metaline 6 adet atış yapılarak, bu bölgelerin V_{50} hız limitleri bulunarak, standartında belirtilen V_{50} hız limiti ile bizim bulduğumuz ana metale ait V_{50} hız limitlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Bilim kodu :

Anahtar kelime : Alüminyum alaşımları, Balistik, Mekanik özellikler.

Sayfa adeti : 105

Tez yöneticisi : Doç. Dr. Mehmet TÜRKER

**Investigation of pre and post-welding mechanical and ballistic properties
of Al alloys (5083-7039)
(M. Sc. Thesis)**

Mehmet ERDEM

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2001**

ABSTRACT

In Al processing alloys, pre-and post-welding standard mechanical, microstructural and ballistic resistance values of Al-Mg 5083 and Al-Zn 7039 alloys were compared. 12,7 mm aluminium sheets of both groups were welded with MIG weld technique and tensile, bending and Vickers hardness test were conducted on samples. Micro structural photographs of ITAB were taken and mechanical values of pre- and post welded samples were compared. A ballistic experiment was carried out on the sample of 38 mm- thick 7039 alloy by opening ballistics groove weld using MIG welding technique. Ballistics experiments were conducted on base material, heat affected zone and weld metal with 8 shots, 21 shots and 6 shots respectively. V_{50} speed limits of these areas were found and V_{50} speed limit specified in its standard was compared to those of the main metal found by us.

Science code :

Key words : Aluminum alloys, Ballistic, Mechanical properties.

Page number : 105

Adviser : Doç. Dr. Mehmet TÜRKER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
2.ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	3
2.1. Alüminyumun Genel Özelliği	3
2.2. Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları	4
2.3. Alüminyum Alaşımları ve Simgesel Gösterimleri.....	5
2.4. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG kaynağı.....	8
2.5. Alüminyum Alaşımlarında Kaynak Bölgesinin Çatlama Eğilimi.....	10
2.6. İşlenebilen Alüminyum Alaşımları	11
2.6.1. Alüminyum – magnezyum alaşımları ve simgelenmesi.....	12
2.6.1.1. Alüminyum – magnezyum alaşımlarına diğer alaşım elementlerinin etkileri.....	16
2.6.1.2. Magnezyum miktarının mekanik özelliklere etkisi	17
2.6.1.3. Alüminyum alaşımlarının süper plastiklik özelliği	19
2.6.2. Isıl işlem yoluyla sertleşen alüminyum– çinko alaşımları	20
3. BALİSTİK.....	25
3. 1. Genel Açıklama.....	25
3.2. Balistik Çeşitleri	25
3.2.1. İç balistik	25

3.2.2. Dış balistik	26
3.2.3. Nüfuzi (hedef) balistiği	27
3.2.3.1. Hedefte hasar meydana getirme	27
 4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK VE BALİSTİK MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	 31
 4.1.Tahribatlı Deneyler.....	 31
4.1.1.Çekme deneyi.....	31
4.1.2.Eğme deneyi.....	32
4.1.3. Sertlik deneyi.....	35
4.1.4. Balistik deney.....	37
4.1.4.1.Balistik deney ortamı	37
4.1.4.1.1. Atış makinası	37
4.1.4.1.2. Kurşun hızını ölçen sensörler	37
4.1.4.1.3 Elde edilen verilerin hesap edildiği bilgisayar ortamı	39
4.1.4.1.4. Deney parçasını sabitleme aparatı	39
4.1.4.2.Atılan kurşunun hedefe ulaşana kadar geçirdiği süreç	40
4.1.4.3. Deneyin geçerlilik durumu	40
4.1.4.3.1. Mermi çekirdeğinin zırh levhasına çarpma hızı	41
4.1.4.3.2. V_{50} Hız limitinin hesaplanması	41
 5. MALZEME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	 43
5.1.Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	43
5.1.1. Ana malzeme.....	43
5.1.2. Tel elektrot ve koruyucu gaz.....	45
5.2. Parçaların Kaynaklanması.....	47
5.3. Kaynaklanmış Malzemeden Deney Numunesinin Alınması	49
5.4.Deney Numunelerinin Hazırlanması	50

5.4.1.Çekme deneyi numunesinin hazırlanması.....	50
5.4.2.Eğme deneyi numunesinin hazırlanması.....	51
5.4.3.Sertlik numunelerinin hazırlanması.....	52
5.4.4. Mikro yapı numunelerinin hazırlanması.....	52
5.4.5. Balistik deney numunelerinin hazırlanması.....	53
6. DENEY SONUÇLARI.....	55
6.1. Makro ve Mikro Yapı Sonuçları.....	55
6.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	66
6.3. Eğme Deneyi Sonuçları.....	73
6.4. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	76
6.5. Balistik Deney Sonuçları.....	83
6.5.1. Ana metale yapılan atışlar ve V_{50} Hız limiti	83
6.5.2. Geçiş bölgesine yapılan atışlar ve V_{50} Hız limiti	84
6.5.3. Kaynak bölgesine yapılan atışlar ve V_{50} Hız limiti	87
7. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI.....	89
7.1. Mikro Yapı Sonuçları.....	89
7.1.1.5083 Al Alaşımının mikro yapısı.....	89
7.1.2.7039 Al Alaşımının mikro yapısı.....	90
7.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	91
7.3. Eğme Deney Sonuçları	94
7.4. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	94
7.5. Balistik Deney Sonuçları.....	96
7.5.1. Ana metalin balistik deney sonuçları.....	96
7.5.2. Geçiş bölgesinin balistik deney sonuçları.....	97
7.5.3. Kaynak metalinin balistik deney sonuçları.....	97
7.6. Sonuç.....	97

KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ	105



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Mehmet TÜRKER beye , tezin şekillenmesinde, malzeme temin edilmesinde ve deneylerin yapılmasında bana yardımlarını esirgemeyen, başta değerli ağabeylerim, Özgür AKÇAM beye, Melih beye, Atıl beye, Hüseyin ERDEM beye ve maddi manevi yardımlarını esirgemeyen FNNS personeline, ayrıca mekanik deneylerin yapılmasında emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Temel Alüminyum alaşımlarının gösterilişi ve yapısı	6
Çizelge 2.2. Çatlama tehlikesi yaratan elementler ve bileşim sınır değerleri.	10
Çizelge 2.3. 5083 ve 7039 Alaşımlarının kaynak çatlağı oluşumuna duyarlılıkları.....	11
Çizelge 2.4. Bazı alaşım elementlerinin sıcaklığa bağlı olarak % çözünürlük oranları.....	14
Çizelge 2.5. Alüminyum – magnezyum alaşımlarının % alaşım sınırları.....	17
Çizelge 4.1. Dikdörtgen kesitli numune boyutları.....	32
Çizelge 5.1. 5083 alaşımının kimyasal kompozisyonu ve alaşım elementleri miktarına bağlı olarak değişen mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 5.2. 7039 Al alaşımının kimyasal kompozisyonu	44
Çizelge 5.3. İlave metalin kimyasal kompozisyonu	45
Çizelge 5.4. Parça boyutları ve malzeme spesifikasyonu	46
Çizelge 5.5. Pasolar arası kaynak yöntem parametreleri.....	47
Çizelge 5.6. Parçaların kaynak işlem parametreleri.....	48
Çizelge 5.7. 7039 Alaşımının parça boyutları ve malzeme spesifikasyonu...	53
Çizelge 6.1. 7039 Al alaşımının çekme deneyi sonuçları.....	67
Çizelge 6.2. 5083 Alaşımının 1. nolu deney numunesinin çekme sonuçları....	69
Çizelge 6.3. 5083 Alaşımının 2. nolu deney numunesinin çekme sonuçları....	70
Çizelge 6.4. 5083 Alaşımının 3. nolu deney numunesinin çekme sonuçları....	71
Çizelge 6.5. 5083 Alaşımının 4. nolu deney numunesinin çekme sonuçları....	72
Çizelge 6.6. 7039 Alaşımına ait eğme deneyi sonuçları	75
Çizelge 6.7. 5083 Alaşımına ait alaşımının eğme deneyi sonuçları	76
Çizelge 6.8. 5083 Alaşımının ana metalinin sertlik verileri	77
Çizelge 6.9. 5083 Alaşımının kaynak metalinin sertlik verile	79

Çizelge 6.10. 7039 Alaşımının ana metal sertlik verileri	80
Çizelge 6.11. 7039 Alaşımının kaynak metali sertlik verileri	82
Çizelge 6.12 Ana malzemenin balistik deney sonuçları	84
Çizelge 6.13. Kaynak geçiş bölgesinin balistik deney sonuçları	86
Çizelge 6.14. Kaynak bölgesinin balistik deney sonuçları	88



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.	Al-Mg ikili faz diyagramının, alüminyumca zengin olan bölgesi..13
Şekil 2.2.	Al-Mg alaşımlarında, Mg miktarına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi18
Şekil 2.3.	Katı çözeltiye alma işleminin şematik görünüşü23
Şekil 3.1.	Delme gücünün vuruş açısına bağlı olarak değişimi.....30
Şekil 4.1.	Standart dikdörtgen çekme deney parçası.....32
Şekil 4.2.	Eğme deneyinin şematik uygulanması34
Şekil 4.3.	Çerçeve metodu ile kurşun hızını ölçme yönteminin şematik gösterimi.....38
Şekil 4.4.	Deney parçasının sabitleme aparatında işlem sonrası görünüşü .39
Şekil 5.1.	Mekanik deneylerde kullanılan malzemenin boyutları.....46
Şekil 5.2.	Birleşim taslağı47
Şekil 5.3.	Her iki malzeme için kaynak detayı49
Şekil 5.4.	Şematik olarak numune alma bölgelerinin şematik gösterimi....49
Şekil 5.5.	Çekme deney numunesinin resmi50
Şekil 5.6.	Eğme deney numunesinin hazırlanmış resmi51
Şekil 5.7.	Sertlik deney numunesi ve sertliği ölçülen bölgeleri şematik gösterilişi.....52
Şekil 5.8.	Birleşim taslağı53
Şekil 6.1.	5083 Al alaşımında ana malzeme mikro yapısı.....56
Şekil 6.2.	5083 Alaşımının 450° de 2 saat ısıtma sonrası mikro yapısı.....57
Şekil 6.3.	5083 Al alaşımının kaynak metali makro görüntüsü58
Şekil 6.4.	5083 Al alaşımının kaynak metali ve geçiş bölgesi mikro yapısı.....59
Şekil 6.5.	5083 Al alaşımının kaynak dolgu metali mikro görünümü60
Şekil 6.6.	7039 Al alaşımında ana malzeme mikro yapısı.....61

Şekil 6.7.	7039 Alaşımının 450° de 2 saat ısıtma sonrası mikro yapısı.....	62
Şekil 6.8.	7039 Al alaşımının kaynak metali makro görüntüsü	63
Şekil 6.9.	7039 Al alaşımının kaynak metali geçiş bölgesi mikro yapı görüntüsü	64
Şekil 6.10.	7039 Al alaşımının kaynak dolgu metali mikro görüntüsü	65
Şekil 6.11.	7039 Al alaşımının çekme deneyi grafiği	68
Şekil 6.12.	5083 Alaşımının 1. nolu deney numunesinin çekme grafiği	69
Şekil 6.13.	5083 Alaşımının 2. nolu deney numunesinin çekme grafiği	70
Şekil 6.14.	5083 Alaşımının 3. nolu deney numunesinin çekme grafiği	71
Şekil 6.15.	5083 Alaşımının 4. nolu deney numunesinin çekme grafiği	72
Şekil 6.16.	Eğme numunelerinin eğme işlemi sonrası çatlayan yüzeylerin makro görünümü.....	74
Şekil 6.17.	5083 Alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği	78
Şekil 6.18.	5083 Alaşımının kaynak metali(ortası baz alınarak) sertlik grafiği	79
Şekil 6.19.	7039 Alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği	81
Şekil 6.20.	7039 Alaşımının kaynak metali (ortası baz alınarak) sertlik grafiği	82
Şekil 7.1.	Çekme numunelerinin çekme işlemi sonrası kırık yüzeylerin makro görünümü.....	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge
KHM	Kübik hacim merkezli
ASA	Amerikan standartlar birliği
GKÇ	Gerilim korozyon çatlaması
E	Merminin kinetik enerjisi
A	Merminin kesit alanı
θ	Sabit sayı
m	Mermi kütlesi (kg)
D	Mermi çapı (mm)
d	Zırh levhasının kalınlığı (mm)
V	Merminin zırh levhaya çarpma hızı
δ	Eğme dayanımı
Z	Karşı koyma momenti
M_e	Eğme momenti
P	Uygulanan max. Eğme momenti
L	Desteklerin arasındaki uzaklık
I	Kaynaklı birleştirmeler için atalet momenti
S	Malzeme kalınlığı
L_o	Kuvvet uygulanmadan önceki ölçü uzunluğu
S_o	Deney parçasının ilk kesit alanı
a_o	Deney parçasının kalınlığı
b_o	Deney parçasının genişliği

At	Kopmadaki toplam uzama yüzdesi (elastik uzama + plastik uzama)
Agt	En büyük yükteki toplam uzama yüzdesi
Fm	Deney parçasının deney sırasında akma noktasını geçtikten sonra dayanabileceği en büyük yük
ReH	Deney yapılırken kuvvette ilk düşüşün görüldüğü gerilme değeridir
Rm	Çekme dayanımı (En büyük yüke (Fm) karşılık gelen gerilmedir)
Rp	Kalıcı uzama dayanımı
VS	Vickers sertlik değeri



1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile mevcut olan malzemelere yeni kullanım alanları kazandırılmakla birlikte, oluşan ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliği yüksek malzemelere de ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı gelişen süreç içerisinde malzemelerin özelliklerini iyileştirme veya alternatif yeni ürünler ortaya koyma zorunluluğu doğmaktadır.

Teknolojik sürecin ilerlemesi ile birlikte malzemede, işe uygunluk başta olmak üzere niteliklerinin de ihtiyacı karşılayacak durumda olması istenmektedir. Bu nitelikleri kısaca özetlersek; ekonomiklik, fiziksel açıdan düzgünlük, fiziksel ve mekanik karakteristik özelliklerinin uygunluğu malzeme seçiminde belirleyici rol oynamaktadır.

Alüminyum, geliştirilen özellikleri bakımından sanayi sektöründe tercih sebebi olmaktadır. Göze hoş görünümü, hafifliği, iletkenlik özelliğinin iyi oluşu, korozyon direncinin yüksek olması, düşük sıcaklıklarda emniyetli çalışabilmesinin yanında değişik elementlerle alaşım yaparak basit yapı çeliklerinin mukavemet değerlerine ulaşması, gıda sektöründen, uzay sanayisine ve değişik alaşımların balistik özelliklerinin iyiliğinden dolayı da askeri araç yapımına kadar geniş bir kullanım alanı söz konusudur [1-4].

Bu çalışma kapsamında alüminyum alaşımları içerisinde en yüksek mekanik değere sahip alaşımlardan olan; Al - Zn alaşım grubundan 7039 alaşımı ile Al - Mg alaşım grubundan 5083 alaşımının kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özellikleri üzerinde araştırma yapılmıştır.

Bu alaşım gruplarına ait malzemeler MIG kaynağı ile kaynatılarak; çekme ve eğme deneyleri yapılarak, kaynaksız malzemelerin mekanik özellikleri ile mukayesesi yapılmıştır. Kaynak metalinin ve ana malzemenin Vickers

yöntemi ile mikro sertlik değerleri belirlenip, ısının sertlik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Isı tesiri altında kalan bölgelerin (ITAB) mikro yapı fotoğrafları çekilerek ısının tane yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca özel labaratuvar şartlarında malzemenin ana metalinin, geçiş bölgesinin ve kaynak dolgu metalinin balistik özellikleri ile ilgili kontrol amaçlı deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tartışılarak, yapılan deneyler değerlendirilmiştir.



2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyumun Genel Özelliği

Alüminyumun özgül ağırlığı 2.7 g/mm^3 , sertliği 17 BHN, % uzaması 60, akma dayanımı $2,6 \text{ kg/mm}^2$, çekme dayanımı $10,4 \text{ kg/mm}^2$, elastisite modülü $6,3 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ ve kristal yapısı YMK olup kafes parametresi $a=4,091 \text{ Å}$ dur. % 99,996 saflıktaki alüminyumda mekanik özellikler oldukça düşüktür. Alüminyumun mekanik özellikleri element ilavesi ile iyileştirilmektedir. İyileşme ile dayanım değerleri st 37 gibi basit yapı çeliklerinin değerlerine rahatça ulaşabilmektedir [4,5].

Alüminyumu diğer metallerden ayıran özelliklerin başında hafif olması gelir. İkinci en önemli özelliği elektrik iletkenliğidir. Alüminyumun iletkenliği bakırın iletkenliğinin yalnızca %60'ı kadardır. Bu oran element ilavesiyle daha da düşmektedir. Fakat iletkenliğin bakırdan düşük olmasına rağmen, düşük yoğunluğundan dolayı, birim kütleye düşen iletkenlik açısından bakırdan daha yüksek iletkenliğe sahiptir. Örneğin 10 mm çapında bir alüminyum telin elektrik direnci, 6 mm çapında bir bakır telin elektrik direncine eşdeğer olmasına rağmen, alüminyum tel daha hafiftir. Enerji iletim hatlarında kullanılan teller bakımından bu çok önemli bir nedendir [2,3,6].

Alüminyumun ticari alaşımları ergime noktaları itibariyle yaklaşık 690°C nin altında olmasından dolayı, yüksek sıcaklıklardaki kullanımı sınırlıdır. Gerçekte bu sıcaklıklar, çeliklerin emniyetle çalışabilecekleri sıcaklıkların çok altındadır. Alüminyum alaşımları bileşimlerine göre yaklaşık $485 - 690^\circ\text{C}$ arasında ergime ve 93°C gibi düşük bir sıcaklıkta yumuşayıp zayıflama özelliği gösterirler. Diğer taraftan bazı alüminyum alaşımları 200°C ye kadar mukavemetlerini korurlar [2].

2.2. Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Alüminyumun yüksek ısı iletkenliğinden dolayı içten yanmalı motorların piston ve silindir kafaları ve çeşitli ısı kazanlarının parçalarında; yüksek korozyon direncinden dolayı kimya ve inşaat sanayisi ile ev eşyalarında; düşük sıcaklıklarda gerçekleşen uygulamalarından dolayı da besin maddelerinin muhafazası, tıp, elektronik, metalurji, havacılık, uzay ve uçak sanayisi ile nükleer endüstrilerde kullanılır [2,3].

Alüminyum alaşımları çelik malzemelere oranla daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğundan taşıt, uzay ve havacılık endüstrileri ile hafifliğin temel alındığı alanlarda oldukça geniş kullanım alanı bulmuştur.

Son zamanlarda hafif yapıdaki malzemelere önemin artmasıyla birlikte alüminyum alaşımlarının kullanımı daha cazip hale gelmektedir. Özellikle otomotiv ve uzay aracı yapımında tercih sebebi olmaktadır. Örneğin, Ford motor ilk kez 1970’de alüminyum kaporta kullanmaya başlamış olup, sadece 1993 yılında kullanılan miktar 350 bin kaportayı aşmıştır. 1970’ de bir ford otomobilde ortalama 31,5 kg alüminyum kullanılırken, bu miktar 1993 model Lincoln Mark VIII’de 225 kg’a çıkmıştır [7]. Lavernia ve arkadaşları çevre ile olan uyum ve hafifliğinden dolayı yakıt verimliliğini artırmak amacı ile otomobillerde çelik saçlar yerine alüminyum levhaların kullanılmakta olduğunu belirtmektedirler [8].

Alüminyum alaşımlarının oldukça geniş kullanılmasını gerektiren bir diğer sebep ise, düşük sıcaklıklarda sünek özellik göstermeleridir. Bu durum levha kalınlığını azaltmasına rağmen sertliğini kaybettirmemektedir. Düşük sıcaklıkta kullanıma elverişliliğinden dolayı kriyogenik (soğutucu) sıvıların

(florin, helyum, hidrojen, neon ve oksijen) taşınması, depolanması ve üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [9].

Alüminyum alaşımlarının savaş araçlarında zırh malzemesi olarak kullanılmasının nedeni, balistik yeterliliğin yanında hafiflik ve özellikle yüksek kaynak kabiliyetine sahip olmasıdır. Zira amfibi operasyonlar için su sızdırmazlığı ancak kaynak yapılarak sağlanmaktadır. Çünkü üretilen araçlar çok ağır şartlarda (-80 ila 165 F ve yüksek nem) kullanılmakta ve bekletilmektedir. Ayrıca operasyonlar korozyona elverişli sularda da yapıldığı için zırh malzemeleri mekanik ve balistik özelliklerini korumalıdır. Alüminyum bu özelliği sağladığı için kullanılmaktadır [10].

2.3. Alüminyum Alaşımları ve Simgesel Gösterimleri

Alüminyum alaşımları şekillendirilebilen (işlenebilen) alaşımlar ve dökme alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılır. İşlenebilen alaşımların mekanik özellikleri çökelme sertleşmesi ile geliştirilir. Fakat bazıları hiçbir ısıtma işlemi uygulamadan kullanılır. Bunların mekanik özellikleri, soğuk işlem (haddeleme, ekstrüzyon ve dövme gibi) ile tane yapıları inceltirilerek geliştirilir. Sonra düşük sıcaklıklarda temperlenerek yapılarının daha kararlı olması sağlanır. Şekillendirilebilen alüminyumun alaşımları ve dökme alaşımları ısıtma işlemi uygulanır ve uygulanmaz diye iki bölüme ayrılır [11].

Alüminyum alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme dizgesi Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen simgeleme dizgesidir. Çizelge 2.1'de temel alüminyum alaşımlarının simgeleri gösterilmiştir. Buna göre dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı, temel alaşım elementini belirtmektedir. Örneğin 1XXX serisi saf alüminyum (% 99.XX) gösterir, son iki rakamı ise % 99 değerinin noktadan sonraki

rakamlarını ve alüminyumun en az saflık değerini belirtir. 1XXX serisinde soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen karışım elementlerinin sayısını belirtir. Örneğin, 1275 saf alüminyum, saflık değerinin % 99.75 ve özellikle denetlenen iki tane karışım elementi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.1. Temel alüminyum alaşımlarının gösterilişi ve yapısı [3].

Simge	Temel Alaşım Elementi	Yapısı
1XXX	Saf Alüminyum	Tek Fazlı
2XXX	Bakır	İki Fazlı
3XXX	Mangan	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	

2XXX den 8XXX' e kadar olan seriler Çizelge 2.1' deki alaşımları simgeler. İlk rakam alaşım türünü, ikinci rakam ise değişimleri simgeler. Yani ikinci rakam 0 ise, denetlenen karışım elementinin olmadığını, kendine has bir alaşım olduğunu; 1 ile 9 arasında bir rakam olursa, özellikle denetlenen karışım elementlerinin sayısını gösterir. Örneğin 5083 alüminyum alaşımında özellikle denetlenen hiç bir karışım elementi olmayan bir alüminyum-magnezyum alaşımını simgeler. Son iki rakamın özel bir anlamı olmayıp yalnızca alaşımı o serideki diğerlerinden ayıran sıra sayısı olarak kullanılır.

İşlenebilen alüminyum alaşımları ısıtıl işlem davranışlarına göre; ısıtıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan olmak üzere iki bölüme ayrılırlar. Genellikle 2XXX, 4XXX, 6XXX ve 7XXX serileri ısıtıl işleme olumlu cevap verdiklerinden dolayı, ısıtıl işlemle mekanik özellikleri iyileştirilmektedir. 3XXX ve 5XXX serileri ısıtıl işleme olumlu davranış göstermediklerinden ısıtıl işlem uygulanmaz. Bu alaşımların dayanımları, içlerinde bulunan alaşım elementlerinden dolayı mekanik özellikleri soğuk işlemle geliştirilir. Bu alaşımların temper durumlarını belirtmek için harfler ve rakamlar kullanılır. Temper durumunu bir harf, temperleme işleminin değişik durumlarını ise bir rakam ifade eder.

Temel işlemler aşağıda gösterildiği gibidir.

Simge :

F

O

H (soğuk işlem görmüş)

W

T

Temel İşlem :

Üretildiği gibi

Tavlanmış yalnızca işlenebilen alaşımlar

Gerinim–sertleşmiş (soğuk işlem görmüş alaşımlar).

Çözelti ısıtıl işlemi uygulanmış Doğal yaşlananlar

F, O ve H dışındaki etkileri oluşturmak için ısıtıl işlem görmüş.

2.4. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı

Koruyucu gaz altında yapılan kaynak yöntemlerinden bir tanesi de MIG (Metal Inert Gaz) kaynağıdır. MIG kaynağındaki kaynak arkı, koruyucu gaz atmosferi altında (Argon veya Helyum), iş parçası ile torcun ucundaki yarı otomatik yada tam otomatik bir şekilde sürekli olarak gelen bir ilave metalin (eriyen elektrot) arasında oluşur.

MIG kaynak yöntemi her kalınlıktaki alüminyum alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm' den daha kalın parçaların kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Çünkü MIG kaynak yönteminde kaynak hızı ve erime gücü TIG kaynak yönteminden daha büyüktür. İnce levhalar (0.8 mm) ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynakla birleştirilirler [13].

Alüminyumun üzerinde hava ile temas sonucunda oluşan alüminyum oksit tabakası, alüminyum alaşımlarının kaynağını büyük oranda güçleştirir. Doğru akım (elektrot pozitif kutupta) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu biçimdeki kutuplama ile kaynak işlemi yapılabilir [12,13].

Alüminyum alaşımlarının kaynağını, çeliklerin kaynağından farklı kılan hususlar şöyle sıralanabilir. Al alaşımları 550-660 °C sıcaklık aralığında ergimelerine karşın ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeni ile kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çeliğin kaynağından daha fazla olmak zorundadır. Al alaşımlarının kaynağında malzeme kalınlığı göz önüne alınmaksızın sprej ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprej arkın yüksek ısı girdisine karşılık alüminyumun yüksek ısı iletkenliği nedeniyle kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığı için, her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir [13,14].

Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda, kaynak bölgesinin hızlı soğumasına neden olur, bu bakımdan kalın ve bilhassa döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi bir ön tav vermek gereklidir, genellikle 15 mm' den daha kalın parçalara uygulanan bu ön tavin derecesi 200°C' yi aşmamalıdır. Dövme alüminyum alaşımlarında genel olarak ön ısıtma yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlayarak kaynak yapmak tercih edilir [13].

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, en iyi birleştirme kalitesini MIG kaynak yönteminde bulabiliriz. Bu yöntemde, diğer kaynak yöntemlerine göre yüksek hızda kaynak yapmak, iyi bir nüfuziyet sağlamak ve iyi bir dikiş kalitesi elde etmek mümkündür. Ayrıca bu yöntemin uygulanması kaynakçı ustası için diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynak yönteminin, diğer kaynak yöntemlerine göre üstünlüklerini şöyle sıralayabiliriz:

1. Düzgün bir kaynak dikişi elde edilir.
2. Kaynak sırasında ayrı bir dekapana ihtiyaç yoktur.
3. Kaynağın uygulanması, diğer kaynak yöntemlerine göre kolaydır.
4. Dekapan kullanımından dolayı doğabilecek korozyon, bu yöntemde dekapan kullanılmadığından yoktur.
5. Kaynak sonunda aşırı bir temizliğe (curuf gibi) gerek yoktur.
6. Koruyucu gaz kullanıldığından, kaynak bölgesi çok iyi korunur.
7. Her çeşit birleştirme şekli mümkündür. Özellikle iç köşe kaynağı diğer kaynak yöntemlerine göre daha kolay yapılır.
8. Büzülme ve çekme, gaz eritme kaynağında azdır.
9. Kalın parçaların kaynağında yüksek akım uygulandığından ön ısıtmasız birleştirme yapmak mümkündür.

2.5. Alüminyum Alaşımlarında Kaynak Bölgesinin Çatlama Eğilimi

Al alaşımları ile yapılan kaynaklarda oluşan tüm çatlaklar sıcak çatlaklardır. Bu çatlaklar dikişte veya ısıdan etkilenmiş bölgede ortaya çıkarlar. Cleslak ve arkadaşının[15] yapmış oldukları lazer kaynağı ile alüminyum alaşımlarının kaynaklanabilirliği konulu çalışmada; kaynak esnasında meydana gelen yüksek enerji akışından dolayı, yüksek buhar basıncına sahip elementler buharlaşarak, kaynak havuzunun kimyasal kompozisyonunu etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada diğer füzyon (ergitme) kaynakları ile yapılan paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarının kaynağı sırasında alüminyumda; Mg ve Zn, paslanmaz çelikte ise Mn elementlerinin buharlaştığını belirtmektedirler. Alaşımdaki elementlerin buharlaşmasının birkaç olası metalurjik sonucu vardır. Kaynak yapımı açısından bakılırsa, yüksek sıcaklıkta buharlaşma nedeniyle çatlak oluşumu artabilir [15].

Alaşım bileşenlerinde özellikle çatlama eğilimli olanlar Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Çatlama tehlikesi yaratan elementler ve alaşım sınır değerleri.

Malzeme	Çatlama tehlikesi yaratan element	Çatlama tehlikesi sınır değeri
Al Si	Si	%1
Al Mg	Mg	%1
Al Mg Si	Mg,Si	Mg:Si;1:3 Si= 0,5

Al-Si, Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımlarında, alaşıma giren element içeriği arttıkça sıcak çatlamaaya olan yatkınlıkda artmaktadır. Çatlak oluşumu tehlikesi daha çok sabit konstrüksiyon bağlantılarında elverişli hale gelir. Birleştirmelerde dikkat edilecek husus; sıcak çatlağın engellenmesi için dolgu malzemesi yüksek alaşımlı malzemedan seçilmelidir. Alüminyum kaynağında dolgu metalinin çok önemli bir rolü vardır. Yüksek magnezyum içerikli dolgu malzemeleri, kaynaklanmış durumda yüksek dayanıklılık gösterirler. Çünkü kaynak işlemi esnasında meydana gelen alaşım bileşenleri kaybını takviye edici niteliktedir [7,15].

Çizelge 2.3’de 5XXX ve 7XXX serisine ait bazı alüminyum alaşımlarının kaynak çatlağı oluşumuna duyarlılıkları görölmektedir.

Çizelge 2.3. 5083 ve 7039 alüminyum alaşımlarının kaynak çatlağı oluşumuna duyarlılıkları [16].

Alaşım grubu	Bağıl çatlama hassasiyetleri		
	Küçük	Orta	Büyük
Al-Mg	-----	5083,5086,5456	-----
Al-Zn	-----	7039	-----

2.5. İşlenebilen Alüminyum Alaşımları

İşlenebilen alüminyum alaşımlarında yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi; haddeleme, ekstrüzyon ve dövme gibi mekanik işlemler yapılarak sağlanır. Bu işlemler malzemenin döküm yapısını bozarak, tane yapısını inceltir ve alaşımı daha homojen yapar. Bu alaşımların üretimindeki işlem aşamaları şöyle sıralanır:

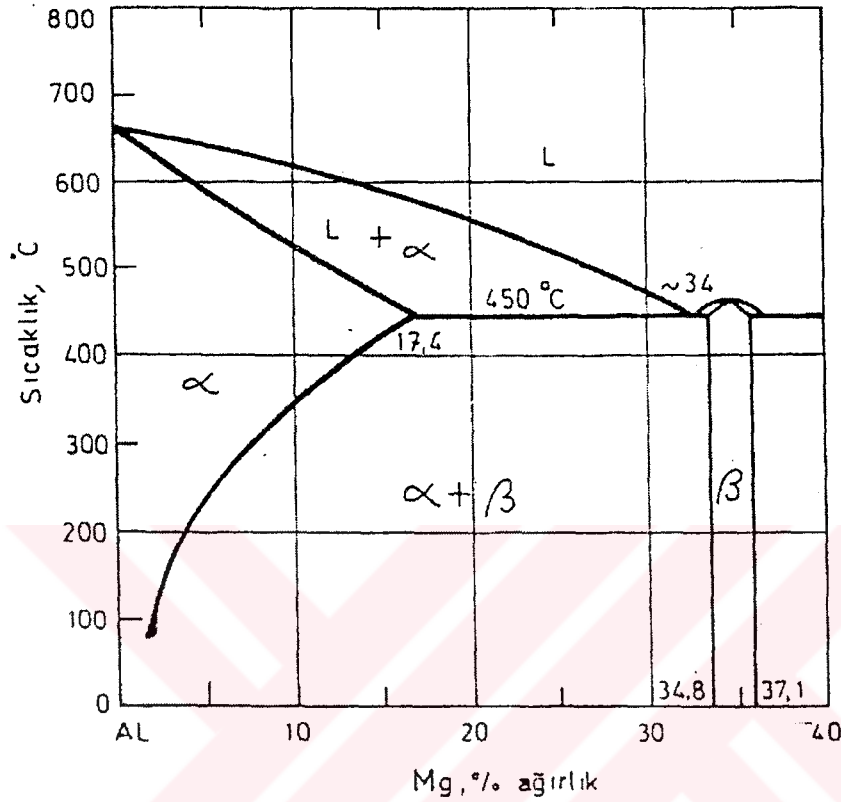
1. İşlenmemiş parça veya ingotun dökümü.
2. Sıcak veya çoğunlukla soğuk şekil verme (haddeleme, ekstrüzyon ve dövme).
3. Isıl işlem, şeklindedir.

İşlenebilen alüminyum alaşımlarından I, L, U, H v.b. kesitli köşebentler, yuvarlak tel, boru v.b. ürünler ile levha ve folyo gibi yassı mamüller üretilir. Bir çok uçak ve uzay aracı yapımında, açık ve kapalı kalıp dövme alaşımlar kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının % 20'ye yakını ekstrüzyon ürünü alaşımlar oluşturur. Ekstrüzyon ürünleri özel biçim ve kesit gerektiren her türlü uygulamalarda kullanılmaktadır. Ekstrüzyonu, “Katı halde bir metal blokunu, yüksek basınç altında, bir matris deliğinden geçirerek homojen kesitli bir çubuk elde edilmesidir” şeklinde tanımlayabiliriz [3,16,17].

5083 alaşımının temel alaşım elementi magnezyum olduğu için, alüminyum – magnezyum alaşımları olarak; 7039 alaşımının temel alaşım elementi çinko olduğu için, alüminyum – çinko alaşımları olarak bilgi verilecektir.

2.5.1. Alüminyum – magnezyum alaşımları ve simgelenmesi

Alüminyum işlem alaşımlarından olan ikili Al-Mg alaşımları, ısıtılma yoluyla sertleşmeyen alüminyum alaşımları içinde önemli bir yere sahiptir. 5XXX serisi içerisinde yer alan bu alaşımlarda, magnezyum oranı %0,5'ten %12-13'lük magnezyum oranına kadar değişiklik gösterir ve ısıtılma yolu ile sertleşmezler [18].



Şekil 2.1. Al-Mg ikili faz diyagramının, alüminyumca zengin olan bölgesi [1]

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi magnezyumun, katılaşma sıcaklığındaki yüzde çözünürlük miktarı ile oda sıcaklığındaki yüzde çözünürlük miktarı arasında bir fark görülmektedir. Bu durum çökelme sertleşmesinin şartlarından olmasına rağmen %7’den az Mg ihtiva eden alaşımlarda dikkate değer bir çökelme sertleşmesi eğilimi yoktur [1]. Bu yüzden ısıtıl işlem uygulanamayan alaşımlar grubunda yer almaktadır.

Al – Mg ikili denge diyagramının alüminyumca zengin olan bölgesi şekil 2.1’de görüldüğü gibi yaklaşık %34 magnezyum miktarı ve 450 °C de bir ötektik mevcuttur. Buradaki denge halindeki faz genellikle, Mg_5Al_8 olduğu kabul edilmektedir [1,18].

Çizelge 1.4’de görüldüğü gibi magnezyumun ticari alaşımlardaki katı çözünebilirliği, oda sıcaklığında %2-2,5’ tur. Sıcaklık arttıkça çözünebilirlik oranı artmaktadır. Bu oran 450 °C de %14-15’e kadar ulaşır. Bu farklılık, özellikle fazla soğuk deformasyon uygulanmış malzemelerde, kritik bir duruma yol açar.

Çizelge 2.4. Bazı alaşım elementlerinin sıcaklığa bağlı olarak % çözünebilirlik oranları[3].

Alaşım elementi	Katılma sıcaklığında % çözünebilirlik	Oda sıcaklığında % çözünebilirlik
Cu	%5,65 (585 °C)	0,02
Mg	%14,9 (450 °C)	2,5
Zn	%82 (382 °C)	2,0
Mn	%1,8 (659 °C)	0,3
Si	%1,65 (577 °C)	0,1

Fazla soğuk deformasyon uygulanmış malzemeler, oda sıcaklığında uzun süre bekletildiğinde veya daha yüksek sıcaklıkta tutulduğunda, tane sınırlarında çökelti teşekkül eder. Çökelti oluşturan β fazı, Al-Mg katı çözelti matrisine göre oldukça anodiktir. Tane sınırlarında kesintisiz bir çökelti ağının bulunması halinde ise, bu bölgeler hızla anodik çözünmeye maruz kalmakta ve gerilim korozyon çatlaması (GKÇ) meydana gelmektedir [1,11].

Soğuk deformasyon miktarı, GKÇ direncini önemli ölçüde etkilemektedir. Soğuk deformasyon miktarı arttıkça, özellikle oda sıcaklığında bekleme ve düşük sıcaklıklarda tavlama esnasında, tane sınırlarındaki çökelti teşekkülü hızlanmakta ve malzemenin GKÇ duyarlılığı artmaktadır [1].

Soğuk deformasyon oranının %20'den az olması, çökeltilerin tane içinde dağılmasına ve taneler arası korozyonu azaltarak daha yüksek bir dayanıklılık elde edilmesine neden olur. Daha fazla soğuk deformasyon uygulamak ise çökeltilerin kayma düzlemlerinde yoğunlaşmasına ve malzemenin GKÇ yatkın hale gelmesine yol açar [18,19].

Alüminyum-magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri soğuk deformasyonla geliştirildiği için bunlara H temperi uygulanır. H harfini her zaman bir yada iki rakam izler. Bunların anlamı şöyledir:

H1 soğuk işlenmiş durumu simgeler. Bunu izleyen ikinci bir rakam 1 ile 8 arasında değerler alır. 1 en yumuşak 8 en sert durumu belirtir. Buna göre 1, yumuşak; 2, az sert; 4, yarım sert; 6, fazla sert ve 8, tam sert durumunu simgeler. Eğer bu simgelemeye tam uymayan özel bir alaşım söz konusu ise, bu durumda bir üçüncü rakam kullanılır. Örneğin, H121, burada H soğuk işlenmiş bir alaşımı; 1, bu alaşımın yalnızca soğuk işlemle sertleştirildiğini; 2, alaşımın çeyrek sert durumda olduğunu ve son 1 rakamı da bu alaşımın H12' nin simgelediği durumdan biraz farklı değere sahip olduğunu belirtir.

H3, magnezyum içeren, soğuk deforme edilmiş ve düşük sıcaklıklarda tavlanmış durumu simgeler. Bu işlemi simgeleyen H3'e ikinci bir rakam eklenirse bu da sertlik durumunu simgeler. Örneğin H321 soğuk işlenmiş, tane yapıları daha kararlı, sertliği az sertlikte ve 1 rakamı da H32' nin simgelediği durumdan daha farklı değerlere sahip olduğunu belirtir. Bu alaşımlar, düşük sıcaklıklarda stabilize edilmeleri durumunda, yapılarında oluşan dönüşümler sonucu daha kararlı duruma geçerler.

Stabilize (Dengeleştirme) : Dengeleştirme, soğuk halde deforme edilmiş, ısıtılma işlemine tabi tutulmayan Al-Mg alaşımlarına uygulanır. Bu alaşımlar çok

yüksek mukavemet ve sertliğe sahip olmalarının yanında, soğuk deformasyon sırasında en yüksek iç gerilmeleri gösterirler. Bu yüksek derecedeki iç gerilmeler, dengesiz bir halde meydana gelir. Bu dengesiz iç yapı, oda sıcaklığında bekletildiğinde yumuşamaya ve mukavemet kaybetmeye başlarlar. Bunu ortadan kaldırmak için kısa süreli bir ısıtma işlemi tabi tutarak dengeli bir içyapı elde edilir. Dengeleştirme işleminden sonra gerçek mekanik özellikler maksimumdan biraz düşük olabilir, fakat zamanla özellik değişmesi söz konusu değildir. 180 °C civarında bir sıcaklıkta tatbik edilir. Genellikle bu iş, ilk imalatçısı tarafından yapılır [5].

2.5.1.1. Alüminyum-magnezyum alaşımlarına diğer alaşım elementlerinin etkileri

Alüminyum – magnezyum alaşımlarına katılan, diğer alaşım elementlerinin özellikler üzerinde yüksek bir etkiye sahiptir. Şöyleki; yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltmek için demir ve zirkonyum, akıcılığı artırmak için silisyum, demirin aşındırıcı etkisini azaltmak için manganez veya krom eklenir. Çinkonun korozyon üzerinde çok az etkisi veya hiç etkisi yoktur, fakat dökülebilirliği ve dayanıklılığı artırır. Tanelerin daha küçük olmasını sağlamak için çoğu zaman tek başına titanyum veya titanyum ve bor birlikte eklenir. Yüksek sıcaklıklarda, özelliklede ergimiş durumda magnezyumun oksidasyonunu azaltmak için berilyum ve bazen de lityum eklenir. Dayanıklılıkta ve korozyon direncinde her hangi bir azalmaya yol açmadan makinada işlenebilirliği artırmak için de kurşun ilave edilmektedir [18]. Mevcut Al – mg alaşımlarının % alaşım sınırları Çizelge 2.5’de verilmiştir.

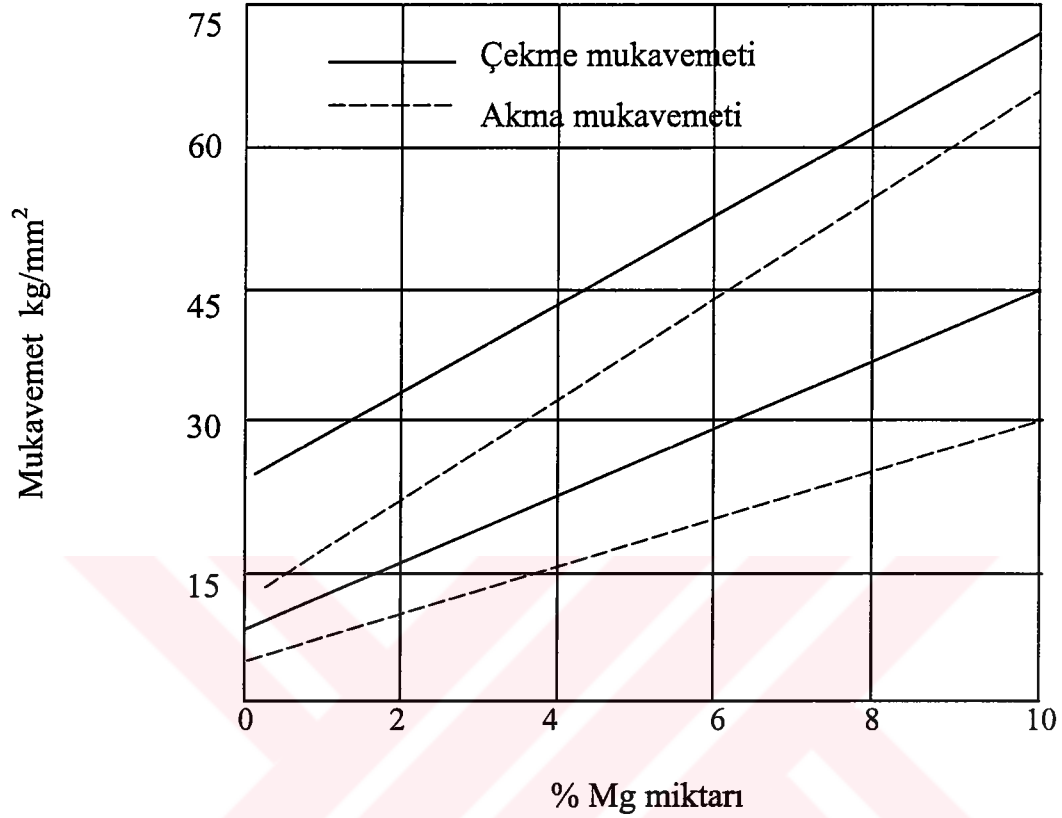
Çizelge 2.5. Alüminyum – magnezyum alaşımlarının % alaşım sınırları [18].

Alaşım elementi	% Alaşım sınırı
Magnezyum	0,5-13
Silisyum	2'ye kadar
Demir	8'e kadar
Mangan	2'ye kadar
Krom	0,5'e kadar
Bakır	0,2'ye kadar
Nikel	0,5'e kadar
Çinko	3'e kadar
Titanyum	0,2'ye kadar
Baryum	0,05'e kadar
Berilyum	0,01'e kadar
Lityum	3'e kadar
Zirkonyum	0,5'e kadar

2.5.1.2. Magnezyum miktarının mekanik özelliklere etkisi

Alüminyum-magnezyum alaşımında, düşük magnezyum oranı en uygun kalıplanabilmeye imkan sağlarken, yüksek magnezyum oranı makul - bir dökülebilirlik ve yüksek dayanıklılık sağlar [18].

Magnezyum, mekanik özellikleri kontrol eden temel element olmakla birlikte alaşımdaki bütün diğer elementler de buna katkıda bulunur. Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi magnezyum oranının artması ile mukavemet değerleri artmaktadır. Yüksek magnezyum içeriği, makinada işlenebilirliği arttığı gibi haddelenebilirliği ve yorgunluğa karşı direncide artırır.



Şekil 2.2. Al-Mg alaşımlarında, Mg miktarına bağlı olarak mekanik özelliklerinin değişimi [1]

Ticari alaşımların çoğunda, diğer elementler çok küçük miktarlarda bulunurlar ve bunların alaşımın fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi magnezyumun etkisi tarafından bastırılır.

Mg miktarı %3' ün altında olan alaşımlarda, hem mukavemet hem de kaynak kabiliyetinde azalma olmaktadır. Buna karşılık, düşük sıcaklıklarda haddeleme, oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda malzeme yapısının kararlı olmasını sağlar. Bu yüzden, saf alüminyumdan daha yüksek mukavemet gerektiren hallerde, Mg miktarı %3' ün altında olan alaşımlar, geniş çapta kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet ve kaynak kabiliyetinin gerekli olduğu uygulamalarda ise, %3,5'in üzerinde mg içeren alaşımlar tercih edilmektedir.

% 5'ten fazla magnezyum, yoğun soğuk deformasyon uygulanmış malzemelerde nadiren kullanılır. Çünkü bu tür alaşımlar gerilim korozyonuna hassastır. Bu malzemeler oda sıcaklığında uzun süre bekletildiğinde veya daha yüksek sıcaklıkta tutulduğunda tane sınırlarında Mg_5Al_8 çökeltisi teşekkül eder. Bu çökelti matris atomlarına göre daha anodiktir. Tane sınırlarında kesintisiz bir çökelti ağının bulunması halinde ise bu bölgeler hızla anodik çözülmeye maruz kalmakta ve alaşımın taneleri arası gerilme korozyon çatlamasına (GKÇ) neden olmaktadır [1,18].

%6' ya kadar değişen oranlarda magnezyum ihtiva eden alaşımların, yumuşak temperlerde çok iyi şekillendirilebilme kabiliyeti, özellikle deniz atmosferinde genel korozyona karşı yüksek direnç, düşük ve yüksek sıcaklıklara dayanıklılık ve çok iyi kaynak yapılabilme gibi pek çok özelliği bünyesinde toplaması, bu alaşımların çok değişik sahalarda yaygın olarak kullanılmasına imkan sağlamıştır.

2.5.1.3. Alüminyum alaşımının süper plastiklik özelliği

Alüminyum alaşımlarına, katı çözelti serleştirme yöntemi ile güçlendirici partiküller ekleyerek (SiC, Al_2O_3) süper plastiklik özelliklerinin geliştirilmesi son zamanlarda araştırma konusu olmuştur. 5083 alaşımının orta düzeydeki dayanıklılığı, korozyona karşı dirençli olması, kaynak yapılabilmesi, yüzey parlatma işlemine uygun olması ve düşük maliyeti nedeni ile, süper plastik oluşum ile ilgili uygulamalar için tercih sebebi olmaktadır [19].

Alüminyum alaşımlarında, süper plastiklik sürecini Mg olumlu yönde etkilemektedir. Ticari nitelikteki 5083 Al alaşımının, kompleks termo mekanik işlemleri, süper plastik olarak deforme oluş veya büyük ölçekli dinamik

yeniden kristalleşmiş mikro yapıların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. İnce mikro yapıların tane boyutu yaklaşık $5\mu\text{m}$ dir [20,21].

Şekillenebilme özelliklerinin düşük kalitedeki çeliklere göre az olması nedeniyle alüminyum alaşımlarının deformasyon yöntemi ile levha metal haline getirilmesi sınırlıdır. Bu durumu ortadan kaldırabilmek amacı ile süper plastiklik özelliği, yeniden kristalleşen taneler sayesinde kolay deforme edilebilmeyi sağlamaktadır [22].

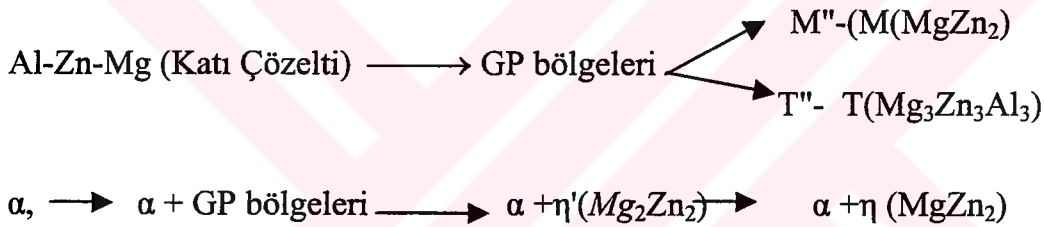
Süper plastik alaşımların geliştirilmesi genel olarak; element eklenmesi, yeniden kristalleşme ve mevcut alaşımların termo mekanik işleminden geçirilip, tanelerin küçültülmesi ile sağlanır. Süper plastik yapının elde edilmesi, karmaşık şekilli malzemelerin (I, H, U vb. ürünlerin) tek bir işlemle homojen yoğunluk ve kesitte ve uygun bir maliyette üretilmesini sağlar [8].

Al alaşımlarında süper plastiklik özellikleri büyük ölçüde tane boyutuna, tane boyutu kararlılığına ve boşluk oluşumuna bağlıdır. Malzemelerin süper plastik özellik gösterebilmesi için 5 ile $10\mu\text{m}$ 'lik bir tane boyutuna ihtiyaç vardır [23].

2.5.2. Isıl işlem yoluyla sertleşen alüminyum – çinko alaşımları

En yüksek mukavemet değerine sahip işlem alaşımları bu grup içerisinde yer almaktadır. Bu alüminyum alaşımlarında, mukavemet artışı çökelme sertleşmesi ile elde edilmektedir. Çinko ve magnezyum, aşırı doymuş katı çözelti ile sertleşme işlemini kontrol eden temel elementlerdir. Diğer bütün katkı elementleri ancak ikincil bir etkiye sahiptir [18].

Katı çözeltiliye alma işleminden sonra uygulanan yaşlandırma ısı işlemi, küre biçimindeki Guiner-Preston (GP) partiküllerinin teşekkülüne yol açmaktadır. Uygulanan ısı işlem koşullarına bağlı olarak, teşekkül eden partiküllerin çapı 20-35 Å arasında değişmektedir. Yaşlandırma ısı işlemi sonucunda mukavemet artışının temel nedeni, partikülleri oluşturan atomlar arasındaki kuvvetli bağın, dislokasyon hareketine karşı direnci artırmasıdır. Mukavemet, çökelti büyüklüğünden önemli ölçüde etkilenmektedir. Yaşlandırma ısı işleminde çökeltme aşamaları, genel olarak aşağıdaki biçimde özetlenebilir [1].



Uygulanan ısı işlemin amacı; malzemeye, kullanım yerine uygun optimum mekanik özellikler sağlamaktır. Çökeltme sertleşmesinde çözündürme işlemi 460 – 500 °C arasındaki sıcaklıklarda yapılır ve bunu su verme işlemi takip eder [24].

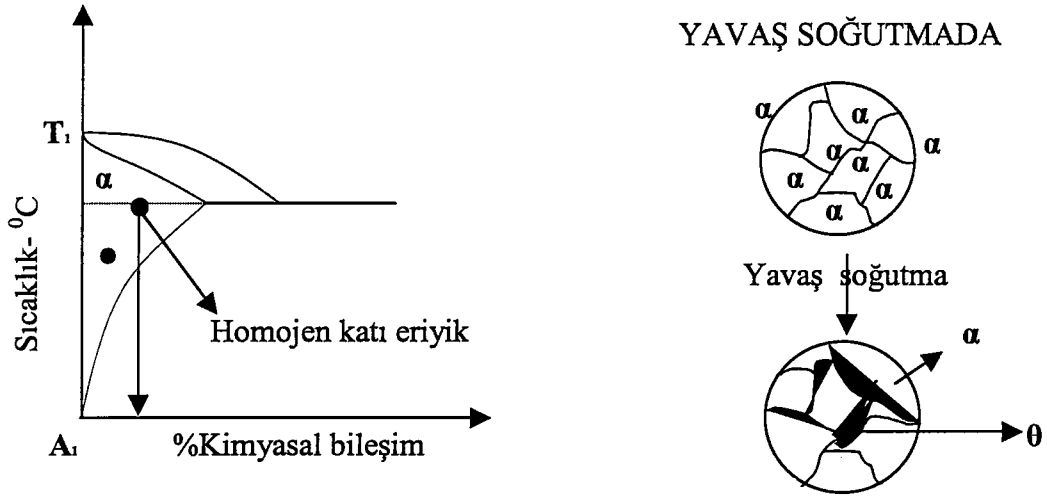
Mg+Zn içeriğinin belli bir değerin (Zn:%3,5 Mg:2,3) altında olması durumunda bekletme işleminin hiçbir etkisi olmaz. Çünkü Mg+Zn miktarının belli bir değerin altında olması sertleşme etkisi yaratan çökeleklerin teşekkülünü zorlaştırır. Mg+Zn alaşımının belli bir yüzde aralığında (Zn: %3.5-4.5, Mg: %2.3-3.3) olması halinde sertlik en yüksek değere ulaşır ve bu değerin üzerinde alaşım içeriğinin artırılmasının sertleşme üzerinde hiçbir etkisi olmaz. Bekletme sıcaklığının ve zamanının etkisi normaldir, sıcaklık arttıkça ve zaman uzadıkça dönüşüm daha ileri aşamalara doğru devam eder [18].

Bekletme sırasında ve bekletmeden önce soğuk işleme daha yüksek sertlik sağlamaktadır. Diğer taraftan deformasyon miktarı arttıkça başlangıç sertliği artmakta ve böylece başlangıç sertliği ile bekletme sonundaki sertlik arasındaki fark azalmaktadır.

Suni yaşlandırmanın ardından soğuk işlem yapılması dayanıklılığı daha da artırır, fakat haddeden geçirilebilme özelliğini ve gerilim korozyon direncini azaltır. Tavlanmış malzemelerin soğuk olarak işlenmesi yeniden kristalleşmeye sebep olur ve sertliği artırır, fakat elde edilen özellikler ısıtılma işlem sonucu bulunan değerler ile kıyaslanamayacak kadar düşüktür. Bekletme sıcaklığına ulaşıncaya kadar sıcaklığın hızlı bir şekilde artırılması dayanımı azaltır.

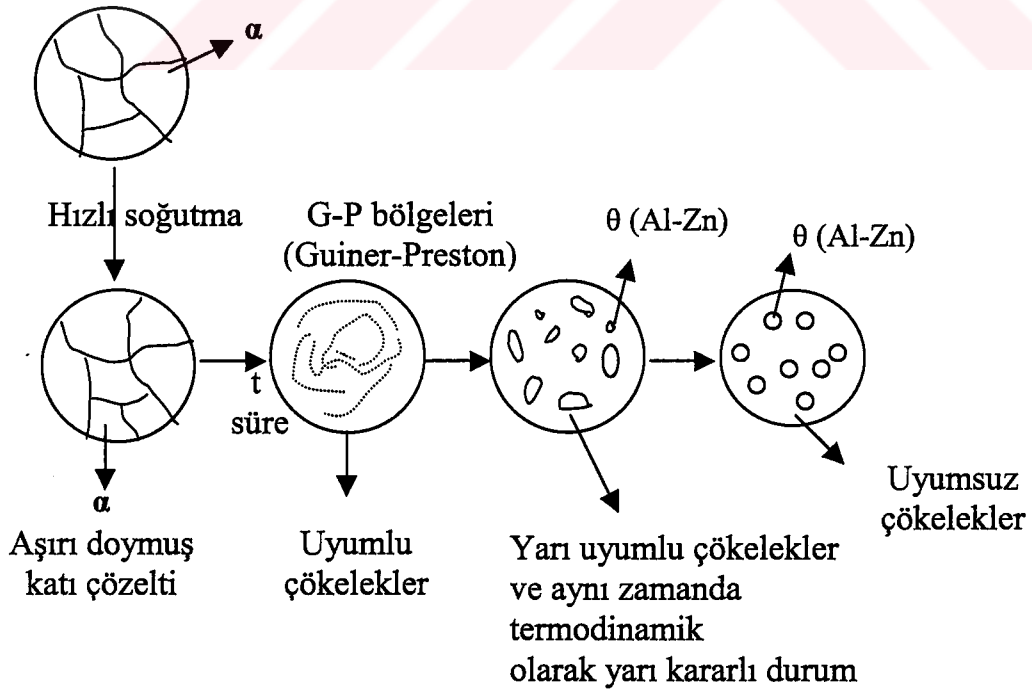
Uzun süre ile yüksek sıcaklıkta tutma, iri taneli çökelti oluşturup çatlamaya yol açabilir. Aşırı çözündürme sıcaklıklarından doğan hatalar ise; kabarcıklar, yüzey çatlaması (çevresel çatlama) veya yırtılmadır. Bunların nedeni de, daha önceki üretim safhalarındaki ingot gözenekliliği, ekstürizyonda oluşan oksit tabakası ve yapıda hapsolünmüş hidrojen ve diğer gazlardır [24].

Yaşlandırma ile sertleşen Al alaşımlarının ısıtılma uygulamalarındaki genel işlem sırası Şekil 2.3' te görülmektedir.



Doğal yaşlandırmada soğutma yavaş olduğu için yapı termodinamik olarak kararlı bir durumdadır.

$T = T_1$ HIZLI SOĞUTMADA İSE;



Şekil 2.3. Katı çözelti işleminin şematik görünüşü

Burada doğal yaşılandırma ve suni yaşılandırma işlemlerinin malzeme sertliğine etkileri, zamana ve soğutma ortamına bağlı olarak ne gibi değişikliklere sahip olduğu görülmektedir.

Çökelme sertleşmesi uygulanmış malzemelerde, iç yapıya homojen dağılarak özellikleri belirleyen çok ince çökelti kaynak sırasında ısı etkisiyle bazı bölgelerde çözünür ve soğutma sırasında kısmen tekrar çökeliirler. Ancak bu arada yeni çökeltielerin büyüklük biçim ve dağılımları değişir; başta tokluk olmak üzere mekanik özellikleri önemli oranda düşer [25].



3. BALİSTİK

3.1. Genel Açıklama

Balistik mermi hareketini inceleyen bir bilim dalıdır. Balistik, fişğin ateşlenmesi ile fişek çekirdeğinin namludan çıkıp hedefi vurmasına kadar ki hareketlerini, hedef üzerindeki tahribatı ve fişğin bu hareketlerini etkileyen faktörlerin incelenmesi şeklinde genel olarak ifade edilebilir [26,27].

3.2. Balistik Çeşitleri

Balistik üç ayrı kısımda incelenmektedir. Bu inceleme merminin namlu içine konulmasından, hedefe ulaşana kadar içinde bulunduğu ortama göre isim almaktadır. Bunları:

- 1- İç balistik,
- 2- Dış balistik,
- 3- Hedef balistiği (nüfuzi balistik) olarak sıralamak mümkündür.

Bu sıralamada, bu deneysel çalışma konusuyla ilgili olanı hedef balistiğidir. Çünkü yapılan deneyde hedefte meydana gelen tahribat incelendi. Diğer balistik çeşitleri ise bu çalışma konusunun dışında kalmaktadır. Fakat iç balistik koşulları ile dış balistik koşulları hedef balistiğine etki ettikleri için kısaca değinmekte fayda vardır.

3.2.1. İç balistik

Merminin ateşlenmesi ile mermi çekirdeğinin namluyu terk edinceye kadar ki hareketlerini ve bunlara etki eden faktörleri inceler. Silahtan mermi çekirdeğine asgari gaz basıncıyla mümkün olan azami hızın verilmesi istenir.

Ateşleme ile mermi içerisinde oluşan gaz basıncı sayesinde mermi çekirdeğine bir hız kazandırılmış olur ve buna ilk hızda denir. İlk hıza çekirdek namluyu terk edene kadar, bir çok faktörler etki edebilir. Bu faktörler kısaca şunlardır.

- 1-Namlunun durumu: Çekirdeğin namluya sürtünmesi sonucu zamanla aşınması.
- 2-Sevk barutu: Miktarı ilk hızı, ısı ve nem farkları ise yanma hızını değiştirir.
- 3-Mermi çekirdeğinin ağırlığı: Ağır olan çekirdek namluyu daha yavaş terk eder.
- 4-Silahın hatalı doldurulması.
- 5-İmalat hataları. Bu gibi faktörler ilk hız miktarına etki eden başlıca faktörlerdir [27].

3.2.2. Dış balistik

Mermi çekirdeğinin namluyu terk ettikten sonra hedefe varıncaya kadar olan hareketlerini ve bunlara etki eden faktörleri inceler. İç balistikte izah edildiği gibi mermi çekirdeği kazanmış olduğu ilk hız ile hedefe doğru gidecektir. Merminin namludan hedefe kadar takip ettiği yola mermi yolu denir. Namlu ağzından çıkan mermi üç kuvvetin etkisi altında ilerler. Bunlar;

- 1- Barut gazının itme kuvvetinin mermiye verdiği ilk hız.
- 2- Merminin kütesinin tesiri ile çekirdeği aşağı doğru düşürmeye çalışan yerçekimi.
- 3- Merminin ilerlemesine karşı olan hava direncidir. Hava direncinden dolayı merminin hızı namlu ağzından uzaklaştığı oranda azalır [27,28].

3.2.3. Nüfuzi (hedef) balistiği

Bu çalışmanın konusu ile direk bağlantılı olan balistik çeşitidir. Bu balistiğin değişik isimleri mevcuttur. Hedef balistiği, amaç balistiği, terminal balistiği, nihai balistik ve nüfuzi balistik gibi değişik isimler verilmektedir [30]. Nüfuzi balistik kavramı ile daha çok hedefin imhası anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın konusu, merminin hedef üzerinde yapmış olduğu tahribat ve hedefin mermiye karşı göstermiş olduğu tepkiyi içerdiği için bizde hedef balistiği diyebiliriz. Buna göre mermi çekirdeğinin, hedefte meydana getirdiği etkilerin incelenmesi olayına hedef balistiği denir [27,29].

3.2.3.1. Hedefte hasar meydana getirme

Atılan merminin özelliği ne olursa olsun hedefte meydana gelen hasar, merminin vuruş açısı ile hedefe girmesi şeklinde ifade edilebilir. Kullanılan merminin özelliğine göre hedefte meydana gelen hasarın oluş biçimi de değişmektedir. Bu çalışmanın konusu olan zırh levhalarına mermiler iki şekilde hasar verebilir.

- 1- Parça tesir etkisi : Mermi içerisinde bulunan infilak maddelerinin patlaması sonucu, mermi gövdesinin ufak parçalara ayrılarak hedefte hasar meydana getirmesidir. Mermi gövdeleri 30-40 RC arasında sertliğe sahip olup, döküm veya dökme çelikten yapılır. Bir merminin hedefteki parça etkisini değerlendirirken 12,7-6,35-3,1 mm kalınlığındaki yumuşak çelik levhalar üzerinde yaptığı delmeler dikkate alınır. 12,7mm'lik levhayı delen parçanın hafif zırhlı araçlar için etkili olacağı, 6,35 mm kalınlıktaki levhanın delinmesi parçanın çeşitli araçlarda, 3,1mm'lik kalınlıktaki levhanın delinmesi ise alanda duran uçaklarda etkili olabileceğini göstermektedir [28].

2- Darbe etkisi : Merminin V hızıyla hedefe çarpması anında, sahip olduğu $E_k=1/2mV^2$ kinetik enerjisinin(KE) oluşturduğu etkidir. Bu mermi bizim balistik test için kullandığımız kinetik enerjili zırh delme mermileridir. Bu mevzu hakkında biraz daha ayrıntılı bilgi verilirse, KE mermilerin zırh delme güçleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- a- Mermi çapına (D)
- b- Mermi enerjisine ve vuruş açısına(E,α)
- c- Mermi ve zırh malzemesinin kalitesidir. Buna göre atış doğrultusunda dik ve zırh levhasının kalınlığı 'd' olursa.

$$d = \theta \frac{E}{A} \quad (3.1)$$

olarak formülüne edilir.

E = Merminin kinetik enerjisi

A = Merminin kesit alanı

θ = Sabit sayı

Zırh levhasının kalınlığı (d) E ile doğru A ile ters orantılıdır.

$$E = \frac{1}{2} mV^2 \quad (3.2)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.3)$$

formülleri yerlerine yerleştirilirse;

$$d = \frac{2.\theta.m.V^2}{\pi.D^2} \quad \text{förmülü elde edilir.} \quad (3.4)$$

Değişik tip zırh delici mermilerle yapılan delme deneyleri sonunda θ sabiti için :

$$\theta = \frac{10^6 \cdot d}{D \left(\frac{V}{1000} \right)^2} \text{ s}^2/\text{m}^2 \text{ Formülü bulunmuştur.} \quad (3.5)$$

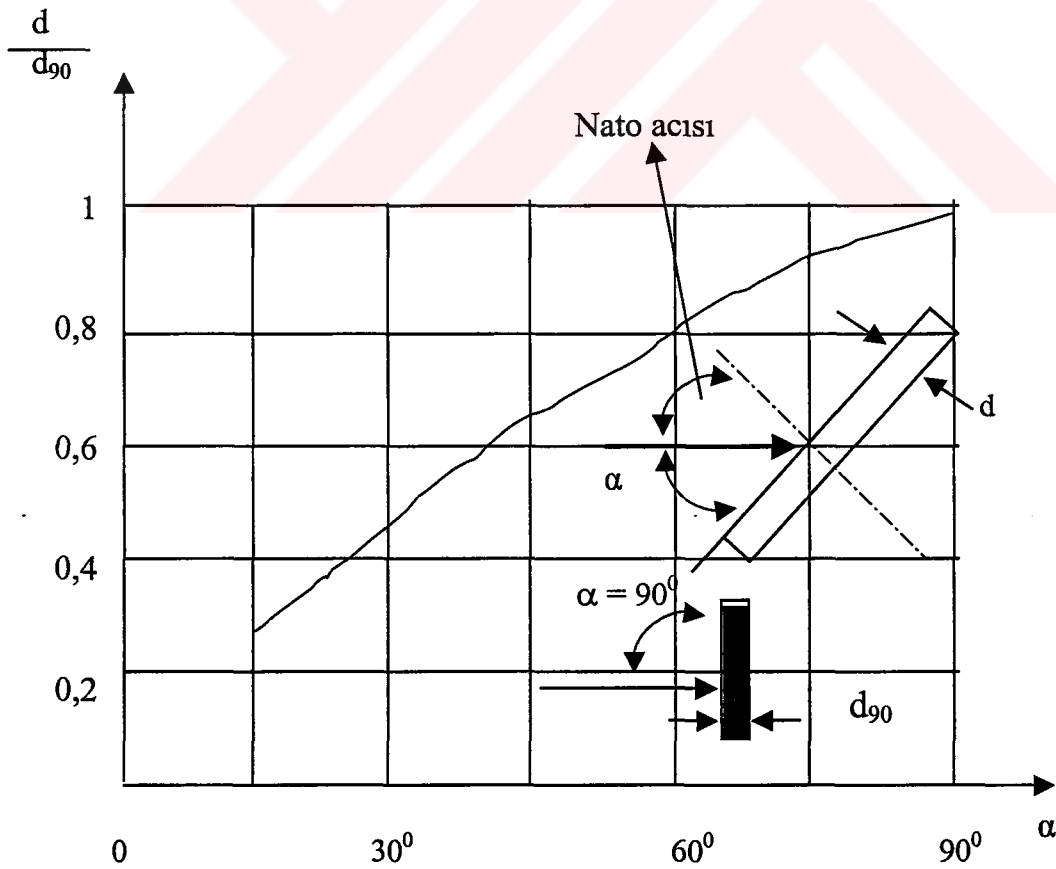
m = Mermi kütlesi (kg)

D = Mermi çapı (mm)

d = Zırh levhasının kalınlığı (mm)

V = Merminin zırh levhaya çarpma hızı

d/D , oranı zırh delici mermilerde delme gücü olarak kabul edilmektedir [29].



Şekil 3.1. Delme gücünün vuruş açısına bağlı olarak değişimi [29].

Yukarıdaki tabloda delme gücünün vuruş açısına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Nato'da α açısı zırh levha yüzeyinin normali ile atış doğrultusu açısındaki açı kabul edildiğinden $\alpha = 90^0$ olduğu zaman natoya göre $\alpha = 0^0$ demektir. Buda en etkili hedefe çarpma açısı demektir.



4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİN MEKANİK VE BALİSTİK MUAYENE YÖNTEMLERİ

Malzemeler tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki yöntemle muayene edilirler. Bu çalışmada, numuneler mekanik ve balistik yöntemlerle muayene edildikleri için sadece tahribatlı deneyler hakkında bilgi verilecektir.

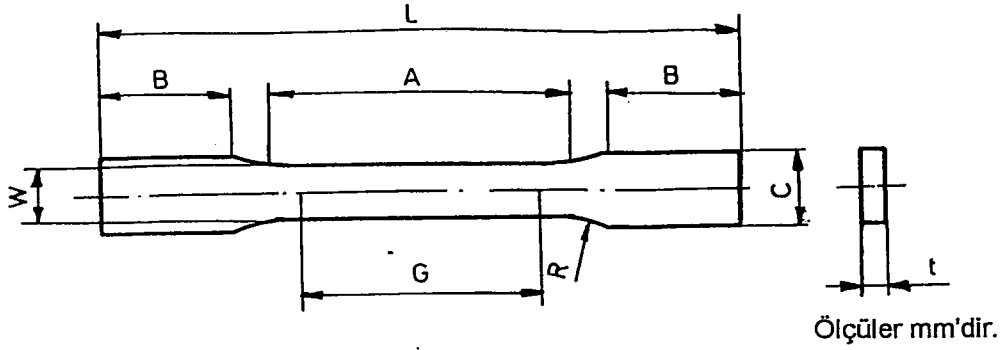
4.1. Tahribatlı Deneyler

Tahribatlı deneyler malzemede hasar meydana getirerek yapılan deneyler olduğu için malzeme daha sonra kullanılmaz. Deney numunelerinin alınmasında kullanılan yöntem deney parçası üzerinde en az deformasyon ve ısı oluşturan yöntem olmalıdır. Mekanik özelliklerin tayini için deney numunelerinin talaş kaldırma yöntemi ile hazırlanması en iyi yöntemdir. İlgili standartlarda belirtilen numune alma işlem sırasına riayet edilmelidir [30].

4.1.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi malzemelerin bazı önemli mekanik özelliklerinin belirlenmesinin yanında kaynaklı bağlantının verimliliği hakkında sağlıklı bilgiler elde etmek amacı ile uygulanan bir deneydir. Statik yüklemeye maruz kalabilecek bir malzemenin, maksimum tasarım gerilmesi çekme deneyi ile belirlenir. Çekme deneyleri yuvarlak, dikdörtgen, daraltılmış ve işlenmemiş kesitli numuneler için yapılır. Kaynaklı parçalarda, çekme deney numuneleri enine ve boyuna numuneler olmak üzere iki şekilde alınır [2,30,31].

Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli ve enine kesitli numuneler kullanıldığı için sadece bunlar hakkında bilgi verilecektir.



Şekil 4.1. Standart dikdörtgen çekme deney parçası [32].

Çizelge 4.1. Dikdörtgen kesitli numune boyutları (mm) [32].

G: Ölçü uzunluğu	50
W: Genişlik	12,5
T :Kalınlık	Malzeme kalınlığı (12,7)
R :Yuvarlatma yarı çapı	12,5
L :Toplam uzunluk	200
A :Gövde uzunluğu	57
B :Kavrama uzunluğu	50
C :Kavrama genişliği	20

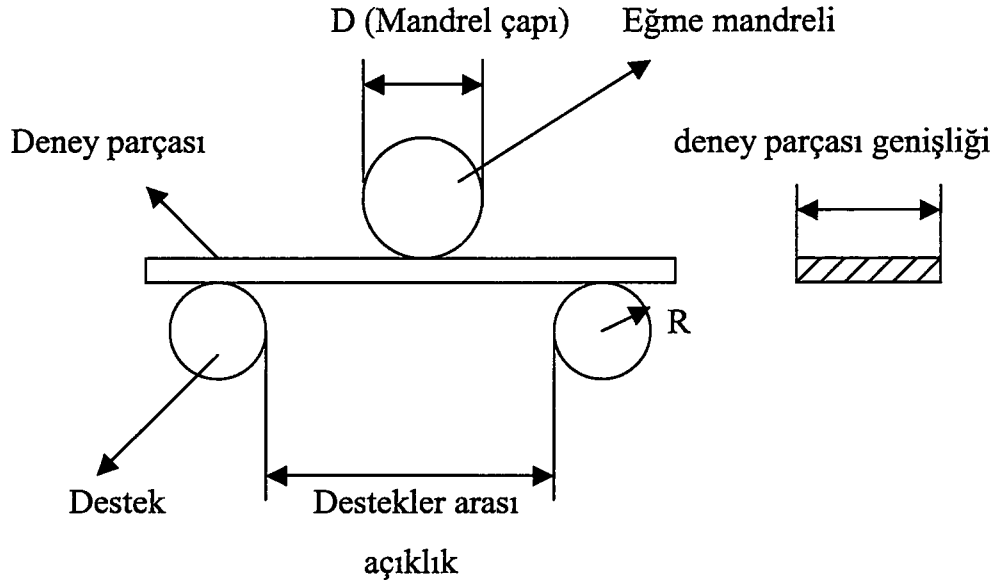
4.1.2. Eğme deneyi

Eğme deneyi, mandrel üzerinde eğme, serbest eğme, çentik eğme, kaynak dolgusunu eğme ve kalıpta eğme deneyleri olmak üzere değişik şekillerde yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden birinin seçimi, deneye tabi tutulacak malzemenin özelliğine bağlıdır [31].

Kaynaklı birleştirmelerde eğme deneyi alın altına birleştirilmiş malzemeler için uygulanmaktadır. Bu kontrol işlemi ile daha çok kaynağın veya kaynaklı parçaların değişik açı ve durumlarda şekil değiştirme yetenekleri kontrol edilir. Eğme kontrolü yapılan parçaların dış kısmında çatlama oluncaya kadar eğme işlemine devam edilir. Eğme işleminde parçaların dış kısmında çatlaklar oluşuktan sonra uygulanan yük durdurulur ve eğme açısı ölçülür. Parçalar kaynak kesitinden kırılmak suretiyle kaynak kesitleri de incelenebilir. Böylece alın kaynağı yapılan birleştirmelerin eğilebilme yetenekleri hakkında bilgi edinilir ve buna göre kaynağa devam edilir veya edilmez kararı verilebilir[33].

Eğme zorlamalarında gerilme, yüzeyden itibaren doğrusal olarak azalarak tarafsız ekseninde sıfır değerine ulaşır. Çapları farklı olan iki parçanın yüzeyindeki gerilme aynı ise, çapı büyük olan parçada daha büyük bir hacim yüksek gerilim altında kalır. Yüksek düzeyde zorlanan malzeme hacminin artması ile malzeme kusurlarının bulunma olasılığı artacağından büyük çaplı parçaların eğme dayanımları, küçük parçalara göre daha düşüktür. Çekme ve basma zorlamalarında ise belirgin bir boyut etkisi yoktur [34].

Bu çalışmada, kaynak bölgesinin özelliklerini belirlemek için kaynak dolgusunun eğme deneyi yapılmıştır. Numuneler enine numuneler olarak hazırlanmıştır. Deney, ana metal ile kaynak metalinin uyumunu bulmak, kaynakçının becerisini belirlemek ve kaynak bölgesinin dayanımını bulmak gibi değişik amaçlar için yapılmıştır. Deney numunesi Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, bir mandrel tarafından uygulanan kuvvetin etkisi ile eğilmeye çalışılmaktadır. Deney TS 205’de belirtilen koşullara uygun olarak yapılmalıdır [35].



Şekil 4.2. Eğme deneyinin şematik uygulanması [18]

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$A = 12,7 \text{ mm}$$

$$L_o = D + 3a \pm a/2 \cong 59 \text{ mm}$$

Deney malzemesine ait sayısal veriler yukarıda gösterdiği gibidir.

Eğme momentinin (M_e), karşı koyma momentine (Z) bölünmesi ile eğme dayanımı (δ_e) bulunur. Buna göre eğme dayanımı formülü şöyle olur:

$$M_e = \frac{P \times L}{4} \text{ den, (4.1)}$$

$$Z = \frac{S^2 \times L}{6} \text{ (4.2)}$$

$$\delta_e = \frac{\frac{P \times L}{4}}{\frac{S^2 \times L}{6}}, \text{ den eğme dayanımı bulunur. (4.3)}$$

δ = Eğme dayanımı

Z = Karşı koyma momenti

M_e = Eğme momenti

P = Uygulanan en büyük eğme momenti

L = Desteklerin arasındaki uzaklık

I = Kaynaklı birleştirmeler için atalet momenti

S = Malzeme kalınlığı

Mandrel üzerinde eğme deneyi kaynak bağlantısının sünekliğini ve varsa kusur derecesini bulmak için yapılır. Enine-dar ve geniş dikiş yüzeyli numuneler kaynak dikişi içindeki kusurlardan daha çok dikiş üzerinde ve dibindeki yüzeysel hataları gösterir. Enine yan yüzeyli numunelerle kaynak dikişi içindeki hatalar bulunur. Aynı zamanda bu numuneler ana metal, ergime bölgesi ve ısıdan etkilenen bölgelerin (ITAB) durumu hakkında bir fikir verir. Kaynağın süneklilik derecesi, kaynak dikişi ile ana metalin dayanım seviyeleri birbirine yakın ise enine-dar ve geniş dikiş yüzeyli numunelerle tayin edilebilir. Kaynak malzemesinin dayanımı anametalden fazla olduğu zaman deformasyonun büyük kısmı ana metalde olur. Bu nedenle boyuna kaynak dikişli numune tercih edilmelidir. Boyuna dikişli numunelerde numune kesiti eşit oranda deforme olur. Bazı metalleri kaynak ederken kaynak dikişi arasında sünekliliği azalan bölgeler oluşabilir. Bunlar ergime bölgesinde veya ısıdan etkilenen bölgelerin birinde ise numunede erken çatlamalara neden olabilir [31].

4.1.3. Sertlik deneyi

Sertlik deneyi, genel olarak deneye tabi tutulacak numuneden daha sert bir cismin numune yüzeyine daldırılması sonucu, numunenin iç yapısının göstermiş olduğu direncin belirlenmesidir. Sertlik muayene yöntemleri;

Brinell, Rockwel, Vickers, Knoop ve Shore dinamik sertlik yöntemleridir. Kaynaklı birleştirmelerde ITAB’ daki sertlik değişmelerini tesbit etmek maksadı ile bu sertlik ölçme yöntemleri yapılır.

Vickers sertlik ölçme metodunda tepe açısı 135° olan bir elmas pramit belirli bir yük altında belirli bir süre sertliği ölçülecek metal yüzeye batırılır. Yükün kaldırılmasından sonra numune yüzeyinde pramit şeklinde bir iz kalır. Bu izin köşegenleri ölçülmek suretiyle metal yüzeyinin sertliği ölçülmüş olur [36].

Vickers sertlik değeri (VS) , kgf (kilogram-kuvvet) cinsinden ifade edilen “F” yükünün piramit şeklindeki izin mm^2 cinsinden alanına bölünmesi ile bulunur.

$$VS = \frac{\text{Deney yükü}}{\text{İz yüz ölçümü (mm}^2\text{)}}$$

Sertlik ölçmede kullanılan deney cihazının özellikleri şunlardır.

Deney cihazı: ZWICK 3212 Vickers sertlik ölçme cihazı

Uygulanan yük: 0,2 kg

Dalma süresi: 15 sn

Mercek büyüklüğü: 600 büyültme

Ölçülen diagonal adeti: 2 ($d_1 + d_2$)

Dalma adeti: ----- Dolgu metaline : 5 adet

----- Isıdan etkilenen bölgeye: 5 adet

Bu çalışmada, Vickers sertlik deneyi yapılmış olup, ITAB’ daki sertlik değişmeleri tesbit edilmiştir. Deney TS 207 standardına uygun olarak yapılmıştır.

4.1.4. Balistik deneyi

Zırh malzemelerinin, çalışma koşullarına uygunluğunu tesbit etmek amacı ile tahribatlı yapılan özel bir deneydir. Balistik deney, numunelerin kurşuna karşı dayanımlarını tesbit için faydalanılan bir metottur. Bu yöntem özel labaratuvar şartları gerektirdiği için pahalı bir yöntemdir. Balistik deney, miktarı belli olan barut tozunun yanması sonucunda oluşan gaz basıncı ile mermi çekirdeğinin belli bir hız kazanarak hedefe çarpması ve hedefte meydana gelen hasarın bulunmasıdır.

4.1.4.1. Balistik deney ortamı

4.1.4.1.1. Atış makinesi

Özel olarak tasarlanan balistik test labaratuvarında, sabit olarak monte edilmiş ve deney amaçlı kullanılmak üzere imal edilmiş özel yapım atış makinasıdır. Atış makinasına oranları belli olan barut miktarı ve çapı bilinen zırh delmede kullanılan mermi ateşlendikten sonra yanan barut, gazının itme basıncı ile bir kinetik enerji kazanır. Bu, kinetik enerji yardımı ile atış makinasının namlusunu terk eden mermi hız ölçen sensörlere ulaşır.

4.1.4.1.2. Kurşun hızını ölçen sensörler

Makineden atılan kurşunun hızını ölçmek için deney alanı içinde iki tane sensör bulunmaktadır. Sensörler arası mesafe yaklaşık dört metre uzaklığındadır. Çerçeveler içinde bir endüksiyon akımı sağlamak üzere, çerçevenin etrafına bakırdan yapılmış özel ızalasyonlu tel sarılarak bir tip bobin haline getirilir. Çerçeveden geçen kurşun mıknatıslanarak oluşturduğu akım vasıtası ile uçuş süresi ve uçuş hızı ölçülebilmektedir [37].

Kurşun birinci çerçeveden geçerken meydana getirdiği endüksiyon akımı zaman saatini çalıştırırken, ikinci çerçeveden geçerkende meydana gelen akım zaman saatinin durmasını sağlar. Böylece zaman ölçülmüş olur. Sensörler arasındaki mesafe bilindiğine göre, uçuş hızını da $V = \Delta l / \Delta t$ den makina otomatik olarak hesap etmektedir [37].

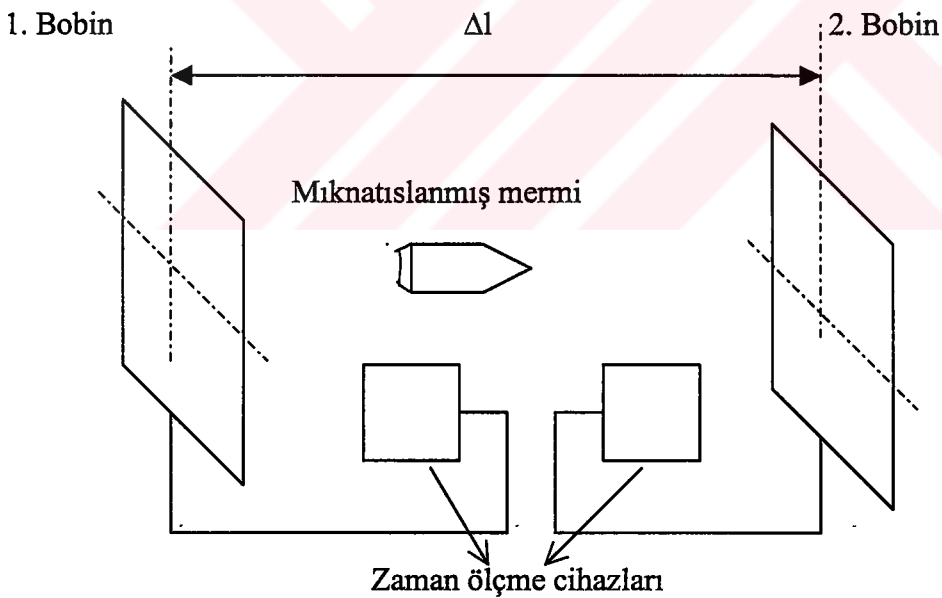
Burada;

V = Kurşunun hızı

Δl = Sensörler arası toplam mesafe

Δt = Kurşunun sensörler arasındaki geçiş zamanıdır.

Aşağıdaki şekil 4.3’de şematik olarak sensörlerin durumu gösterilmektedir.



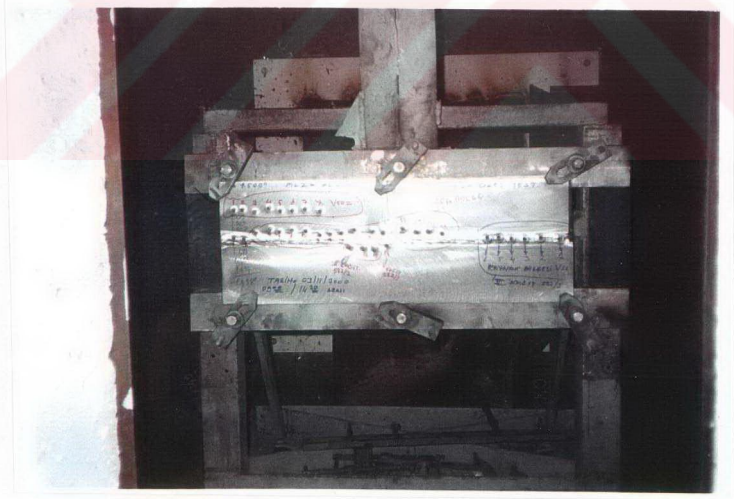
Şekil 4.3. Çerçeve metodu ile kurşun hızını ölçme yönteminin şematik gösterimi [38].

4.1.4.1.3. Elde edilen verilerin hesap edildiği bilgisayar ortamı

Özel tasarlanan düzenek vasıtası ile yapılan ölçümler sonucunda, mermi içine yerleştirilen barut miktarı, kurşunun levhaya çarpma hızı ve kurşun hızı gibi değerler bilgisayar ortamına aktarılarak veriler bir araya toplanmakta ve sonuçlar değerlendirilmektedir.

4.1.4.1.4. Deney parçasını sabitleme aparatı

Atılan kurşunun hedefte istenilen yere isabet edebilmesi için parçanın bağlandığı düzendir. Aparata parça sabit olarak bağlandıktan sonra, sabitleme düzeneği pratiklik açısından sağa, sola ve aşağı, yukarı hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Deney parçasının sabitleme aparatında işlem sonrası görünüşü

4.1.4.2. Atılan kurşunun hedefe ulaşana kadar geçirdiği süreç

Daha önceden belirlenen barut miktarı ile birlikte, belirli çaptaki mermi atış makinasına yerleştirilir. Atış makinası üzerindeki yardımcı aparat olan ve hedef tesbiti yapan lazer ile hedef üzerinde atış yapılacak olan bölge tespit edildikten sonra ayrı bir bölmede bulunan kontrol odasından atış düzeneği vasıtasıyla atış makinası ateşlenir. Mermi içerisine belirli oranda yerleştirilen barut, ateşleme esnasında yanarak barut gazı meydana getirmektedir. Meydana gelen barut gazının basıncı ile kinetik enerji kazanan mermi çekirdeği, namluyu terk ettikten sonra hızının ölçüldüğü 1 ve 2 nolu çerçevelerden geçerek, lazerin hedef tespiti yapmış olduğu noktaya çarpar. Bu çarpma sonunda merminin kinetik enerjisi yeterli ise hedefteki zırh malzemesini deler. Fakat kurşunun kinetik enerjisi yeterli değilse zırh malzemesi delinmesi söz konusu olmayacaktır.

Atış laboratuvarı içine yerleştirilen kameralar vasıtası ile kontrol odasından kurşunun hedefe çarpması görüntülenir. Atış işlemi bittikten sonra laboratuvar içine girilerek, kurşunun levhayı parçalayıp parçalamadığını gözle kontrol edilir ve sonuç PP (Atış sonrası levha delinmedi) veya CP (Atış sonrası levha delindi) olarak bilgisayara kayıt yapılır.

4.1.4.3. Deneyin geçerlilik durumu

Zırh levhalarının balistik kontrollerinin kabul edilebilir olması için minimum altı atış yapılmaktadır. Levhayı delen iki atışın çarpma hızlarının toplamaları ile levhayı delmeyen iki atışın çarpma hızlarının toplamalarının farkı 60 ft/s geçmeyecek koşulunu sağlayan, dört atışın sonucu değerlendirmeye alınmaktadır.

4.1.4.3.1. Mermi çekirdeğinin zırh levhasına çarpma hızı

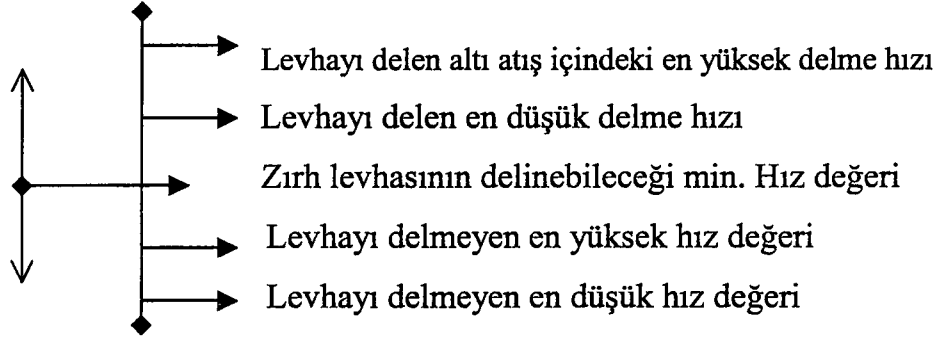
Namluyu terk eden kurşunun hızı sensörler yardımı ile ölçüldükten sonra, çarpma hızını bulabilmek için standartlarda verilen “G” faktörün tanımını yapmada fayda vardır. “G” faktörü: mermi çekirdeğinin hedefe çarpması anına kadar kaybettiği hız olarak tanımlanır. Sensörlerde ölçülen hız miktarı tespit edildikten sonra, bu hızın tekabül ettiği, standartlarda belirlenen tablodan faydalanılarak “G” faktörü bulur ve sensörlerdeki ölçülen hızdan çıkarılarak (sensörlerdeki ölçülen hız - “G” faktörü) çarpma hızı bulunmuş olur.

Çarpma hızı ile ilgili bir örnek verilecek olursa; sensörlerdeki ölçülen hız miktarı 2480 ft/s hıza sahip olan bir kurşunun levhaya çarpma hızı, “G” faktörünün etkilemesi ile tablodan tekabül ettiği çarpma hızı 2473 ft/s olarak bulunmaktadır. Görüldüğü gibi hızdaki kayıp 7 ft/s dir.

4.1.4.3.2. V_{50} Hız limitinin hesaplanması

Bir zırh levhasının balistik olarak kabul edilebilmesi için, kabul sınırları içindeki minumum hız limitine V_{50} hız limiti denir. V_{50} hız limitini hesaplarken minumum altı atışın yapılması gerekmektedir. Altı atış sonunda elde edilen sonuçlardan, levhayı delen iki tane atış sonucu ile levhayı delmeyen iki atış sonucu alınır. Levhayı delen iki atışın çarpma hızlarının toplamı ile levhayı delmeyen iki atışın çarpma hızlarının toplamının farkı 60 ft/s geçmeme şartı ile bu dört değer toplanır ve aritmetik ortalamaları alınır. Alınan bu aritmetik ortalama sonucu zırh levhasının V_{50} hız limitini verecektir. Çıkan sonuç standartlarda belirtilen değerle karşılaştırılarak kabul edilebilir veya kabul edilemez olduğuna karar verilir. Bu dört sonucun hesaplanması aşağıda şematik olarak verilmiştir.

Levhanın
Delinebileceği
Hız limiti



Levhanın
Delinemeyeceği
Hız limiti

Örneğin, 7039 Al-Zn alaşımının standartlarda belirtilen V_{50} hız limiti = 2649 ft/s dir. Yapılan altı atış sonunda alınan dört değer V_{50} Hız limiti bu standart değer altında ise (örneğin 2610 ft/s olduğunu kabul edersek) levhanın kabul sınırında 39 ft/s daha düşüktür denilir ve balistik olarak kabul edilemez. Fakat V_{50} hız limitinin 2670 ft/s olduğu kabul edilirse, o zaman zırh levhası min V_{50} hız limitinin 21 ft/s üzerine çıkmıştır ve dolayısı ile kabul edilebilir sınırlar içindedir.

5. MALZEME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Çizelge 5.1’de kimyasal bileşimi verilen alüminyum-magnezyum alaşımlarından H321 ısıtıl işlemi uygulanmış 5083 alaşımı ile Çizelge 5.2’de kimyasal bileşimi verilen 7039 alüminyum-çinko alaşımının MIG kaynağı ile kaynaklanarak, kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özellikleri araştırılmıştır.

5.1.Deneyde Kullanılan Malzemeler

5.1.1.Ana malzeme

Bu çalışmada yer alan 7039 ve 5083 alüminyum alaşımlarının her ikisi de işlenebilen alaşımlar içerisinde yer almakta olup, 7039 alaşımının bu grup içinde ısıtıl işlem görerek mekanik özellikleri geliştirilmiştir. 5083 alaşımı ise ısıtıl işlem uygulanamayan soğuk deformasyonla sertleştirilebilen işlem alaşımları içerisinde yer almaktadır. Mekanik deneylerde kalınlığı 12,7 mm olan kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’ de verilen H321 temperi uygulanmış 5083 alüminyum-magnezyum alaşımı ile kimyasal bileşimi Çizelge 5.2’ de verilen 7039 alüminyum-çinko alaşımı kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. 5083 Al alaşımlarının kimyasal bileşimi ve alaşım elementleri ve ısıtılma işlemiyle ilişkili olarak değişen mekanik özellikler [38].

Kodu	Uygulanan ısıtılma işlemi	Kimyasal Kompozisyonu							Mekanik Özellikleri		
		Mg	Mn	Cr	Fe	Si	Zn	Al	Çekme Kg/mm ²	Akma Kg/mm ²	Uzama En az %
5083	O	4,25	0,61	0,18	0,23	0,11	0,02	kalan	28-36	12-20	16
	H 321	4,00	0,40	0,05	-	-	-	kalan	31-39	22-30	12
	H 323	4,90	1,00	0,25	0,40	0,40	0,25	kalan	31-38	24-31	8

Çizelge 5.2. 7039 Al alaşımlarının kimyasal bileşimi [39].

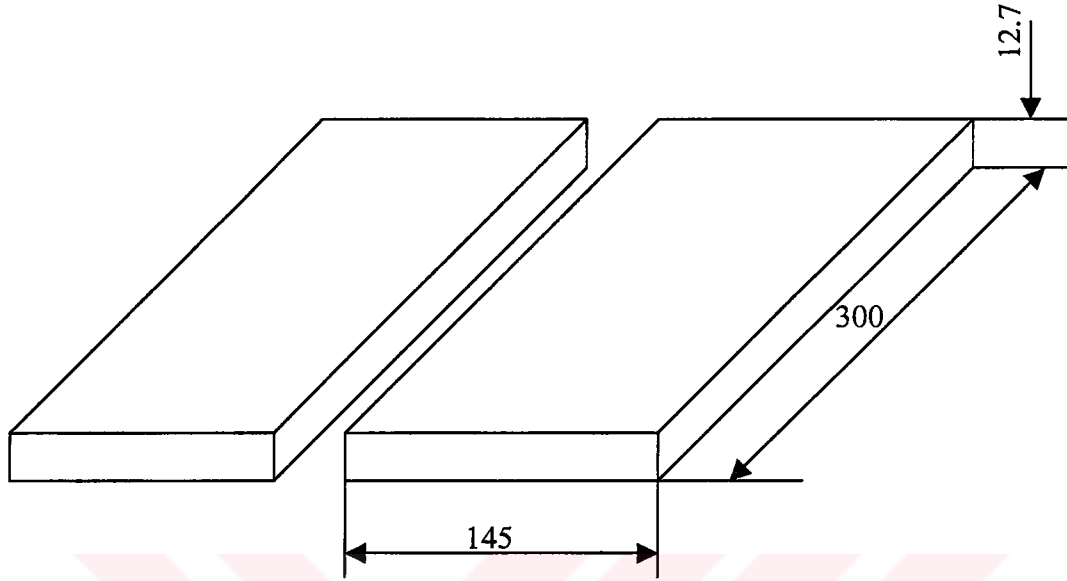
Element	% Bileşim
Çinko	3,5- 4,5
Magnezyum	2,3- 3,3
Mangan	0,10- 0,40
Bakır	0,10
Demir	0,40
Silisyum	0,30
Krom	0,15- 0,25
Titanyum	0,10
Diğer	0,05
Başka metallerin bileşimi toplamı	0,15
Alüminyum	Kalan

5.1.2. Tel elektrot ve koruyucu gaz

Birleştirmelerde kullanılan ilave metal Amerikan ulusal standardı ANS/AWS A5. 10-92'e uygun olan ER 5356 ve A9 5356 spesifikasyonu kullanılmıştır. Numunelerin kaynatılmasında Safra firması tarafında üretilen çapı 1,6 mm olan ve kimyasal bileşimi Çizelge 5.3' de verilen kaynak dolgu metali ile koruyucu gaz olarak %99.999 saflıktaki argon gazı kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. İlave metallerin kimyasal bileşimi [40].

AWS Sınıflaması	UNS No'su	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Başka elementler	
											Toplam	Al
ER 5356	A 95356	0,25	0,40	0,10	0,05 - 0,20	4,5 - 5,5	0,05 - 0,2	---	0,10	0,06 - 0,2	0,15	kalan
R 5356	A 95356	0,25	0,40	0,10	0,05 - 0,20	4,5 - 5,5	0,05 - 0,2	---	0,10	0,06 - 0,2	0,15	kalan



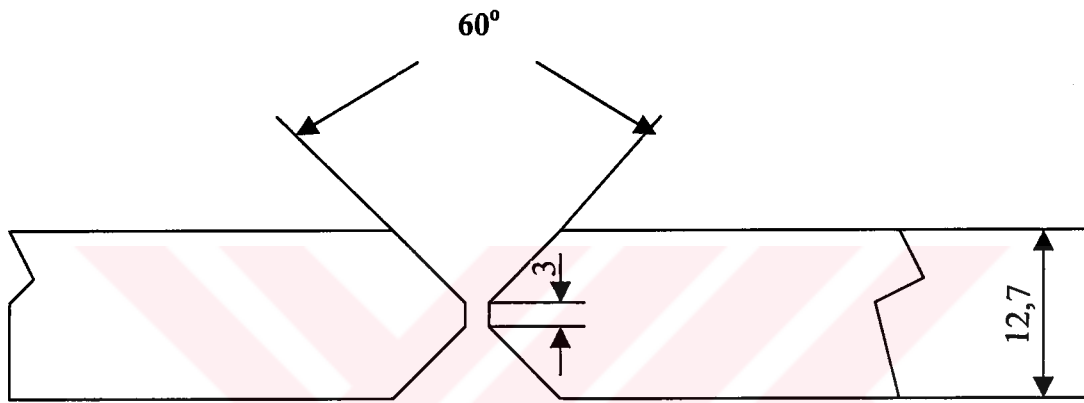
Şekil 5.1. Mekanik deneylerde kullanılan malzemenin boyutları.

Çizelge 5.4. Parça boyutları ve malzeme spesifikasyonu

Malzeme	Kalınlık	Genişlik	Boy	Malzeme spesifikasyonu
7039	12,7 mm	290 mm	300 mm	MIL-DTL 46063-H
5083	12,7 mm	290 mm	300 mm	MIL-DTL 46027- J

5.2. Parçaların Kaynaklanması

Kaynak işlem parametreleri ve birleşim detayları verilen parçalara, kaynak öncesi gerekli önlemler alındıktan sonra Şekil 5.2’ de görüldüğü gibi çift V kaynak ağzı açılarak dört paso kaynaklama işlemi yapılmıştır.



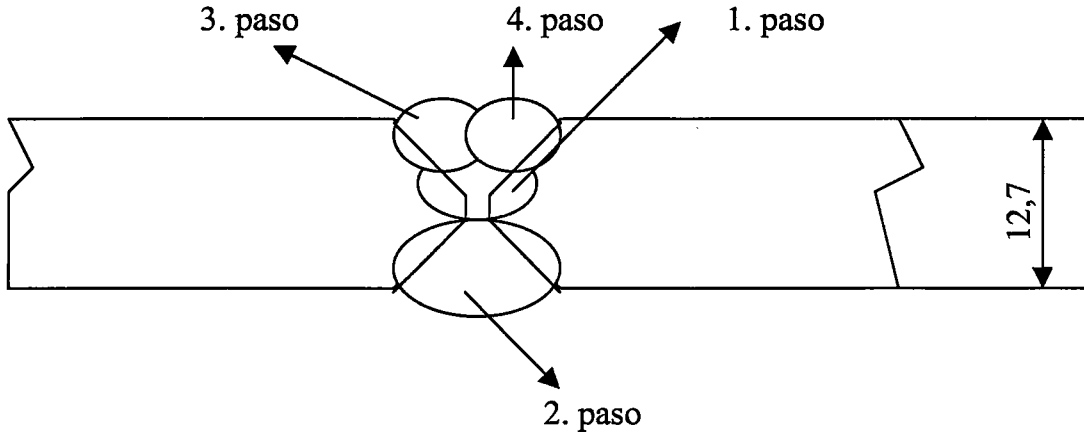
Şekil 5.2. Birleşim taslağı

Çizelge 5.5. Pasolar arası kaynak yöntem parametreleri

Paso	Kaynak yöntemi	Akım	Gerilim	Kaynak Akımı	Kaynak hızı (cm/dak)
4 Adet	GMA W (MIG) Gaz Altı Ark Kaynağı	280-330 A	27-30 V	Doğru akım (DC)	40

Çizelge 5.6. Parçaların kaynak işlem parametreleri [41].

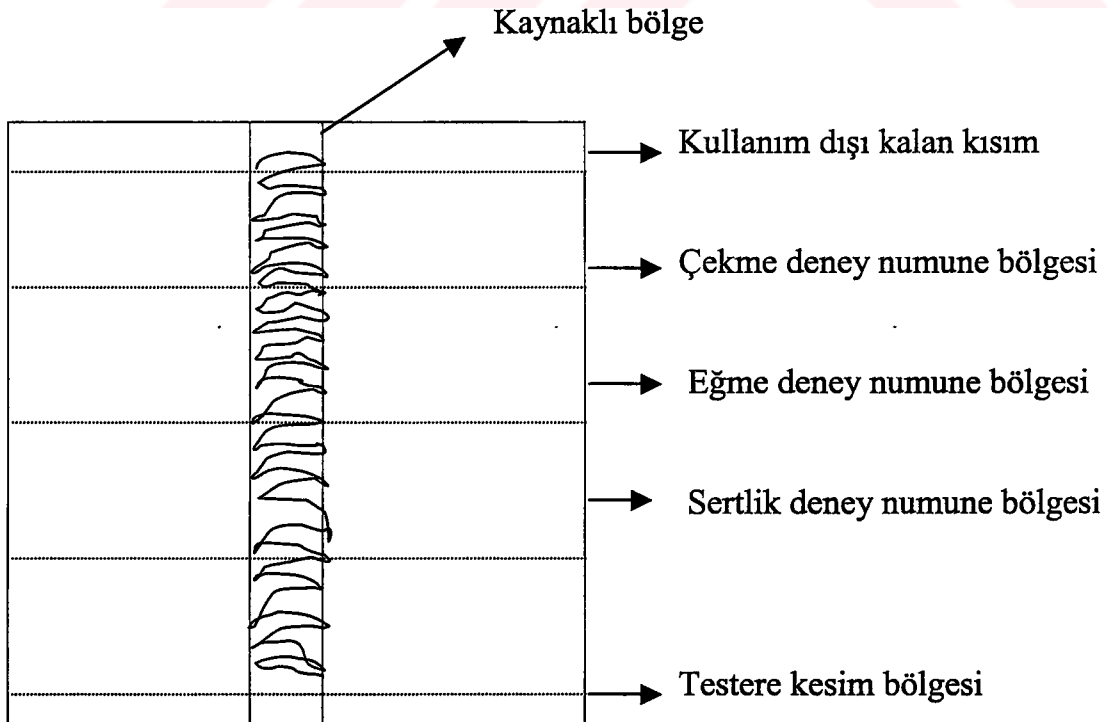
Kaynak yöntemi	MIG	
Birleşim tipi	Alın birleştirme	
Kaynak tipi	Çift V	
Dolgu malzemesi	İmalatçı firma	Safra
	Tipi	Er 5356
	Çapı	Ø 1,6 mm
	Spesifikasyonu	ANSI/AWS A 5.10
Kaynak ağzı	İşlenerek (talaş kaldırılarak) açıldı	
Kaynak öncesi ara paso temizliği	--- Paslanmaz tel fırça --- Yağ alma --- Oksit alma	
Malzeme sıcaklığı	Oda sıcaklığı	
Örtü ortamı	Koruyucu ortam	Gaz ortamı
	Gaz karışımı	%99,999 Ar
	Gaz debisi	12-14 lt/dak
	Nozul boyutu	Ø 10 mm
Kaynak konumu	Düz konumda kaynatıldı	
Kaynak işlemi	Yarı otomatik düzen	
Kaynak akımı	Doğru akım (DC)	
Kutuplama	Ters kutuplama , Elektrot (+), Malzeme (-)	



Şekil 5.3. 5083 ve 7039 Al alaşımları için kaynak detayı.

5.3. Kaynaklanmış Malzemedan Deney Numunesinin Alınması

Her iki alaşım grubunda boyutları daha önce verilen TS EN 485-2 standardına göre ISO 7438’ de belirtilen özelliklere dikkat edilerek, Şekil 5.4’de gösterildiği gibi çekme deney numunesinin hemen bitişiğinden eğme ve sertlik numuneleri alınmıştır.



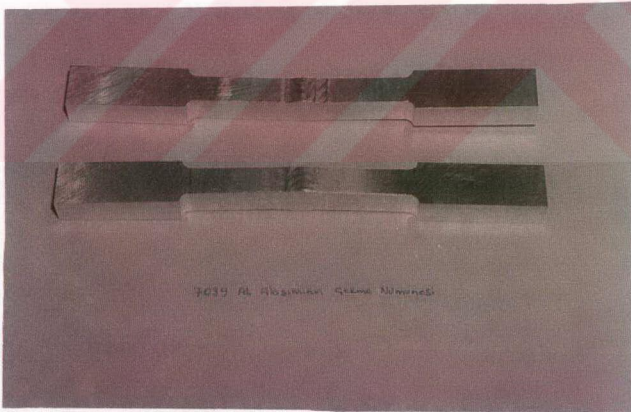
Şekil 5.4. Numune alma bölgelerinin şematik gösterimi.

5.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri TS 485-2 standardının belirttiği ölçülerde, malzeme yapısını değiştirmeden talaş kaldırmak suretiyle mekanik olarak hidrolik testerede kesilip, frezede ilgili standardın ölçülerine getirildi.

5.4.1. Çekme deneyi numunesinin hazırlanması

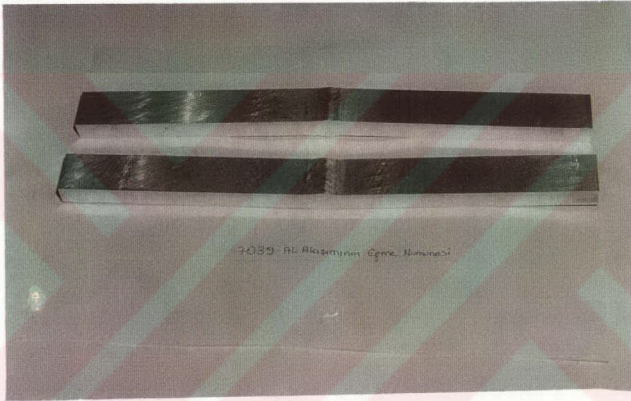
Çekme numuneleri kaynak dikişine dik olarak alınıp, enine kaynak numuneleri olarak, frezede TS 485-2 de belirtilen ölçülere getirildi. Her iki alaşım grubundan 4' er tane olmak şartı ile toplam 8 adet çekme numunesi hazırlandı. Şekil 5.5' de ilgili standarda göre hazırlanmış çekme numuneleri görülmektedir.



Şekil 5.5. Çekme deney numunesinin resmi

5.4.2. Eğme deney numunesinin hazırlanması

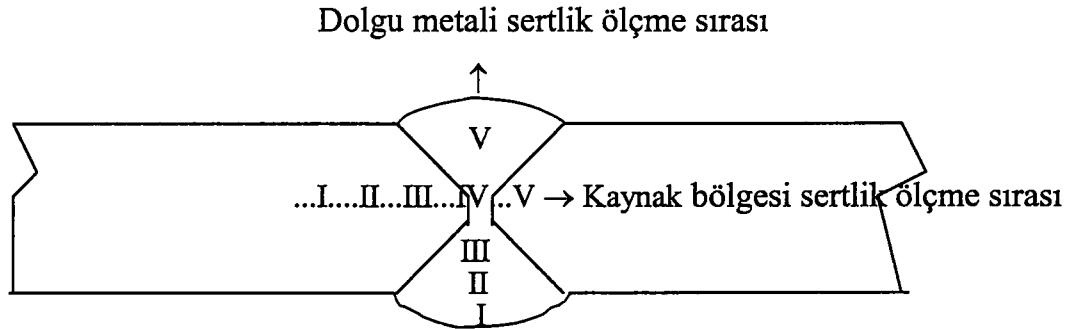
Eğme deneyi yapılacak parçalar TSE 485-2 standardına göre hazırlandıktan sonra, yine TSE 205 “Metalik Malzemelerin Eğme ve Katlama Deneyleri” standardına uygun deney ortamında numuneler eğilmiştir. Şekil 5.6’ da ilgili standarda göre hazırlanmış eğme numuneleri görülmektedir.



Şekil 5.6. Eğme deney numunesinin resmi

5.4.3. Sertlik numunelerinin hazırlanması

Deney malzemeleri TSE 207 standartına uygun hazırlanarak Vickers sertlik ölçme yöntemi ile sertlikleri kontrol edilmiştir. Yapılan çalışmalar kaynaklı malzemenin dolgu metalini ve ısıdan etkilenmiş bölgelerdeki meydana gelen sertlik değişikliklerini görmek amacı ile yapılmıştır. İnceleme yapılan numune, meydana gelen değişiklikleri üzerinde bulunduran numunedan alınmıştır.



Şekil 5.7. Sertlik deney numunesi ve sertliği ölçülen bölgelerin şematik gösterilişi

5.4.4. Mikro yapı numunelerinin hazırlanması

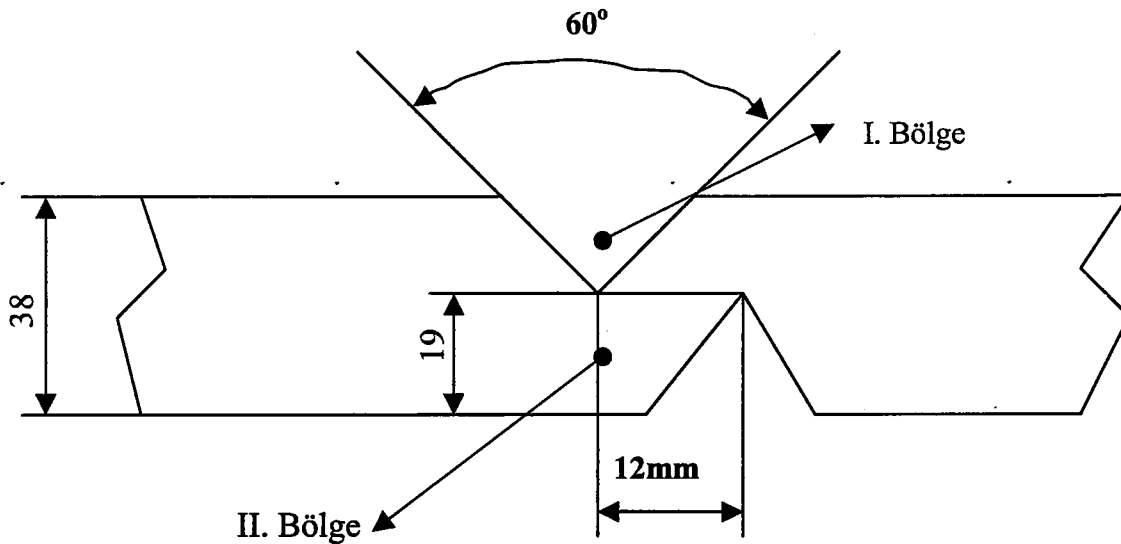
Mikro yapı incelemeleri ana metalden kaynak metaline kadar, ısının sebep olduğu değişikliğin tane yapısına etkilerini görmek ve değişen yapının sertlik üzerindeki etkilerini tespit etmek amacı ile yapılmıştır. Malzemeden alınan numuneler ITAB'ı tam temsil edecek bölgelerden alınmıştır. Numuneler testere ile kesilip eğe ile düzeltildikten sonra 200 numaralı zımparadan başlayıp 1200 numaralı zımparaya kadar kademeli olarak yüzeyleri zımparalanmıştır. Parlatma işlemi ise 6, 3, ve 1 μm elmas pastanın parlatma keçesine emdirilerek numuneye sürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi bittikten sonra yüzey su ve sıvı sabun ile temizlenip kurutuldu ve Flick çözeltisi (10 ml HF, 15 ml HCl, 90 ml H₂O) içerisinde 10 ila 20 sn daldırılıp dağlama işlemi yapıldı su ile tekrar temizlendi. Sonra alkole daldırılıp kurutma makinası ile kurutma işlemi yapıldı. Mikro yapısını görüntülemek için hazır hale gelen her iki gruba ait numunelerin ısı tesiri altında kalan bölgelerinden tane yapılarına ait mikro fotoğraflar alındı. Bu resimler sırası ile ana metal, geçiş bölgesi, dolgu metali ve pasolar arası dolgu metalinin resimleri olmak üzere bir bütün halde verildi.

5.4.5. Balistik deneyi numunelerinin hazırlanması

Balistik özelliğe sahip olan 7039 Al-Zn alaşımına ait zırh malzemesi özel bir firmanın test laboratuvarında, balistik olarak kontrol edilmeden önce özel balistik kaynak ağızı açılarak, çoklu paso ile balistik muayene için kaynak yapılmıştır. Malzeme boyutları Çizelge 5.7’de, açılan kaynak ağızı Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Kaynak yöntemi ve işlem parametreleri mekanik deneyler için kullanılanlarla aynı olup Çizelge 5.5 ve 5.6’da gösterilmiştir. Balistik levhaların kaynağında 7+7 olmak üzere toplam 14 paso kaynak yapılmıştır.

Çizelge 5.7. 7039 Alaşımının parça boyutları ve malzeme spesifikasyonu.

Malzeme	Kalınlık	Genişlik	Boy	Malzeme spesifikasyonu
7039	38 mm	300 mm	800 mm	MIL-DTL 46063-H



Şekil 5.8. Birleşim taslağı

Kaynak ağzının Şekil 5.8'deki gibi açılmasının nedeni; malzeme balistik zırh levhası olduğundan dolayı kurşun kaynak bölgesine atıldığı zaman Şekil 5.8'de görüldüğü gibi kurşun iki bölgeden geçer, 1. bölge kaynak dolgu metalinin bulunduğu kısım 2. bölge ise kaynak dolgu metalinden sonra gelen özel olarak işlenmek suretiyle yapılan ana malzemedir. Bu işlem ana malzemenin balistik mukavemetine yakın mukavemet elde etmek amacı ile yapılmıştır.

Bu çalışmada, Şekil 4.4'de görüldüğü gibi malzemenin üst kısmının iki parça olarak kaynatılmasının nedeni, kullanımda fazla hurdaya ayrılmamasıdır.



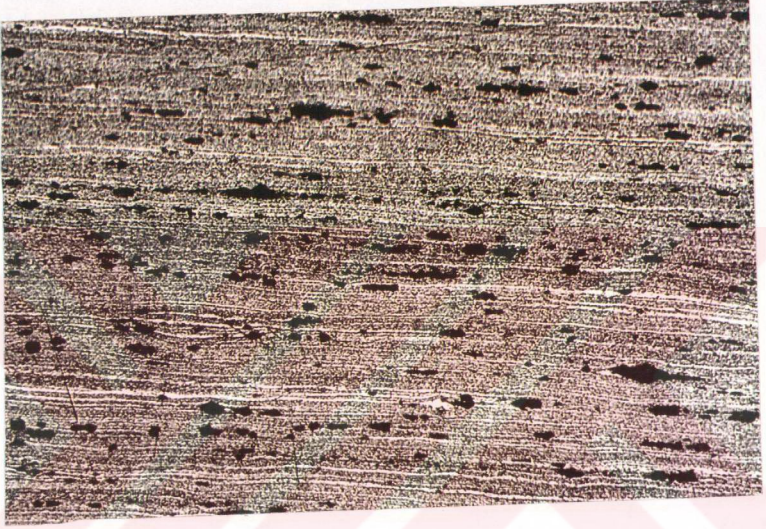
6. DENEY SONUÇLARI

Çizelge 5.1’de (H321 temperi uygulanmış 5083) ve Çizelge 5.2’de (7039) kimyasal bileşimleri verilen Al alaşımlarına MIG kaynak yöntemi ile kaynak işlemi yapıldıktan sonra mekanik ve balistik özellikleri hakkında bilgi edinmek amacı ile deneyler yapılmıştır. Mekanik deneyler için ; çekme, eğme ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca tane yapısını görmek amacı ile mikro ve kaynak nüfuziyetini ve hataları tespit amacı ile makro yapı fotoğrafları alınmıştır.

MIG kaynak yöntemi ile kaynak işlemi yapılan 7039 Al alaşımının; ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak dolgu metalinin balistik kontrolleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar “Armor plate (zırh levhası)” standardında verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

6.1. Makro ve Mikro Yapı Sonuçları

Tane yapısı hakkında ısı (tavlama ve kaynak esnasında) öncesi ve sonrası bilgi edinmek amacıyla mikro yapıları incelenmiştir. 5083 Al alaşımı mekanik yöntemlerle (haddeleme) soğuk olarak sertleştirildiği için, haddeleme sonrası taneler hadde yönünde uzamışlardır (Şekil 6.1). Hadde yönünde uzayan tanelerin ısı karşısındaki davranışları hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla 450 °C’ de 2 saat ısıtılma tabi tutulan ana malzemenin mikro yapısı Şekil 6.2’ de görülmektedir.



Şekil 6.1. 5083 Al alaşımda ana malzeme mikro yapısı(x100)

5083 Al alaşımda hadde yönünde uzayan tane yapısı, ısıtma işlemi sonunda bozulup eş eksenli taneler haline dönüştüğü görülmektedir (Şekil 6.2). Tane sınırlarında ve içlerinde görülen siyah noktalar muhtemelen 5083 Al alaşımda görülen Mg_3Al_8 fazıdır.



Şekil 6.2. 5083 Alaşımının 450° de 2 saat ısıtma sonrası mikro yapısı(x100)

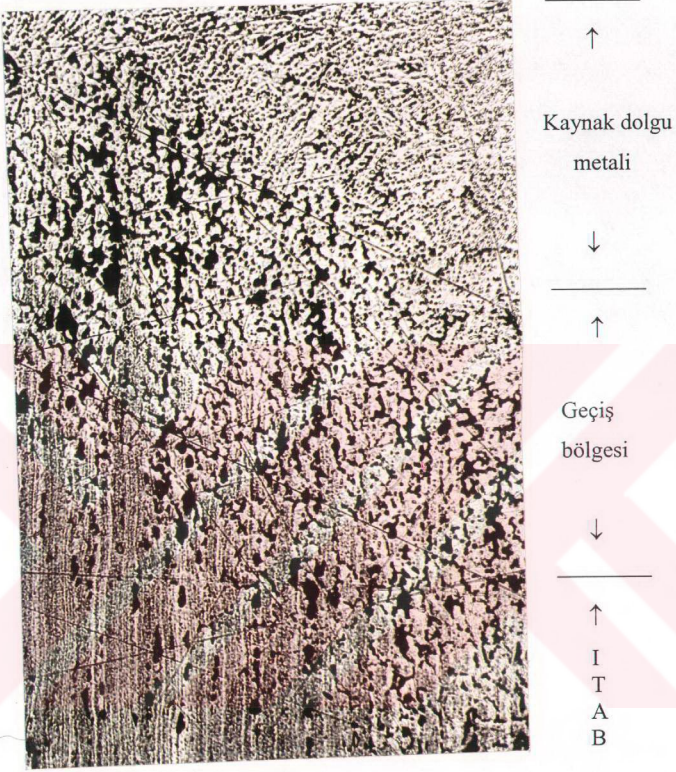
Kaynak dolgu metalinin pasolar arası nüfuziyetleri ve dolgu metalinin ana metal ile olan nüfuziyeti hakkında bilgi edinmek amacı ile kaynak sonrası makro yapı resimleri alınmıştır.

Şekil 6.3'de 5083 Al alaşımının makro yapısında çift V kaynak ağzı açılarak yapılan dört paso kaynak işlemi görülmektedir. Burada dolgu metalinin, pasolar arası ve ana metal ile olan nüfuziyetleri görülmektedir. Parçalara çift V kaynak ağzı açılması nedeni ile kaynaklı bağlantının orta bölgesinde dolgu metali ana metale daha az nüfuz ettiği görülmektedir. Ayrıca paso sayısı çok olan bölge, ısıyı fazla aldığından dolayı buradaki geçiş bölgesinin daha geniş olduğu tespit edilmiştir. Yapıda herhangi bir makro hata görülmemektedir.



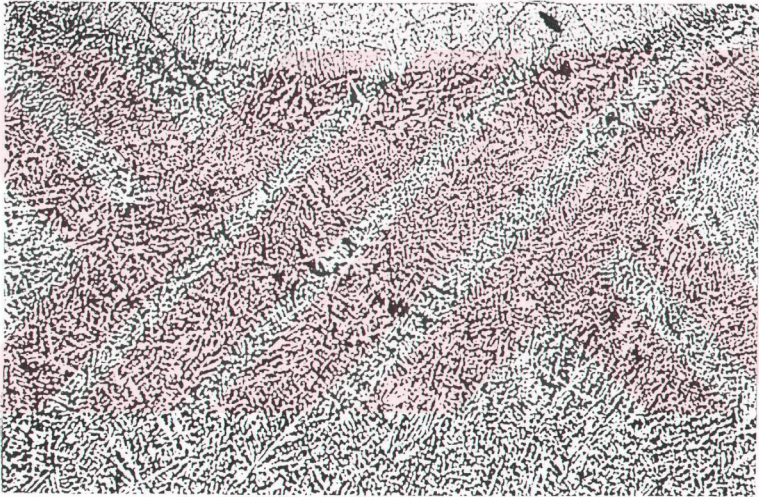
Şekil 6.3. 5083 Al alaşımlının kaynak metali makro görüntüsü

Şekil 6.4’de görüldüğü gibi ana metalin ısıdan etkilenmediği bölgelerinde tanelerin haddeleme yönünde uzadıkları görülmektedir. ITAB’ da ise yönelmiş tane yapısı bozularak eş eksenli denilebilecek bir görünüm aldığı tespit edilmiştir. ITAB’ da yoğunlaşan siyah noktalar 5083 Al alaşımında görülen Mg_5Al_8 çökeltileridir. Dolgu metalinde ise daha ince ve iğnemsî lameller şeklinde yönelmiş tanelerin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.4. 5083 Al alaşımında kaynak metali ve geçiş bölgesinin mikro yapısı(x100).

Şekil 6.5’ de görüldüğü gibi kaynak dolgu metalinin ince dendiritik yapıda ve küçük tanelerden oluştuğu görülmektedir. Dendiritlerin küçük kollardan meydana gelmesi nedeni ile yapı genel olarak iğnemi yapı şeklinde belli doğrultuda yönelmiş olarak görülmektedir. Dolgu metalinde tanelerin bu şekilde yönelmesi dolgu metalinin hızlı katılaşma şeklinden kaynaklanmaktadır. Çünkü alüminyum ısıyı çok çabuk iletmediği için soğuma hızlıdır.



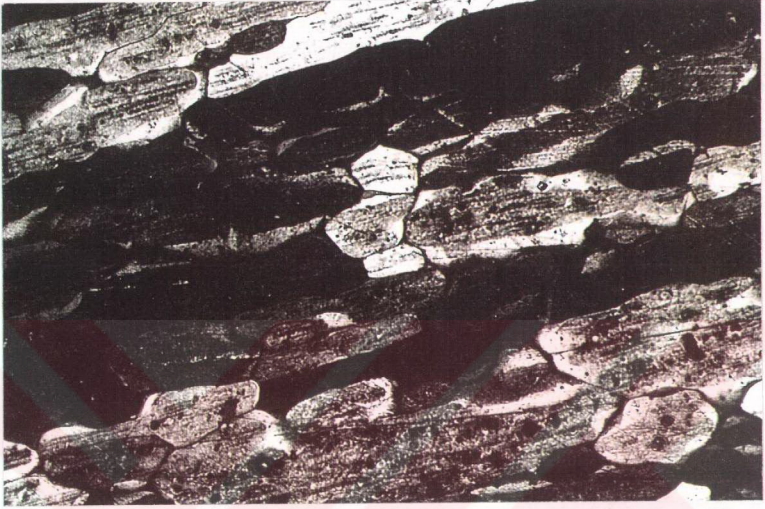
Şekil 6.5. 5083 Al alaışımının kaynak dolgu pasoları arası mikro görünümü(x100).

Al-Zn alaşımları yaşlandırma sertleşmesi uygulanabilen alaşımlardır. Şekil 6.6’da yaşlandırma sertleşmesi uygulanabilen 7039 Al alaşımı ana malzeme mikro yapısı görülmektedir. Buradaki siyah noktalar Al-Zn alaşımlarında sertlik artışına sebep olan ($Mg_3Zn_3Al_3$ veya $MgZn_2$) çökeltilerdir.



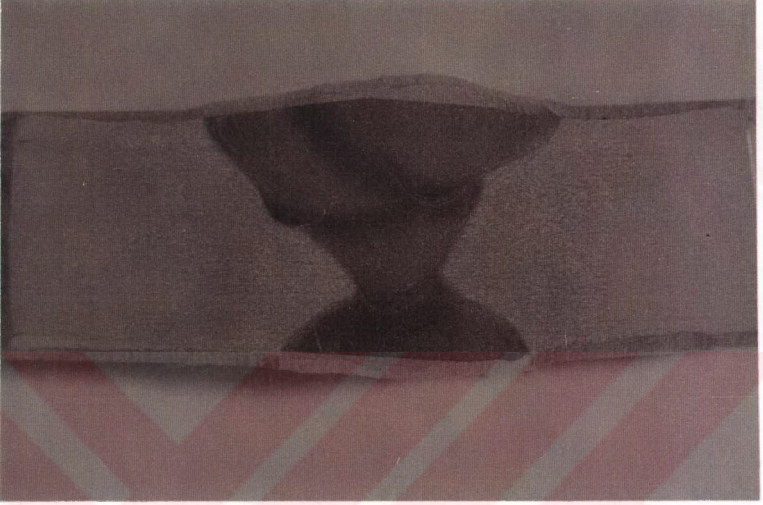
Şekil 6.6. 7039 Al alaşımında ana malzeme mikro yapısı(x100)

Şekil 6.7’de katı çözeltiye alma ile serleştirilmiş 7039 Al alaşımının 450°C’ de 2 saat ısıtılma işlemine tabi tutulduktan sonra mikro yapısı görülmektedir. Tanelerin tavlama sonunda uzun ve eş eksenli olarak yönlendikleri ve tane boy:en oranının yaklaşık 2:1 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Tane yapısı yüksek sıcaklığın etkisi ile büyüyerek iri taneli yapı elde edilmiştir. Bu malzemede ki tanelerin büyüklüğü 5083 Al alaşımı tanelerine (Şekil 6.2) yakın büyüklükte çıkmıştır.



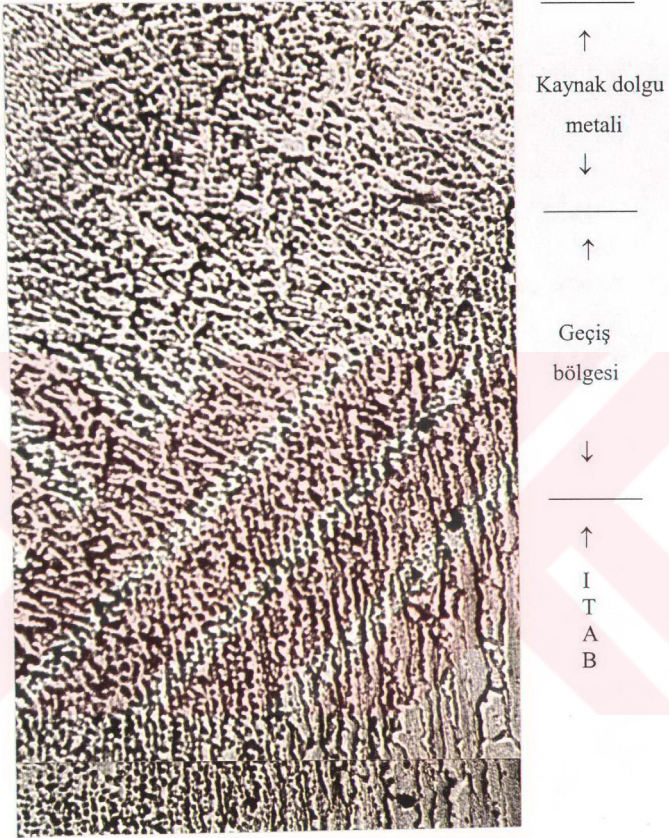
Şekil 6.7. 7039 Al Zn alaşımasının 450 °C'deki 2 saat sonraki yapısı (x100).

Şekil 6.8'de 7039 Al alaşımasının makro yapısında çift V kaynak ağzı açılarak yapılan dört paso kaynak işlemi görülmektedir. Burada dolgu metalinin her pasoda ana metal ile olan nüfuziyetleri ve yapılan her pasonun ana metal ile birleşme durumları görülmektedir. Al 5083 alaışımında olduğu gibi (Şekil 6.3) bu malzemedede de kaynak işleminden dolayı herhangi bir makro hata görülmemekte olup, çift V kaynak ağzı nedeni ile orta bölgede nüfuziyet azlığı görülmektedir. Ayrıca paso sayısı çok olan bölgelerde ITAB'ın ve geçiş bölgesinin geniş olduğu belirlenmiştir.



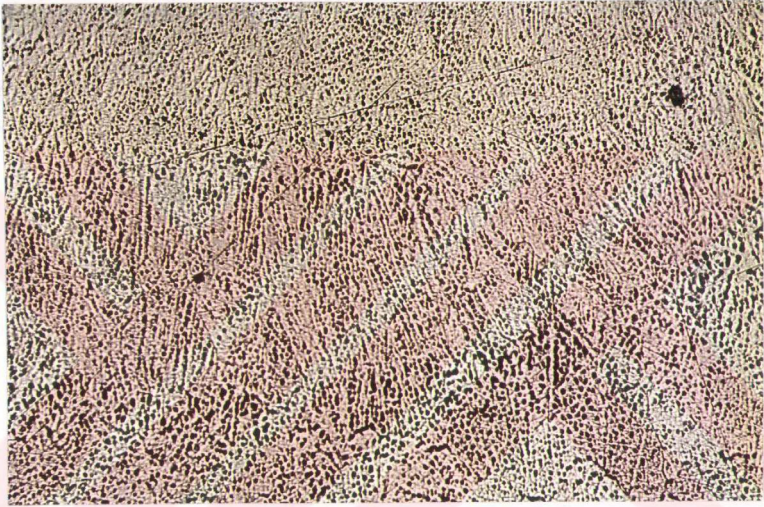
Şekil 6.8. 7039 Al alaşımının kaynak metali makro görüntüsü

Şekil 6.9'da dendiritik yapıda ve belli bir boyuta sahip olmayan taneler yüksek sıcaklığın etkisi ile bozularak geçiş bölgelerinde ve ITAB'da eş eksenli ve kaynak metaline doğru ince uzun şekilde yönelmiş oldukları görülmektedir. Dolgu metali 5083 Al alaşımı ile aynı kimyasal bileşime sahip olduğu için (Şekil 6.4 ve 6.5) burada da tanelerin dendirit kolları şeklinde tanelerin yönlendiği görülmektedir.



Şekil 6.9. 7039 Al alaşımının kaynak metali geçiş bölgesi mikro yapı görüntüsü (x100).

Şekil 6.10' da kaynak dolgu metalinin ince ve iğnemi lameller şeklinde tanelerden oluştuğu ve bazı bölgelerde küresel görünümlü yapı oluşturduğu görülmektedir. Al 5083 alaşımının tane yapısı ile (Şekil 6.4) benzer görünümde olup, nedeni dolgu metalinin kimyasal bileşiminin aynı olmasıdır.



Şekil 6.10. 7039 Al alaşımının kaynak dolgu metali mikro görüntüsü(x100).

6.2. Çekme Deney Sonuçları

Deney numunesinin boyutları T.S. 138'e uygun olarak [43] ve DIN EN 10002-1 özelliklerini taşıyan çekme cihazında OTOMARSAN fabrikasında yapıldı. Çekme deney cihazının özellikleri şunlardır; Cihaz markası: ZWICK 250, Test hızı: 20 mm/s, Akma hızı: 15 mm/s, Elastik modülü: 10 N/mm²s dir. Bilgisayar destekli cihazda bütün ölçümler bilgisayar tarafından hesaplandı. Deneye ait grafik çıktıları alınırken 5083 alaşımına ait veriler ayrı ayrı grafiklerde, 7039 alaşımına ait verilerde bir grafikte toplu olarak alındı.

“Armor Plate” standardında verilen çekme değerlerinde Al 7039 alaşımının çekme değerleri, kalınlığın 25,4 mm ye kadar olan parçalarda $\delta\epsilon = 42 \text{ kg/mm}^2$ kalınlığın 25,4 mm üzerindeki parçalarda çekme mukavemet değeri $\delta\epsilon = 39,9 \text{ kg/mm}^2$ olduğu görülmektedir. Al 7039 alaşımının çekme değerleri St 42 gibi çeliklerin mukavemet değerine ulaşabilmektedir. Ayrıca Al 7039 alaşımı çekme değerleri alüminum alloy 5083 plate and sheet (5083 levha Al alaşımı) standardında verilen değerler ile karşılaştırıldığında Al 5083 alaşımına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi 2 ve 3 nolu numunelerin çekme dayanımı (32 kg/mm^2) en yüksek değerdedir. 4 nolu numune en az çekme dayanımına ($27,3 \text{ kg/mm}^2$) sahiptir. 1 nolu numunenin kalıcı uzama değeri $11,9 \text{ kg/mm}^2$ ve 4 nolu numunenin kalıcı uzama değeri 13 kg/mm^2 dir. Bu değerler 2 ve 3 nolu numunelerin kalıcı uzama değerlerinden (11 kg/mm^2) yüksek olmasına karşın, çekme dayanımları daha düşük çıkmıştır. Çizelge 6.1 deki dört numunenin ortalama çekme gerilmeleri $\delta\epsilon_{\text{ort}} = 30,63 \text{ kg/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi en az yüzde uzama değerine %9'la 4 nolu numune sahiptir. Yüzde uzama oranının düşük olma nedeni muhtemelen ısıya maruz kalan bölgelerde sertliğe neden olan çökeltilerin fazla

miktarda oluşmasındandır. En fazla yüzde uzama değerine ise %13'le 1 nolu numune sahiptir.

Çizelge 6.1. 7039 Al alaşımının çekme deney sonuçları

Nr	R _p _x Kg/mm ²	R _m Kg/mm ²	F _m Kg	A _g %	A _t %	A _o mm	b _o mm	L _o mm	S _o mm ²
1	11,936	30,217	4759,198	10,43	13,74	12,7	12,5	19,97	158,75
2	11,410	32,500	5118,804	11,36	11,73	12,7	12,5	19,97	158,75
3	11,055	32,489	5117,088	11,17	11,37	12,7	12,5	19,83	158,75
4	13,043	27,345	4306,902	6,42	9,47	12,7	12,5	19,81	158,75

Deney sonunda elde edilen verilerin tarifleri TS 138'de aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır [42].

R_p_x = Kalıcı uzama dayanımı

R_m = Çekme dayanımı (en büyük yüke (F_m) karşılık gelen gerilme)
büyük yük

F_m = Deney parçasının akma noktasını geçtikten sonra dayanabileceği en

A_g = En büyük yükteki toplam uzama yüzdesi

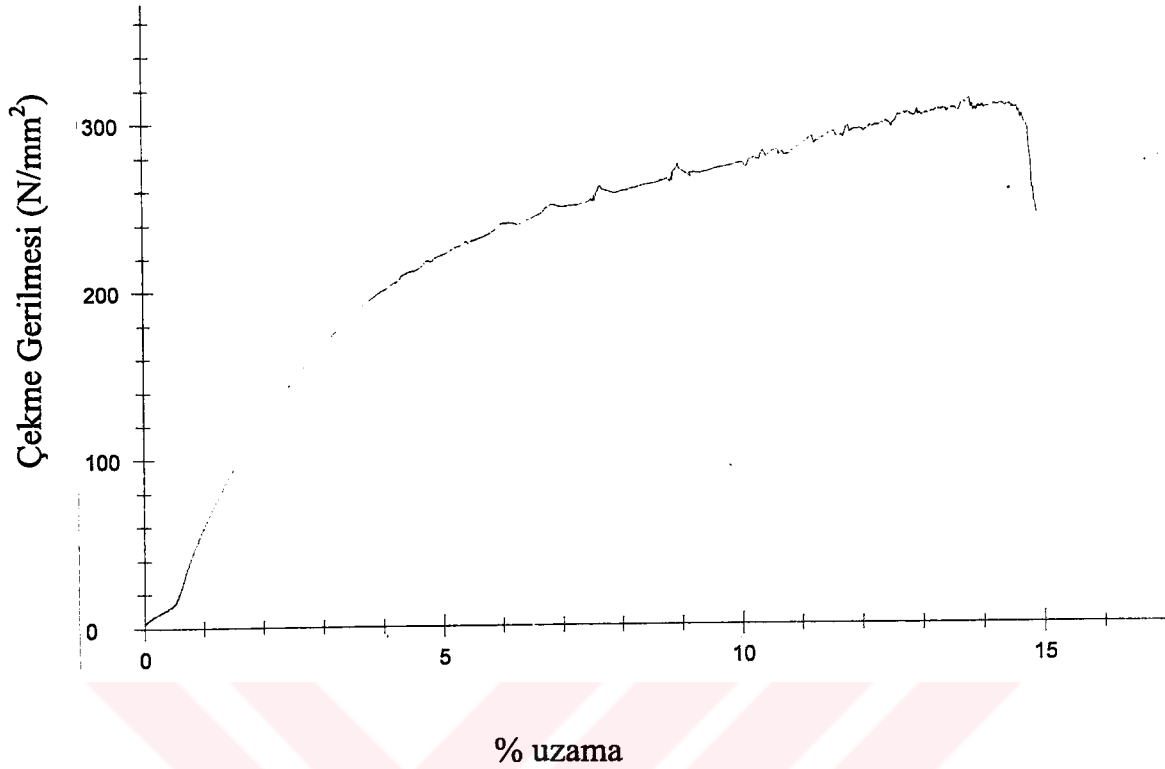
A_t = Kopmadaki toplam uzama yüzdesi (elastik uzama + plastik uzama)

a_o = Deney parçasının kalınlığı

b_o = Deney parçasının genişliği

L_o = Kuvvet uygulanmadan önceki ölçü uzunluğu

S_o = Deney parçasının ilk kesit alanı



Şekil 6.11. 7039 Al alaşımasının çekme deneyi grafiği.

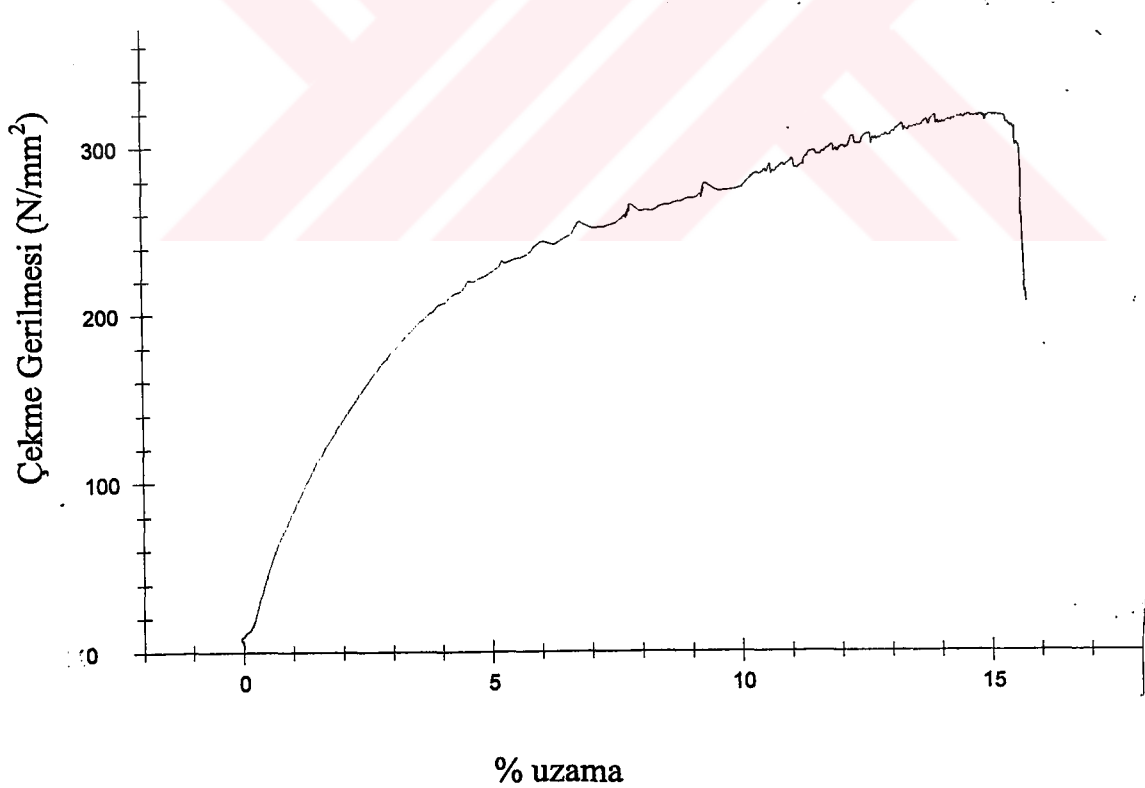
Aluminum alloy 5083 plate and sheet standardında, kalınlığın 4,8 mm ile 38,1 mm olduğu malzemelerde $\delta_{\text{çmin}} = 30,8 \text{ kg/mm}^2$ ve $\delta_{\text{çmax}} = 39,2 \text{ kg/mm}^2$; kalınlığın 38,1 mm den 76,2 mm kadar olduğu malzemelerde $\delta_{\text{çmin}} = 28,7 \text{ kg/mm}^2$ ve $\delta_{\text{çmax}} = 39,2 \text{ kg/mm}^2$ olduğu görülmektedir. Bu değerler St 37 gibi basit yapı çeliklerinin sahip oldukları çekme değerine yakın oldukları görülmektedir.

5083 Al alaşımasının çekme deney sonuçları Çizelge 6.2-6.5' ve Şekil 6.12-6.15'te ayrı ayrı verilmiştir. Çizelge 6.2-6.5'de görüldüğü gibi 3 ve 4 nolu numunelerin çekme dayanımı (32 kg/mm^2) en yüksek değerdedir. 2 nolu numune en az çekme dayanımına ($31,2 \text{ kg/mm}^2$) sahiptir. 4 numunenin kalıcı uzama dayanımlarının (11 ve 12 kg/mm^2) birbirine yakın değerde olduğu görülmektedir. Çizelge 6.2-6.5 deki dört numunenin ortalama çekme gerilmeleri $\delta_{\text{çort}} = 32,53 \text{ kg/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Çizelge 6.2-6.5'de

görüldüğü gibi en az yüzde uzama değerine %14,6' ile 2 nolu numune sahiptir. En fazla yüzde uzama değeri ise %16,5'le 3 nolu numune olduğu görülmektedir. Şekil 6.10'daki grafikte 5083 Al alaşımının 1 nolu deney numunesinin çekme gerilmesi 318 kg/mm^2 , kalıcı uzama dayanımı $12,151 \text{ kg/mm}^2$ ve yüzde uzama değerinin de 15,79 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. 5083 Al alaşımının 1 nolu deney numunesinin çekme mukavemeti sonuçları

Nr	R _p _x Kg/mm ²	R _m Kg/mm ²	F _m Kg	A _{gt} %	A _t %	A _o mm	b _o mm	L _o mm	S _o mm ²
1	12,151	31,823	5012,167	14,69	15,79	12,7	12,5	19,82	158,75

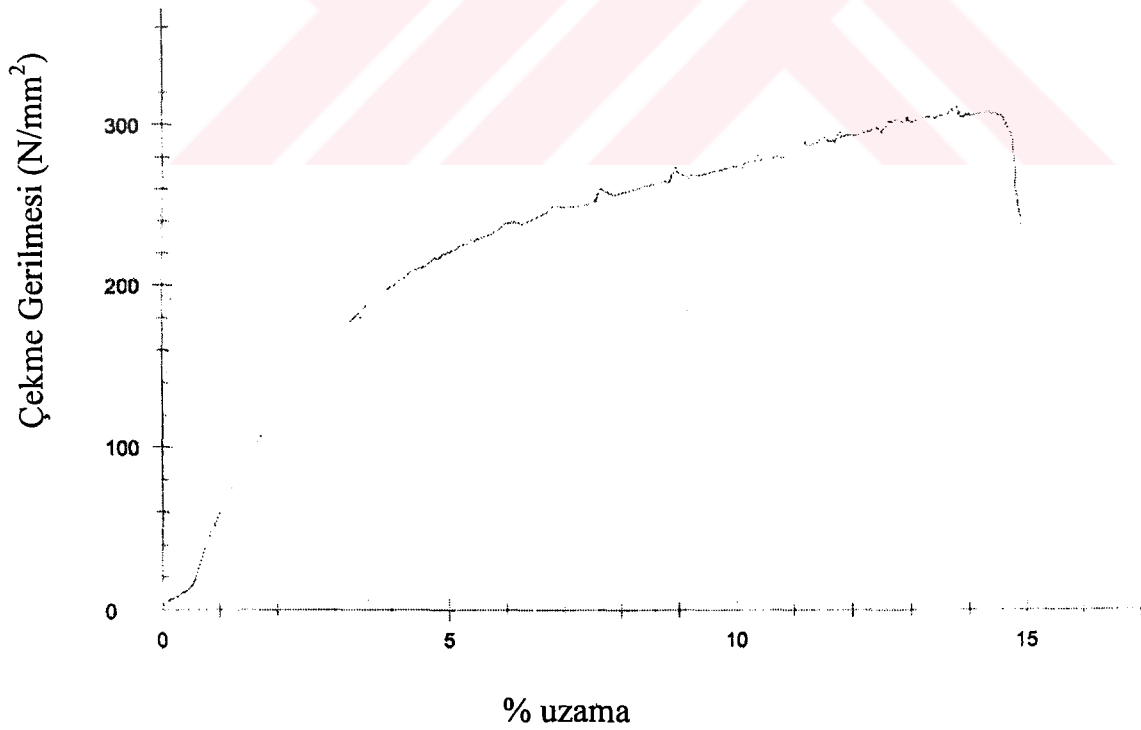


Şekil 6.12. 5083 Al alaşımının 1. nolu deney numunesinin çekme grafiği

Şekil 6.13'deki grafikte 5083 Al alaşımının 2 nolu deney numunesinin çekme gerilmesi $31,224 \text{ kg/mm}^2$, kalıcı uzama dayanımı $12,458 \text{ kg/mm}^2$ ve yüzde uzama değerinin de 14,63 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.3. 5083 Al alaşımının 2 nolu deney numunesinin çekme mukavemeti sonuçları.

Nr	R _p	R _m	F _m	A _{gt}	A _t	A _o	b _o	L _o	S _o
	Kg/mm ²	Kg/mm ²	Kg	%	%	mm	mm	mm	mm ²
2	12,458	31,224	4917,759	13,55	14,63	12,7	12,5	19,84	158,75

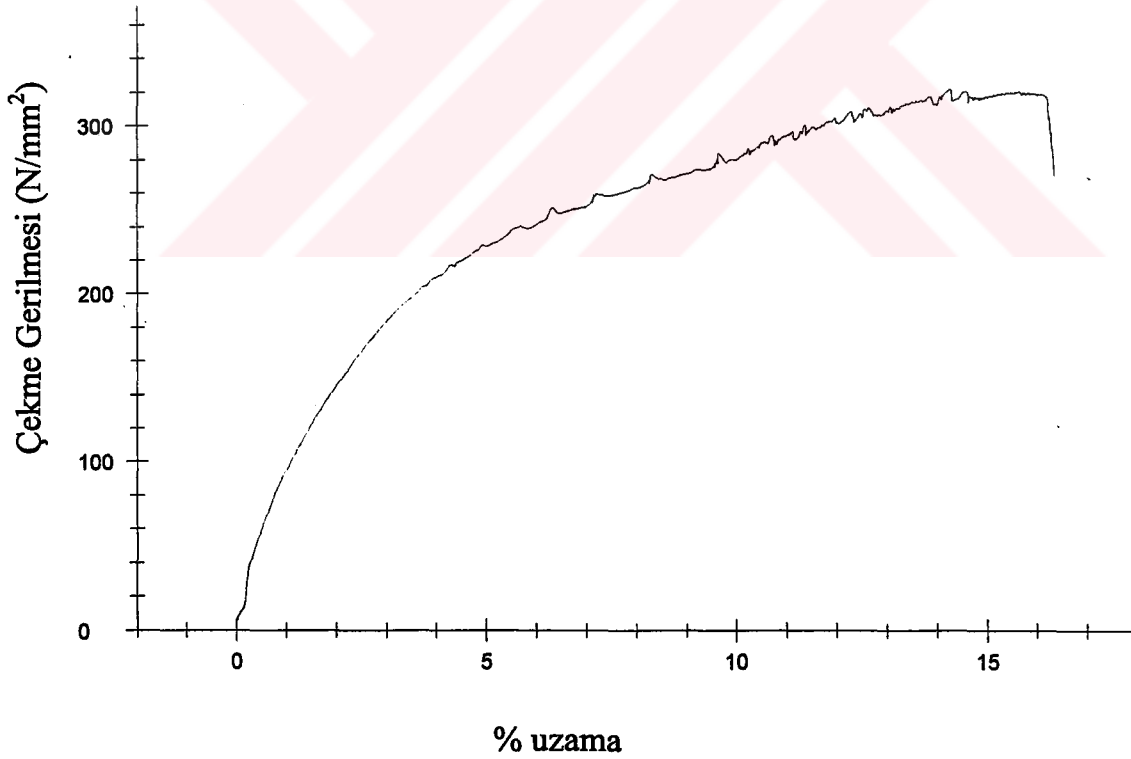


Şekil 6.13. 5083 Al alaşımının 2 nolu deney numunesinde çekme grafiği

Şekil 6.14'daki grafikte 5083 Al alaşımının 3 nolu deney numunesinin çekme gerilmesi $32,229 \text{ kg/mm}^2$, kalıcı uzama dayanımı $11,971 \text{ kg/mm}^2$ ve yüzde uzama değerinin de 16,56 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.4. 5083 Al alaşımının 3 nolu deney numunesinin çekme mukavemeti sonuçları.

Nr	R _p	R _m	F _m	A _{gt}	A _t	A _o	b _o	L _o	S _o
	Kg/mm ²	Kg/mm ²	Kg	%	%	mm	mm	mm	mm ²
3	11,971	32,229	5076,106	14,47	16,56	12,7	12,5	19,86	158,75

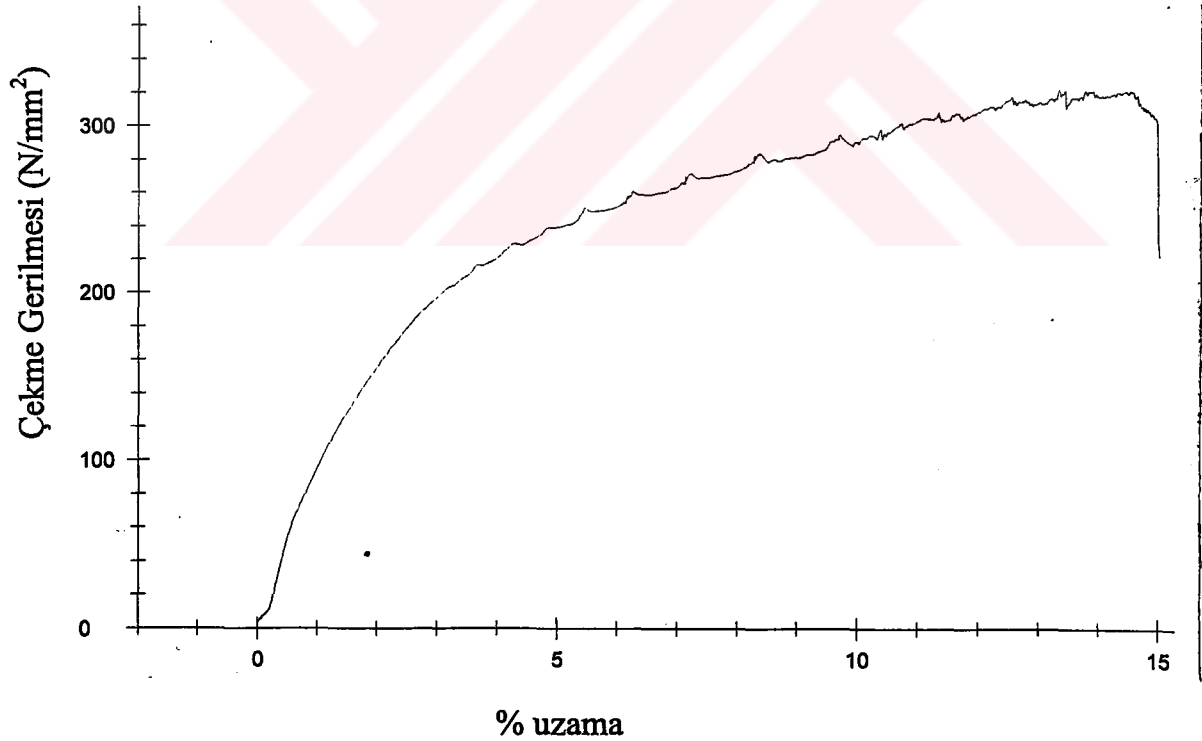


Şekil 6.14. 5083 Al alaşımının 3 nolu deney numunesinin çekme grafiği

Şekil 6.15'deki grafikte 5083 Al alaşımının 4 nolu deney numunesinin çekme gerilmesi $32,254 \text{ kg/mm}^2$, kalıcı uzama dayanımı $12,420 \text{ kg/mm}^2$ ve yüzde uzama değerinin de 15,02 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.5. 5083 Al alaşımının 4 nolu deney numunesinin çekme mukavemet sonuçları

Nr	R _p	R _m	F _m	A _{gt}	A _t	A _o	b _o	L _o	S _o
	Kg/mm ²	Kg/mm ²	Kg	%	%	mm	mm	mm	mm ²
4	12,420	32,254	5079,968	13,45	15,02	12,7	12,5	19,84	158,75



Şekil 6.15. 5083 Al alaşımının 4 nolu deney numunesinin çekme grafiği

Çekme mukavemeti toplu olarak verilen (Şekil 6.11) 7039 Al alaşımı ve çekme mukavemeti ayrı ayrı verilen (Şekil 6.12-6.15) 5083 Al alaşımının grafiklerinde her ne kadar elastik bölge düz olarak görünmüyorsa da malzemeler hakkında genel bir bilgi vermektedir. Elastik bölgedeki bu eğim ya bilgisayar programından kaynaklanmakta veya çekme deney malzemesinin yumuşak olmasından dolayı tutma çeneleri arasında istenildiği gibi sabitlenememesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6.12-6.15’de verilen grafiklerde, numunelerin kalıcı uzama dayanımları, çekme mukavemetleri ve yüzde uzama değerleri arasında belirli bir fark olmadığı görülmektedir. 5083 alaşımının çekme deney sonuçların “Government printing office” tarafında 1979 yılında yayınlanan “Federal Specification Alüminum Alloy 5083 Plate and Sheet” [5] standardında verilen değerler ile karşılaştırıldığında, bulunan sonuçlar belirtilen değerler içinde yer aldığı görülmektedir.

Ana malzemenin % uzama değeri 12, kaynakla birleştirilen 4 numunenin ortalama yüzde uzama değeri ise 15,5 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, kaynaklı bölgenin yüzde uzama değerinin ana malzemenin yüzde uzama değerinden daha büyük olduğunu göstermektedir.

6.3. Eğme Deney Sonuçları

Eğme deneyleri TSE Metalurji Laboratuvarında Amsler marka 40 ton kapasitedeki çekme - basma makinesinde yapılmıştır. Her iki alaşım grubundan 4’ er tane olmak üzere toplam 8 adet eğme numunesi hazırlandı.

Eğme deneyi değerleri, daha önce verilmiş olan 4.1-4.3 formülleri kullanılarak hesap edildi. Deney sonrası kopmaların, geçiş bölgesi ve kaynak dolgu metalinde olduğu görülmektedir (Şekil 6.16) .



Şekil 6.16. Eğme numunelerinin eğme işlemi sonrası çatlayan yüzeylerin makro görünümü.

7039 Al alaşımının eğme deneyi sonuçları Çizelge 6.6'da toplu olarak verilmiştir. Genel olarak en yüksek eğme dayanımı 3 nolu numunede elde edilirken diğer üç numunede benzer eğme dayanımları elde edilmiştir. Bununla birlikte dört numunenin ortalama eğme dayanımının $= 74,845 \text{ kgf/mm}^2$ olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.6. 7039 alaşımına ait eğme deneyi sonuçları

Parça no	Deney	Ulaşılan max. kuvvet (kgf)	Malzeme kopma açısı		M_e dayanımı kgf	δ_e dayanımı kgf/ mm ²	Yüzey durumu
1	Üç noktadan eğme	3440	Açılar(°)		50740	75,5	Eğme Çatlağı Oluştı
			1. aç	2.aç			
			56,5	123,5			
2	Üç noktadan eğme	3550	48	132	49412,5	73,53	Eğme Çatlağı Oluştı
3	Üç noktadan eğme	3550	53	127	52362,5	77,92	Eğme Çatlağı Oluştı
4	Üç noktadan eğme	3300	53	127	48675	72,43	Eğme Çatlağı Oluştı

Çizelge 6.7'deki 5083 Al alaşımının eğme deneyi sonuçlarına bakıldığında, dört numunenin eğme dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bulunan sonuçlarda en fazla eğme mukavemetine 1 nolu numune sahip olduğu tespit edilirken diğer üç numunede benzer eğme dayanımları bulunmuştur. Bununla birlikte dört numunenin ortalama eğme dayanımının: 67,59 kgf/mm² olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.7. 5083 alaşımına ait alaşımının eğme deneyi sonuçları

Parça no	Yapılan deney	Ulaşılan max. Kuvvet (kgf)	Malzeme kopma açısı		M _e dayanımı kgf	δ _e dayanımı kgf/ mm ²	Yüzey durumu
1	Üç noktadan eğme	3200	Açılar(°)		47200	70,2	Eğme Çatlağı Oluşturdu
			1. aç	2.aç			
			65	115			
2	Üç noktadan eğme	3070	59	121	45282,5	67,38	Eğme Çatlağı Oluşturdu
3	Üç noktadan eğme	3050	80	100	44987	66,94	Eğme Çatlağı Oluşturdu
4	Üç noktadan eğme	3000	59	121	44250	65,84	Eğme Çatlağı Oluşturdu

6.4. Sertlik Deney Sonuçları

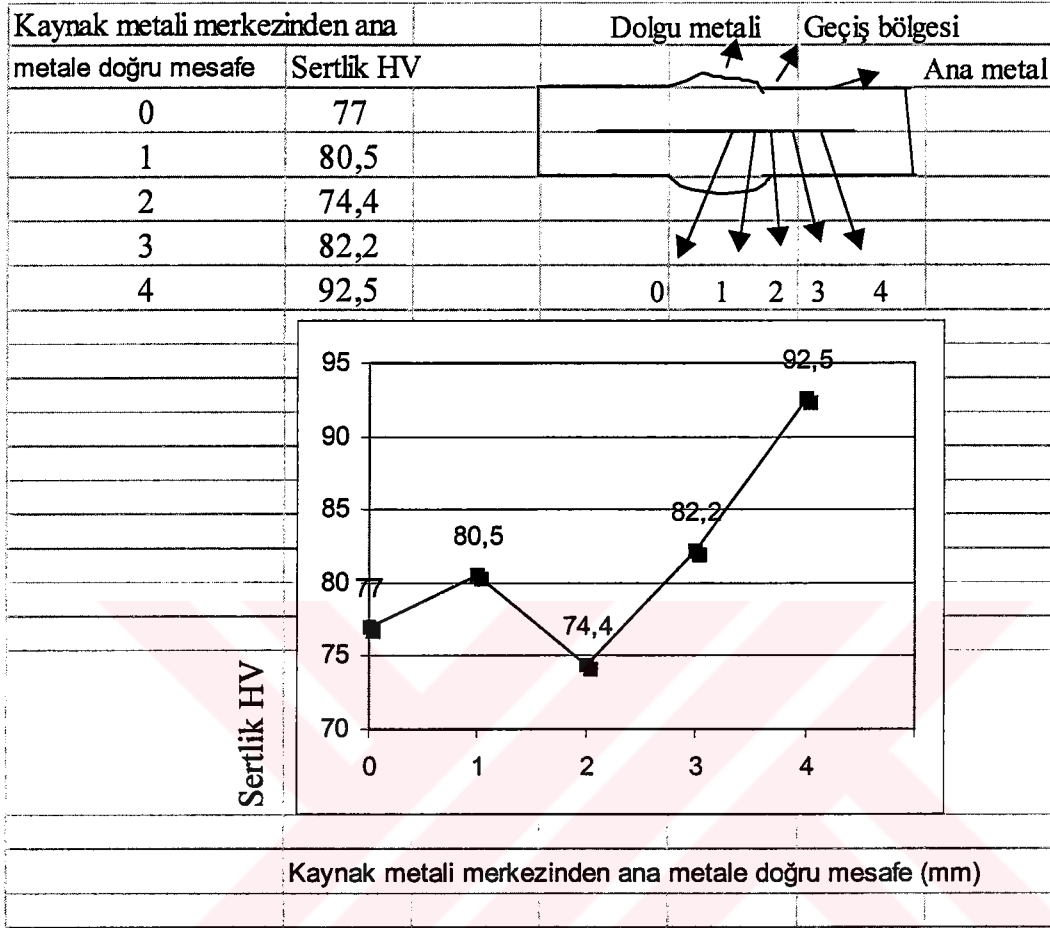
Malzemelerin kaynaklanmaları esnasındaki ısı girdisinden dolayı tane yapısında ve partikül bileşimi ve şeklinde kimyasal bileşimde ve buna bağlı olarak, mukavemetlerinde ve sertliklerinde bir takım değişiklikler olmaktadır. Isı girdisinden kaynaklanan bu değişikliklerin miktarı, ısı girdi miktarına ve kaynak parametresine bağlıdır. Bu değişiklikleri tespit etmek amacı ile Vickers sertlik deneyi yapılmıştır. Ana metal ve geçiş bölgesi sertlik sonuçları Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.10'da, kaynak metalinin sertlik sonuçları da Çizelge 6.9 ve 6.11'de verilmiştir.

Şekil 6.17'de 5083 Al alaşımının ITAB' da ki sertlik değerleri grafik halinde görülmektedir. Burada en fazla sertlik değerine sahip olan bölge 92 HV ile ana

metaldir. Isıdan etkilenen bölgelere doğru gidildikçe sertliğin düştüğü görülmektedir.

Çizelge 6.8. 5083 Alaşımının ana metal ve geçiş bölgesi sertlik sonuçları

Sertlik ölçü Noktaları	Kaynak metali merkezinden ana metale doğru ölçü mesafesi (mm)	Vickers sertliği HV _{0,2}
1	0	77,0
2	1	80,5
3	2	74,4
4	3	82,8
5	4	92,5

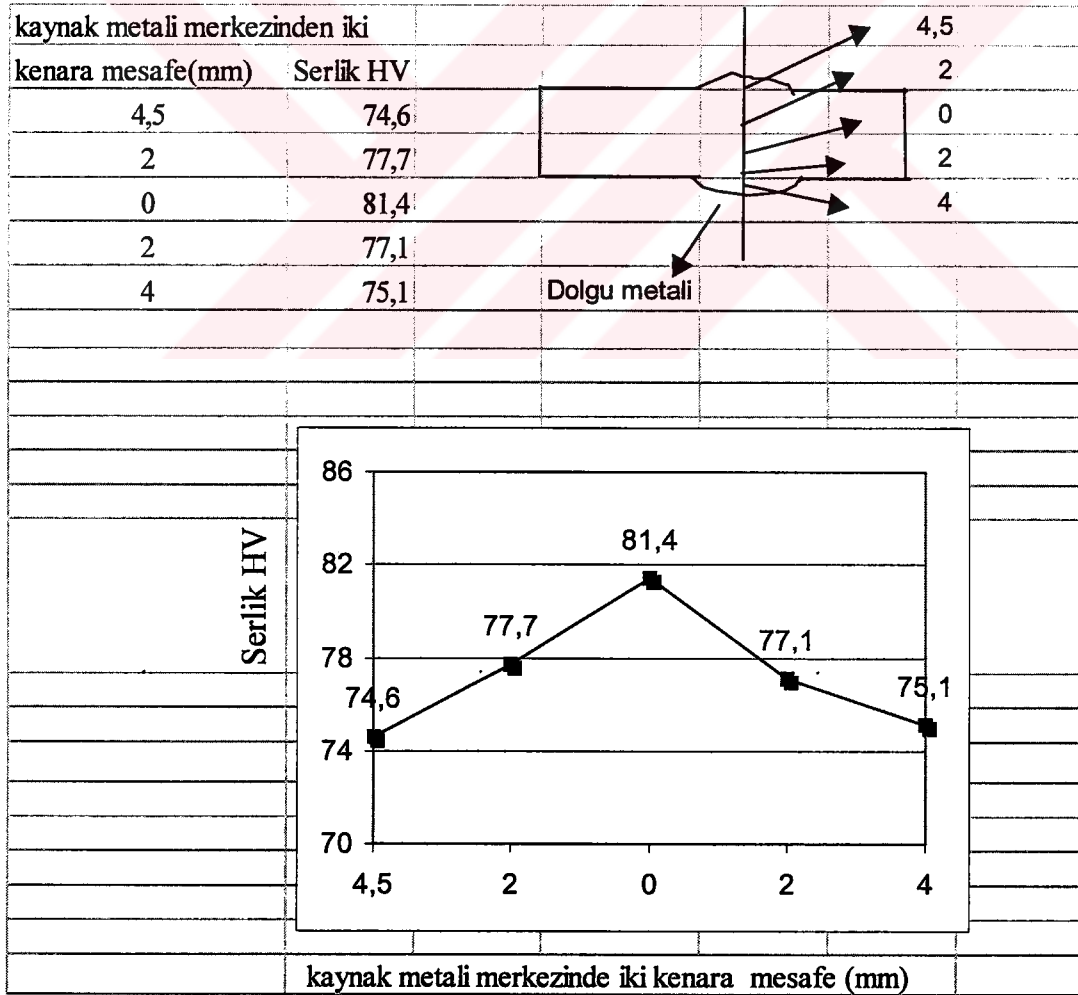


Şekil 6.17. 5083 Alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği

Şekil 6.18’de 5083 Al alaşımının kaynak dolgu metalinin sertlik değerleri görülmektedir. Bulunan sertlik değerlerinin sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Nedeni; bu bölgede sadece kaynak dolgu metalinin bulunmasıdır. Oluşan küçük farklılıkta birden fazla pasodan kaynaklanmaktadır. Bir sonraki dikiş bir öncekine son tavlama etkisi yapmakta, sonraki dikiş te öncekine ön ısıtma tavlama etkisi yapmaktadır.

Çizelge 6.9. 5083 Alaşımının kaynak metalinin sertlik sonuçları

Sertlik ölçüm noktaları	Kaynak metalini merkezinden iki kenara mesafe (mm)	Vickers sertliği HV _{0,2}
1	4,5	74,6
2	2	77,7
3	0	81,4
4	2	77,1
5	4	75,1

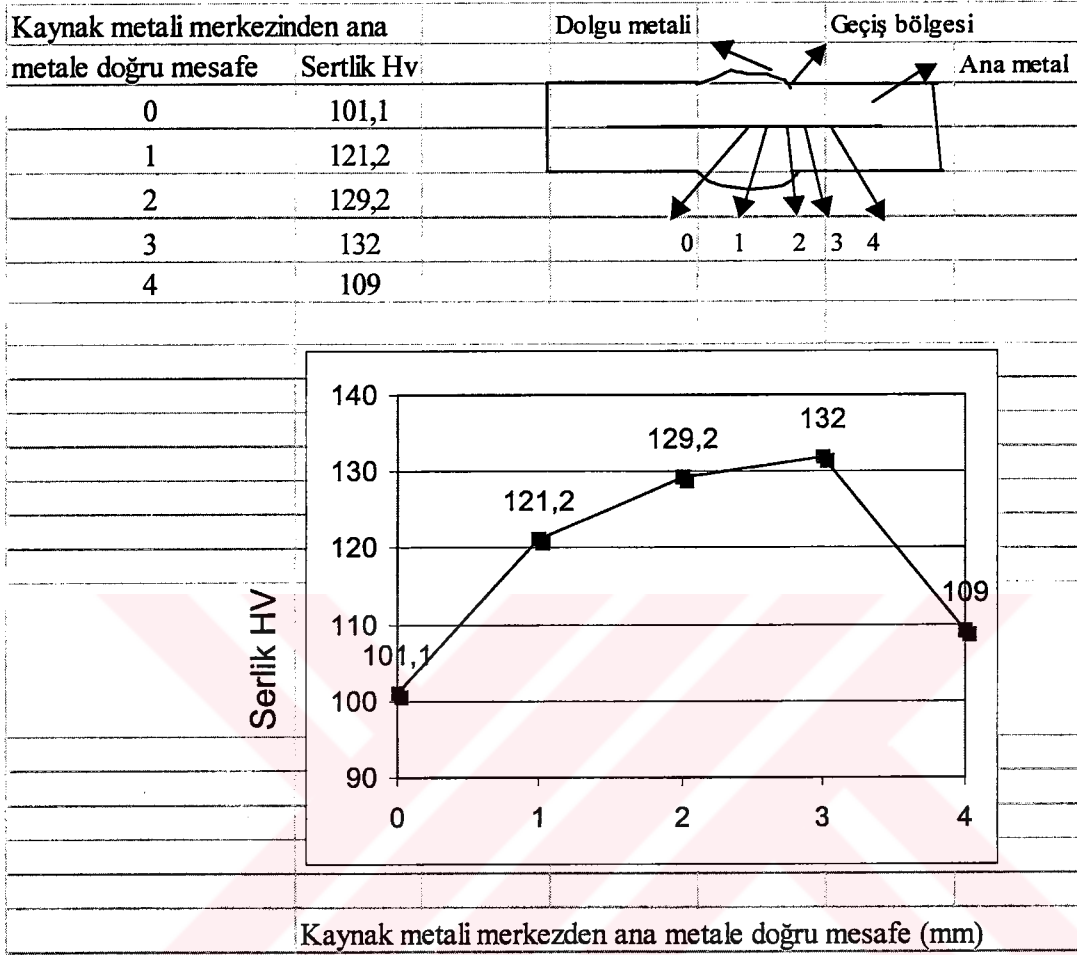


Şekil 6.18. 5083 Alaşımının kaynak metalini (ortası baz alınarak) sertlik grafiğı

Çizelge 6.10 ve Şekil 6.18’de 7039 Al alaşımının ITAB’ da ki sertlik değerleri görülmektedir. Ana metalin sertlik değeri 109 HV olarak bulunmuştur. Bu değer geçiş bölgelerinde yükselmiştir. Neden olarak kaynak dan sonra numuneler uzun süre beklediği için, Al-Zn alaşımlarında görülen sertlik artırıcı çökeltilerin oluşmasıdır.

Çizelge 6.10. 7039 Alaşımının ana metal sertlik sonuçları

Sertlik ölçüm noktaları	Kaynak metali merkezinden ana metale doğru ölçü mesafesi (mm)	Vickers sertliği HV _{0,2}
1	0	101,1
2	1	121,2
3	2	129,2
4	3	132
5	4	109



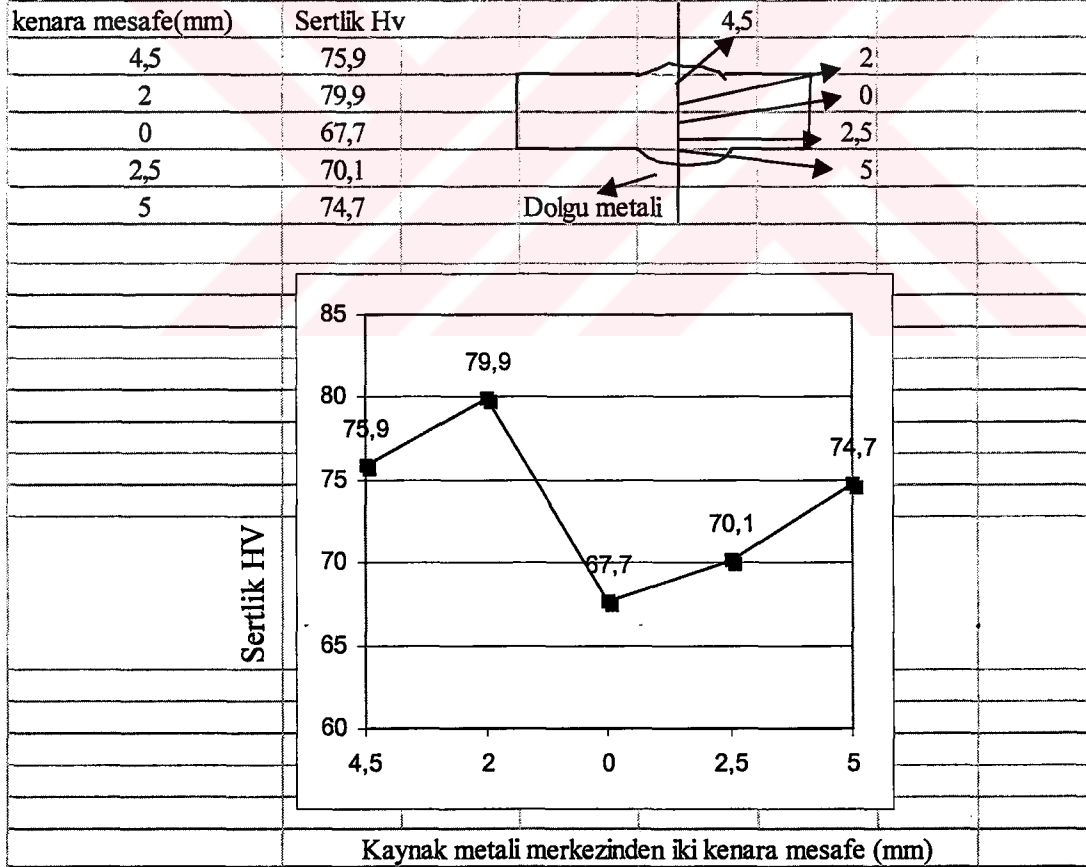
Şekil 6.19. 7039 Alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği

Çizelge 6.11 ve Şekil 6.20’de 7039 Al alaşımının kaynak dolgu metali sertlik değerleri görülmektedir. Bu değerler 5083 Al alaşımının dolgu metali sertlik değerine yakın değerdendirler. Kaynak bölgesinin üst kısmında (75 HV) ve kök paso kısmında (75 HV) daha yüksek sertlik değeri elde edilirken, merkeze yakın bölgelerde daha düşük sertlik değeri elde edilmiştir (68 HV).

Çizelge 6.11. 7039 Alaşımının kaynak metali sertlik sonuçları

Sertlik ölçüm noktaları	Kaynak metalinin ortasından mesafe (mm)	Vickers sertliği HV _{0,2}
1	4,5	75,9
2	2	79,9
3	0	67,7
4	2,5	70,1
5	5	74,7

kaynak metali merkezinden iki



Şekil 6.20. 7039 Alaşımının kaynak metali (ortası baz alınarak) sertlik grafiği

6.5. Balistik Deneyi Sonuçları

6.5.1. Ana metale yapılan atışlar ve V_{50} hız limiti

Ana metale toplam olarak 8 adet atış yapılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 6.12’de toplu olarak verilmiştir. Atışlar sonucunda düşük barut (2,90-2,96 mg) miktarı kullanılarak yapılan 5 adet atış neticesinde ana malzemede delinme görülmezken, daha fazla barut (2,98 mg) kullanılarak yapılan 3 atışta ana malzemenin delindiği görülmüştür. V_{50} hız limitini hesaplamada 4, 6, 7 ve 8 nolu atışların çarpma hızları alınarak hesaplama yapıldı. Buna göre,

$$\begin{aligned} \text{iki CP hızının toplamı} - \text{iki PP hızının toplamı} &= \\ (2701+2694) - (2690+2673) &= 32 \text{ ft/s dir.} \end{aligned}$$

Bu dört hızın aritmetik ortalaması:

$$(2701+2694) + (2690+2673) = 11758 \text{ ft/s} \longrightarrow = \frac{11758}{4} = 2689 \text{ ft/s dir.}$$

Ana malzemenin V_{50} hız limiti = 2689 ft/s’ dir. 7039 Al-Zn alaşımının standartındaki min V_{50} hız limiti = 2649 ft/s dir. Dolayısı ile $2689-2649=40$ ft/s standart değerin üzerinde çıkmıştır ve ana malzemenin balistik mukavemeti kabul sınırları içinde yer almaktadır (39).

Çizelge 6.12. Ana malzemenin balistik deney sonuçları

Atış no	Barut miktarı Mg	1. hız ölçer		2. hız ölçer		Hız (ft/s)			Sonuç
		Zaman μ sn	Hız ft/s	Zaman μ sn	Hız ft/s	Ort. Hız	Hız kaybı	Çarpma hızı	
1	2,90	5676	2642	5675	2643	2643	8	2635	PP
2	2,92	5634	2662	5633	2662	2662	8	2654	PP
3	2,94	5689	2636	5689	2636	2636	8	2628	PP
4	2,96	5559	2698	5558	2698	2698	8	2690	PP
5	2,98	5458	2748	5456	2749	2749	8	2741	CP
6	2,97	5595	2680	5594	2681	2681	8	2673	PP
7	2,98	5538	2708	5537	2709	2709	8	2701	CP
8	2,98	5552	2701	5551	2702	2702	8	2694	CP

PP =Atış sonucu levha delinmedi

CP= Atış sonucu levha delindi

6.5.2. Geçiş bölgesine yapılan atışlar ve V_{50} hız limiti

Kaynak geçiş bölgesine toplam olarak 21 adet atış yapılmıştır. Bu atışların sonuçları Çizelge 6.13’de toplu olarak gösterilmiştir. Bu atışlardan ilk ikisi ile 8 ve 9 nolu atışlar kaynak bölgesine isabet etmiştir. Ayrıca 4 nolu atışın çarpma hızı yüksek çıkmasına rağmen levha delinmemiştir. Bunun nedeni, atışlarda kullanılan mermiler özel laboratuvar mermisi olması ve dikkatli seçilmelerine rağmen muhtemelen 4 nolu merminin şeklinin bozuk olması olarak gösterilebilir.

Geçiş bölgesinde, 13 nolu atışa kadar (4 nolu atış hariç) hepsinin sonucu CP çıkmıştır. İlk 13 atış levhanın üst geçiş bölgesine, 14, 15, 16 ve 17 nolu atışlar

levhanın alt geçiş bölgesine atılmıştır. Ancak levhaya balistik kaynak yapıldığından değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Sağlıklı bir sonuca ulaşabilmek için 18, 19, 20 ve 21 nolu atışlar tekrar üst geçiş bölgesine yapılmıştır. 21 adet atış sonunda, değerleri PP olan 17 ve 20 nolu atışların sonucu ile değerleri CP olan 19 ve 21 nolu atışların sonuçları alınarak geçiş bölgesinin V_{50} Hız limiti bulunmuştur. Kaynak geçiş bölgesinin deney sonuçları Çizelge 6.13' de gösterilmiştir.

İki CP hızının toplamı – iki PP hızının toplamı:

$$(2462 + 2660) - (2418 + 2444) =$$

$$4922 - 4862 = 60 \text{ ft/s dir. Buna göre bu dört hızın}$$

aritmetik ortalaması:

$$4922 + 4862 = 9784 \text{ ft/s} \rightarrow \frac{9784}{4} = 2446 \text{ ft/s dir.}$$

V_{50} hız limiti = 2446 ft/s dir. Kabul edilebilir V_{50} hız limiti = 2649 ft/s (39) idi buna göre;

ana malzemenin standart V_{50} hız limiti – Geçiş bölgesi V_{50} hız limiti:

$$2649 \text{ ft/s} - 2446 \text{ ft/s} = 203 \text{ ft/s}$$

Kaynak geçiş bölgesinin V_{50} hız limiti, ana malzemenin standart V_{50} hız limitine göre 203 ft/s daha az çıkmıştır. Bu değer ana malzemenin V_{50} hız limitine göre 243 ft/s daha azdır. Geçiş bölgesinin balistik özellikleri istenen değerlerin altında çıkmıştır. Geçiş bölgesinin kaynaklanma esnasında ısı tesiri altında kalmasından dolayı kristal yapısının değişmesi sonucu, balistik mukavemetinin de düştüğü görülmüştür.

Çizelge 6.13. Kaynak geçiş bölgesinin balistik deney sonuçları

Atış no	Barut miktarı Mg	1. hız ölçer		2. hız ölçer		Hız (ft/s)			Sonuç
		Zaman μ sn	Hız ft/s	Zaman μ sn	Hız Ft/s	Ort. Hız	Hız kaybı	Çarpma Hızı	
1	2,96	5556	2699	5555	2700	2700	8	2692	CP
2	2,93	5665	2647	5663	2648	2648	8	2640	CP
3	2,93	5596	2680	5595	2680	2680	8	2672	CP
4	2,93	5417	2769	5418	2768	2769	8	2761	PP
5	2,93	5613	2672	5612	2672	2672	8	2664	CP
6	2,91	5710	2626	5708	2627	2627	8	2619	CP
7	2,89	5713	2625	5712	2626	2626	8	2618	CP
8	2,87	5693	2634	5690	2636	2635	8	2627	CP
9	2,85	5802	2585	5800	2586	2586	8	2578	CP
10	2,85	5777	2596	5775	2597	2597	8	2589	CP
11	2,83	5801	2585	5799	2586	2586	8	2578	CP
12	2,79	5967	2513	5966	2514	2514	7	2507	CP
13	2,50	6422	2335	6421	2336	2336	7	2329	PP
14	2,57	6287	2385	6284	2387	2386	7	2379	PP
15	2,65	6313	2376	6311	2376	2376	7	2369	PP
16	2,75	6253	2398	6253	2398	2398	7	2391	PP
17	2,85	6188	2424	6185	2425	2425	7	2418	PP
18	2,60	6436	2330	6436	2330	2330	7	2323	PP
19	2,85	6077	2468	6075	2469	2469	7	2462	CP
20	2,75	6120	2450	6116	2452	2451	7	2444	PP
21	2,85	6080	2467	6081	2466	2467	7	2460	CP

6.5.3. Kaynak bölgesine yapılan atışlar ve V_{50} hız limiti

Kaynak bölgesine toplam olarak 6 adet atış yapılmıştır, yapılan atışlardan elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 6.14’ de verilmiştir. Kaynak bölgesine yapılan atışlardan son dört tanesinin sonuçları, V_{50} hız limitinin bulunmasında kullanılmıştır. Tabloda da görüldüğü gibi, 3 ve 4 nolu atışların hız limiti değerlerinin sonucu CP olarak tesbit edilmiştir. 5 ve 6 nolu atışların hız limiti değerlerinin sonucu PP dir. Buna göre ;

İki CP hızının toplamı – iki PP hızının toplamı:

$$\begin{aligned} (2443+2398) - (2432+2393) &= \\ 4841 - 4825 &= 16 \text{ ft/s dir,} \end{aligned}$$

Aritmetik ortalamaları;

$$(2443+2398) + (2432+2393) = 9666 \text{ ft/s} \rightarrow = \frac{9666}{4} = 2416 \text{ ft/s dir.}$$

Kaynak bölgesinin V_{50} hız limiti = 2416 ft/s’ dir. 7039 Al-Zn alaşımının standartındaki min V_{50} hız limiti= 2649 ft/s dir. Dolayısı ile kaynak bölgesi bu değerden,

$$2649 - 2416 = 233 \text{ ft/s standart değer in altında çıkmıştır.}$$

Kaynak bölgesinin balistik kaybı 233 ft/s olarak belirlenmiştir. Ana malzemenin V_{50} hız limiti ile karşılaştırsak;

$$2689 - 2416 = 273 \text{ ft/s kaynak bölgesi balistik mukavemet kaybına uğradığı görülür.}$$

Çizelge 6.14. Kaynak bölgesinin deney sonuçları

Atış no	Barut miktarı Mg	1. hız ölçer		2. hız ölçer		Hız (ft/s)			Sonuç
		Zaman μ sn	Hız ft/s	Zaman μ sn	Hız ft/s	Ort. Hız	Hız kaybı	Çarpma Hızı	
1	2,75	6048	2480	6046	2480	2480	7	2473	CP
2	2,65	6291	2384	6290	2384	2384	7	2377	PP
3	2,70	6121	2450	6120	2450	2450	7	2443	CP
4	2,67	6238	2404	6236	2405	2405	7	2398	CP
5	2,65	6149	2439	6148	2439	2439	7	2432	PP
6	2,63	6251	2399	6250	2400	2400	7	2393	PP

7. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

Bu çalışmada kullanılan 5083 alüminyum-magnezyum alaşımı ile 7039 alüminyum-çinko alaşımı Çizelge 5.6' da belirtilen kaynak işlem parametrelerine göre, MIG kaynağı ile kaynatılarak mekanik ve balistik özellikleri standartlarda verilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma sonucunda görülmüştür ki; kaynaklı birleştirmelerde, ısı etkisi altında kalan bölgenin kristal yapısı değiştiği için mukavemet değerlerinde bir değişim söz konusudur. Değişim oranın, malzemenin mekanik davranışına yansımaları tesbit etmek amacı ile mekanik ve balistik deneyler uygulanmıştır. Deneyler, malzemelerin üç ayrı bölgesine uygulanmış ve farklı değerler elde edilmiştir. Bu bölgeler; ana malzeme, geçiş bölgesi ve kaynak metalidir. Balistik deneyde bu bölgelerdeki mukavemet değişikliklerini tespit etmek amacı ile bu bölgelere atışlar yapılmıştır.

38 mm kalınlığındaki balistik 7039 Al alaşımına, Şekil 5.8'deki gibi özel kaynak ağızı açılarak, MIG kaynağı ile kaynaklanmıştır. Ana malzemeye 8 adet, geçiş bölgesine 21 adet ve kaynak metaline 6 adet olmak üzere toplam 35 adet atış yapılmıştır. Atışlardan elde edilen sonuçlar standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

7.1. Mikro Yapı Sonuçları

7.1.1. 5083 Alaşımının mikro yapı sonuçları

Alüminyum-magnezyum alaşımları imalatları esnasında mekanik işlemlere maruz kalırlar. Şekil 6.1'de haddeme yapılan 5083 Al alaşımının hadde yönüne uzayan tane yapısı görülmektedir. Burada taneler belli bir eksen

doğrultusunda hadde yönüne uzadıkları tespit edilmiştir. Şekil 6.2’de 5083 Al alaşımının ana malzemedan alınan ve iki saat süreyle 450 °C tavlama suretiyle elde edilen x100 büyütme mikroyapısı görülmektedir. Şekil 6.2’de yüksek ısınn etkisi ile hadde yapısı bozularak tanelerin eş eksenli olarak yönlendikleri görülmektedir.

Şekil 6.3’de pasolar arası birleşim durumları makro dağlama ile görülmektedir. Makro olarak yapılan incelemede kaynak işleminden dolayı yapıda bir hatanın olmadığı görülmektedir.

Şekil 6.4’de ısı tesiri altında kalan bölge görülmektedir. Bu bölgede hadde yönünde uzayan taneler kaynak işlemi sırasında oluşan ısıdan dolayı değişikliğe uğrayarak eş eksenli denilebilecek tanelerin teşekkül ettiği görülmektedir. Tane sınırlarında görülen siyah noktalar ise muhtemelen Mg_5Al_8 fazı fazıdır. Şekil 6.5’de kaynak metali mikroyapısının iğnemi lameller şeklinde yönelmiş olduğu görülmektedir. Yönlenme kaynak ısı akış bölgesi ile uyum göstermektedir.

7.1.2.7039 Alaşımının mikroyapı sonuçları

Alüminyum- çinko alaşımları çökelme sertleşmesi ile mekanik özellikleri iyileştirildikleri için, Şekil 6.6’da görüldüğü gibi ana malzemenin mikroyapısında siyah noktalar halinde dağılmış katı çökeltilerin var olduğu görülmektedir.

Şekil 6.7’de 7039 Al alaşımının ana malzemedan alınan ve iki saat süreyle 450 °C tavlama suretiyle elde edilen x100 büyütme mikroyapısı görülmektedir. Burada yüksek ısınn etkisi ile çökelti yapısı bozularak eş eksenli ve iri tanelerin oluştuğu görülmektedir. Yüksek sıcaklıkta küçük

taneler birleşerek iri ve daha düşük enerjili eş eksenli tane yapısının oluşmasına neden olmuştur.

Şekil 6.8’de pasolar arası birleşim durumları görülmektedir. Makro olarak yapıda kaynak işleminden dolayı bir hatanın olmadığı görülmektedir. Şekil 6.9’da ısı tesiri altında kalan bölge görülmektedir. Bu bölgede yüksek ısının etkisi ile daha ince olan yapı bozularak dendirit denilebilecek tanelerin oluştuğu görülmektedir. Yüksek ısı etkisi ile tane sınırlarında oluşan siyah noktalar ise muhtemelen alüminyum - çinko alaşımlarında görülen $Mg_3Zn_3Al_3$ veya $MgZn_2$ çökeltileri olabilir. Şekil 6.10’da kaynak metali mikro yapısının iğnemsî lameller şeklinde yönelmiş olduğu görülmektedir. Yönlendirme ısı akışı ile uyumluluk göstermektedir.

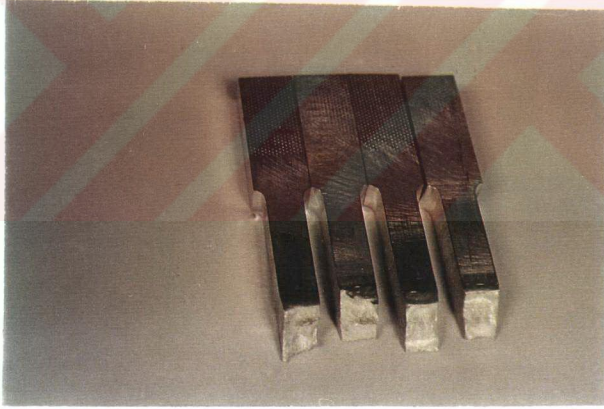
7.2. Çekme Deney Sonuçları

7039 alaşımının çekme deney sonuçları MIL-DTL-46063 H, ARMOR PLATE, Aluminum alloy 7039 (19), standardında verilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi 2 ve 3 nolu deney parçalarının çekme mukavemet verileri birbirine eşit değerde, bir nolu deney parçasının çekme mukavemet değerleri 2 ve 3 nolu deney parçalarına yakın ve dört nolu deney parçasının çekme mukavemeti ise diğerlerine oranla daha düşük çıkmıştır.

Kaynaklanmamış 7039 Al alaşımının çekme gerilmesi standartlarda, kalınlık 1,5 inç’e (38,1 mm) kadar $\delta\sigma = 42 \text{ kg/mm}^2$ dir. 1,5 inç’ in üzerinde ise $\delta\sigma = 39,9 \text{ kg/mm}^2$ dir (19). Kaynaklama işleminden sonra en yüksek çekme dayanımına Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi $\delta\sigma_2 = 32,5 \text{ kg/mm}^2$ ile 2. nolu deney parçası sahiptir.

Çizelge 6.2- 6.5’de dört deney numunesinin ortalama çekme gerilmeleri $\delta\varphi_{ort}= 31, 309 \text{ kg/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Buna göre kaynaklanmış bir malzemede mukavemet bakımından en düşük bölge ITAB bölgesidir. Dolayısı ile kaynaklı numunelerdeki kopmalarda ITAB’ın geçiş bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 7.1). Numunelerdeki kopmalar mukavemet bakımından en düşük bölgelerde meydana gelmiştir. Bilindiği gibi kaynak esnasında en fazla bozulma ve dolayısı ile mekanik özelliklerde düşme ITAB bölgesinde olmaktadır. Bunun sebebi, ITAB bölgesinde tane irileşmesi ve düzensiz yapı ve çökeltilerin oluşmasıdır.



Şekil 7.1. Çekme numunelerinin çekme işlemi sonrası kırık yüzeylerin makro görünümü.

Kaynaklanmış ana malzemenin % uzaması 1,5 inç'e (38,1mm) kadar % 9, 1,5 inç üzerinde % 8 dir (19). Kaynaklı numunelerde kopmadaki toplam uzama yüzdesi, $A_t = \% 13,74$ ve ortalama kopmadaki toplam uzama yüzdesi $A_{t_{ort}} = \% 11,58$ olarak elde edilmiştir. Yüzde uzama oranları kaynaklı numunelerde daha fazla olarak görülmektedir. Bunun nedeni kaynak ilave metalinin kimyasal bileşiminden dolayı sünekliğinin fazla olmasıdır.

5083 alaşımının çekme deney sonuçları Aluminum alloy 5083 plate and sheet (5) standardında verilen değerler ile karşılaştırılmıştır. 5083 Alaşımının çekme mukavemeti değerlerinin hepsi birbirine yakın çıkmıştır. Burada kullanılan kaynak ilave metalinin temel alaşım elementi Mg ve kaynaklanan Al alaşımının da Mg olduğu için kaynaklı bağlantının daha homojen ve sağlıklı olduğu söylenebilir.

Numunelerin ortalama çekme mukavemetleri (Çizelge 6.2-6.5) $\delta\sigma_{ort} = 32,53$ kg/mm^2 dir. Ana malzemenin en düşük çekme mukavemeti standartlarda, kalınlığın 4,8 mm ile 38,1 mm olan malzemelerde $\delta\sigma_{min} = 30,8$ kg/mm^2 ve $\delta\sigma_{max} = 39,2$ kg/mm^2 olarak verilmektedir. Kalınlığın 38,1 mm den 76,2 mm kadar olduğu malzemelerde ise $\delta\sigma_{min} = 28,7$ kg/mm^2 ve $\delta\sigma_{max} = 39,2$ kg/mm^2 olarak belirtilmektedir. Çalışma sonucunda bulunan mukavemet değerleri en düşük ve en yüksek mukavemet değerleri arasında yer almaktadır. Dolayısı ile çıkan sonuçlara göre 5083 Al alaşımı kaynağa daha uygundur.

Çizelge 5.2'de ana malzemenin uzama miktarı % 12 dir. Çizelge 6.4'de görüldüğü gibi kaynaklı numunenin % uzama oranı en fazla 3 nolu deney numunesinde olup % uzaması = %16,56 olarak tespit edilmiştir. Tüm deney malzemelerinin ortalama % uzamaları ise 15,5 olarak belirlenmiştir. Burada görüldüğü gibi ana malzemenin % uzaması, kaynaklı birleştirmeye göre daha

düşüktür. Bu, daha öncede belirtildiği gibi kaynak ilave metalinin özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

7.3. Eğme Deneyi Sonuçları

Her iki alaşım grubuna (5083 ve 7039) ait eğme deney sonuçları ve eğme açıları birbirine yakın değerlerde çıkmış ve eğme deney sonuçları toplu olarak Çizelge 6.6'da ve Çizelge 6.7'de verilmiştir. Eğme deneyi sonrası numuneler makro olarak kontrol edildiğinde, ITAB'a yakın bölgelerde eğme çatlaklarının olduğu görülmüştür (Şekil 7.2). Bunun nedeni, malzemelerin kaynaklanması esnasında kaynak ısısından dolayı tane yapısı ve kimyasal bileşimlerinin değişmesi ile bu bölgelerde tanelerin irileşmesi ve düzensiz tane yapı çökeltilerin oluşmasıdır.

5083 alüminyum alaşımının eğme deney sonuçları Çizelge 6.7'de görüldüğü gibi; 70.2, 67.38, 66.94, 65.84 kgf/mm² ve 7039 alüminyum alaşımının eğme deney sonuçları (Çizelge 6.6) 75.5, 73.53, 77.92 ve 72.43 kgf/mm² dir. Her iki malzemenin, eğme dayanım sonuçlarına bakıldığı zaman numuneler arasında sonucu etkileyecek önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

7039 ve 5083 alüminyum alaşımlarının eğme deney sonuçları (Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7) 4 numunede de birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Bu sonuçlar; her iki malzemede de kaynağın her bölgesinde eğmeye karşı benzer mukavemet değerinde olduğunu göstermektedir.

7.4. Sertlik Deneyi Sonuçları

Çözeltiye alarak yaşlandırma yapılabilen 7039 alaşımında ana malzemenin sertlik değeri 109 HV, ısıdan etkilenen bölgedeki sertlik değeri 132 HV dir. Alüminyum-çinko alaşımlarında çinko ve magnezyum sertlik sağlayan çökelti

(Mg Zn₂) oluşturur. ITAB'daki sertliğin artmasının ana nedeni, ısıya maruz kalan bu bölgelerde çökeltilerin teşekkül etmesinden dolayıdır.

3. bölge ısıya maruz kalan bölge olup, sertlik değeri 129,2 HV' dir. Isı tesiri altında kalan bölgelerde ısı çökelti oluşumu için yeterli miktara yükseldiğinden dolayı, uzun süre bekletme sonucunda bu bölgelerin sertlik değerinde yükselme meydana gelmiştir.

4. bölge, ana metalden kaynak metaline geçiş bölgesidir. Geçiş bölgesindeki sertlik değeri 121 HV' dir. Bu değer ana metale yakın fakat geçiş bölgesine nazaran daha düşüktür. Bunun nedeni; muhtemelen ana malzemeden kaynak metaline sertlik oluşturu element geçişi nedeni ile geçiş bölgesinde sertlik oluşturu element miktarındaki azalmadır.

5. bölge kaynak metalinin bulunduğu bölgeye daha yakın olup, sertlik değeri 101 HV' dir. Diğer bölgelere göre en düşük sertlik gösteren bölgedir. Bunun nedeni, yüksek ısının etkisiyle dolgu metalinin bu bölgedeki metal ile birleşme olasılığının sertliği düşürmüş olmasıdır. Şekil 6.17'de görüldüğü gibi dolgu metalinin sertlik değeri bu bölgedeki malzemenin sertlik değerinden (101 HV) daha düşük çıkmıştır.

Sertlik gradyanındaki bu değişikliklerin başlıca sebeplerinden bir tanesi de, mekanik deneylerin yapıldığı parçaların kaynak işleminden sonra 10 ay kadar bekletilmesidir. Bundan dolayı doğal yaşlanma neticesinde ısı etkisi altında kalan bölgede sertlik artışı görülmüştür.

Çizelge 6.8'de görüldüğü gibi ana malzemenin sertlik değeri (92.5 HV) ısıdan etkilenen bölgeye nazaran (74.4 HV) daha fazladır. Bu normalde Al-Mg alaşımı için beklenen bir sonuçtur. Çünkü ITAB' da her ne kadar

çökeltilerden kaynaklanan bir sertlik artışı olmaktaysa da, yüksek ısıdan kaynaklanan bir sertlik kaybı da meydana gelmektedir. İçerisinde Mg oranı %7 den düşük olduğu için yaşlanma sertleşmesi ITAB'da görülmemektedir.

2. bölge, ısıdan az etkilenen bölge olup kaynak işleminden sonra bu bölgede kısmen sertlik kaybı görülmektedir (82.2 HV). 3. bölge ise ısıdan etkilenen bölge olup kaynak işleminden sonra bu bölgede sertlik değerinde bariz bir düşme söz konusudur (74.4 HV).

4. bölge ise geçiş bölgesi olup bu bölgede sertlik artışı görülmektedir. Alüminyum-magnezyum alaşımlarında sertlik artışını sağlayan $Mg_5 Al_8$ çökeltisi bu bölgede daha yoğun olarak oluştuğundan, bunun tabi bir sonucu olarak ta sertlik değerinde bir artış görülmektedir (80.5 HV).

5. bölgede ise kaynak metalinin sertliğini vermekte olup bu da geçiş bölgesine oldukça yakın mesafededir ve sertlik değeri kaynak metalinin sertlik değerine yakındır (77 HV). 5083 alaşımının kaynak metalinin sertlik değerleri Çizelge 6.9'da görüldüğü gibi birbirine yakın değerdedir. Bu sonuçlar kaynak dolgu metalinin genel sertlik değerlerini yansıtmaktadır.

7.5. Balistik Deneyi Sonuçları

7.5.1. Ana malzemenin balistik deney sonuçları

Ana malzemenin V_{50} Hız limiti = 2689 ft/s' dir. 7039 Al-Zn alaşımının standartındaki min V_{50} Hız limiti= 2649 ft/s dir. Dolayısı ile 2689-2649=40 ft/s standart değer üzerinde çıkmıştır ve ana malzemenin balistik mukavemeti kabul sınırları içinde yer almaktadır.

7.5.2. Geçiş bölgesinin balistik deney sonuçları

Kaynak geçiş bölgesinin V_{50} Hız limiti, 2446 ft/s olarak bulunmuştur. Buna göre ana malzemenin standart V_{50} Hız limitinden 203 ft/s daha azdır. Deney sonucu bulunan ana malzemenin V_{50} Hız limitine göre ise 243 ft/s daha az çıkmıştır. Geçiş bölgesi kaynak esnasında ısıya maruz kaldığından kristal yapısının ve dolayısı ile özelliklerin değişmesi sonucu balistik mukavemette düşme görülmüştür.

7.5.3. Kaynak metalinin balistik deney sonuçları

Kaynak bölgesinin balistik kaybı standart değere göre 233 ft/s olarak bulunmuştur. Deney sonucunda kaynak metal, ana malzemenin V_{50} Hız limitinden 273 ft/s balistik mukavemet kaybına uğradığı görülmüştür. Bu sonuç kaynak dolgu metalinin balistik özelliğinin ana metale göre daha zayıf olduğunu göstermektedir.

7.6. Sonuç

Bu çalışmada, 7039 Al-Zn ve 5083 Al-Mg alüminyum alaşımlarına mekanik ve balistik deneyler yapılarak ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Kaynaklanmış 7039 ve 5083 alüminyum alaşımlarına yapılan mekanik ve balistik deneyler sonunda yüksek ısının etkisi ile değişen ITAB' ın mekanik ve balistik özelliklerinin zayıfladığı tespit edilmiştir.
2. Kaynaklanmış 7039 ve 5083 alüminyum alaşımların makro yapılarına bakıldığı zaman belirgin bir kaynak hatası görülmüştür. (Şekil 6.3-6.8). Bu sonuç her iki malzemenin de kaynaklanabileceğini göstermektedir.

3. Katı çözeltiyi alma işlemi ile sertleştirilebilen 7039 Al- Zn alaşımı ve deformasyon yöntemi ile sertleştirilen 5083 Al-Mg alaşımlarına 450 °C’ de 2 saat uygulanan ısı işlem sonunda elde edilen mikro yapılarındaki (Şekil 6.2 ve 6.7) tanelerin yönlenmiş olduğu görülmüştür. Bu muhtemelen malzemelerin daha önce geçirdiği mekanik işlemlerden dolayıdır.

4. Çekme deneyi yapılan numunelerde kopmalar geçiş bölgesi ve kaynak metalinden olduğu görülmektedir (Şekil 7.1). Bu bölgeler ısıya maruz kaldıkları için gerilimli bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır.

5. Çekme deneyi sonucunda 7039 ve 5083 alaşımına ait kaynaklı numunelerdeki çekme mukavemet değerleri kaynaksız metalin çekme değerlerine kıyasla daha düşük çıkmıştır. 7039 Al-Zn alaşımının çekme gerilmesi kaynaksız numunede; $\delta\sigma = 39,9- 42 \text{ kg/mm}^2$ arasında değişirken, kaynaklı numunede; $\delta\sigma_{ort} = 31,3 \text{ kg/mm}^2$ olarak bulunmuştur. 5083 Al-Mg alaşımında ise çekme gerilmesi kaynaksız numunede; $\delta\sigma = 30,8 - 39,2 \text{ kg/mm}^2$ arasında değişirken, kaynaklı numunede; $\delta\sigma_{ort} = 32, 53 \text{ kg/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Kaynak esnasındaki yüksek ısının etkisi ile değişen ITAB’ ın mekanik özellikleri zayıflatdığı tespit edilmiştir.

6. 7039 Al-Zn alaşımının kaynaksız numunelerdeki çekme gerilmesi 5083 Al-Mg alaşımına göre daha yüksektir. Fakat kaynaklı numunelerdeki çekme gerilmesi 7039 için; $\delta\sigma_{ort} = 31,3 \text{ kg/mm}^2$, 5083 için; $\delta\sigma_{ort} = 32, 53 \text{ kg/mm}^2$ dir. Bu sonuçlar birbirine yakın değerde olmakla birlikte 5083 alaşımının çekme mukavemeti değerleri kaynaksız numunelerdeki değerlerin ($\delta\sigma = 30,8 - 39,2 \text{ kg/mm}^2$) arasında yer almaktadır. Burada 5083 Al-Mg alaşımının kaynaklanabilme özelliğinin daha iyi olduğunu söyleyebiliriz.

7. Her iki alaşım grubuna ait olan malzemelerdeki % uzama miktarları kaynaklız malzemeye oranla yüksektir. Bu durum kaynak dolgu metalinin mekanik özelliklerinden ve ısının etkisi ile mukavemet kaybına uğrayan ITAB' dan kaynaklanabilir.

8. Eğme deneyi uygulanan numuneler de eğme çatlaklarının kaynak geçiş bölgesine yakın kaynak metalinde olduğu görülmektedir (şekil 6.16). Bu bölgeler ısıya maruz kaldıkları için gerilimli bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır.

9. 7039 alaşımının sertlik deneylerinde geçiş bölgesinin sertlik değerleri ana metalden ve kaynak dolgu metalinden daha yüksek değerde çıkmıştır. Bunun nedeni, deneylerin kaynaktan on ay sonra yapılmış olması ve malzemede doğal yaşlanmanın olmasından kaynaklanabilir. 5083 alaşımının, ana malzemedeki geçiş bölgesinin sertlik değerlerinde bir yükselme söz konusudur. Bunun nedeni de bu bölgelerde kısmi olarak ısının etkisi ile çökelek oluşması durumunu söyleyebiliriz. Bu durum mikro yapı fotoğraflarında kısmen görülmektedir.

10. Balistik deney 7039 Al alaşımının üç ayrı bölgesine yapılmıştır;

Birinci olarak ana metale 8 adet atış yapılarak bu bölgede elde edilen sonuç standart V_{50} hız limiti ile karşılaştırılmış ve bu limit (standart) içerisinde yer aldığı grlmştir.

İkinci olarak kaynak geçiş bölgesine 21 adet atış yapılarak elde edilen sonuç ana metal V_{50} hız limiti ve standart V_{50} hız limiti ile karşılaştırılmıştır. Bu bölgedeki V_{50} hız limiti her iki değerin de altında olduğu grlmştir. Bu durum kaynak esnasındaki ısının mikro yapı ve kimyasal bileşimi değiştirmesi olarak yorumlanabilir.

Üçüncü olarak kaynak dolgu metaline 6 adet atış yapılarak, elde edilen sonuç standart, ana metal ve geçiş bölgesi V_{50} hız limitleri ile karşılaştırılmış ve en düşük V_{50} hız limitinin kaynak dolgu metalinde değerde olduğu görülmüştür. Netice itibarı ile kaynak esnasındaki yüksek ısının etkisi ile değişen ITAB' ın balistik özellikleri de zayıflatığı tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Şimşek, A.T., 1997, 5083 Al alaşımasının gerilmeli korozyonu, **Selçuk Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Doktora Tezi**, s 1-4, 60-72, Konya.
2. Ceylan, M., 1996, Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının kaynak kabiliyeti ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, **Uludağ Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Y. Lisans tezi**, s 13-15, Bursa.
3. Tekin, E., 1984, Demir dışı metaller ve alaşımların uygulamalı optik metalografisi, **Al alaşımları ve Metalurji Dergisi**, sayı: 45, s 125-139, Ankara.
4. Batıgün, C., 1997, Alüminyum malzemelerde kaynaklama işlemine bağlı sıcak çatlama eğilimi, **9. Uluslar arası metalurji ve malzeme kongresi Bildiriler Kitabı**, cilt: II, s 937-941, İstanbul.
5. Doğan, M., 1989, Alüminyum alaşımlarının ısıtıl işlemi, **Marmara Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Y. Lisans tezi**, s 4-8, İstanbul.
6. Kars, A., 1997, Soğuk haddelenmiş Al levhalarda artık gerilmelerin tayini, **Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Y. Lisans tezi**, s 2, 20, Isparta.
7. Irving, B., 1994, Welding the four most popular Aluminum alloys, **Welding journal** vol:73, sayı: 2, s 51-55.
8. Dai, S.L., Delplanque, J.P., and Lavernia E.J., 1998, Microstructural characteristics of 5083 Al alloys processed by reactive spray deposition for net- shape manufacturing, **Metalurgical and materials transactions A**, vol: 29A, s 2596,2597
9. Kaufman J.G., Wanderer E.T., 1967, Structures and equipment for service at cryogenic Temperatures, **American Society For Desing Application**, Vol. II, Charpter: 13, s 297-309
10. Faulkner, J.F., Jonson, E.W., 1967, Military vehicles and equipment, **American Society For Desing Application**, Vol:II, Charpter: 19, s 460
11. Askland, D., The science and Engineering of materials, **Engineering Materials**, part 3, s 316-325.

12. Anık , S., 1983, Kaynak teknolojisi el kitabı, **Ergör Matbaası**, s 83, İstanbul.
13. Tülbentçi, K., 1990, MIG-MAG Eriyen elektrot ile gazaltı kaynağı, **Gedik Holding Yayınları**, s 137-141, İstanbul.
14. Çalışkan, Ö., 1994, Al alaşımlarının kaynaklanabilirliği ve bunlara uygulanan kaynak yöntemleri, **Marmara Üniversitesi, Fen Bil. Enst.,Y. Lisans tezi**, s 77, İstanbul,
15. Cieslak, M.J. and Fuerscbach, P.W., 1988, On the weldability, composition and hardness of pulsed and continuous ND: YAG Laser welds in aluminum alloy 6061, 5456 and 5086, **metallurgical transaction B** vol: 19 B, No: 2, s 319,327,328
16. Oysu, M., Ekim 1996, 7075 Al alaşımlarına uygulanan MIG kaynağının mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, **Kocaeli Üniversitesi, Fen Bil. Enst.,Y. Lisans tezi**, s 5, Kocaeli.
17. Çapan, L., 1984, Plastik şekil verme teori ve uygulama, **Birsen Kitapevi yayınları**, s 133-140, İstanbul.
18. Mondolfo, L.F., Aluminum alloys structure an properties, **Butterworth Corp.**, s 806-817, 847-865, London, 1979.
19. Zhong, W.M., Goiffon, E., Esparence, G.L., Suery, M. And Blandin, J.J., 1996, Effect of thermo mechanical processing on the microstructure and mechanical properties of Al-Mg (5083)/ SiCp and Al-Mg (5083) Al₂ O₃ P composites, PART 1:Dynamic rencrytalization of the composites, **Metarials science and engineering**, Vol: A 214, sayı: 1-2, s 84-86.
20. Zhong, W.M., Esparence, G.L.,and Suery, M., 1996 , Part 2: Tensile properties at different temperatures, **Metarials science and engineering**, vol: A 93 , sayı 1-2, s 93-96.
21. Zhong, W.M., Esparence, G.L., Suery, M., 1996, Part 3: Fracture mechanisms of the composites, **Metarials science and engineering**, vol: A224, s 97-114.
22. Panatkar, S.N.,and Tan Ming Jen, 1998, Strain rate insensitive plastisitiy aluminum alloy 5083, **Stripta materialia**, Elsevier Science Ltd, vol: 38, no: 8, s 1255-1265, U.S.A. 1998.

23. Ghosh, A.K. and Friedman, P.A., 1996, Microstural evolution and super plastic deformation behavior of fine grain 5083 Al, **Metalurgical and materials transactions A** vol: 27 A ,sayı:12, s 3827,3728.
24. Eraktan, A., Aralık 1978, 1. Ulusal Alüminyum sanayi kongresi, Yüksek dayanımlı Al alaşımlarının üretim özellikleri, **Nasaş Alüminyum San. Tic. A.Ş.** , s 219-227.
25. Güleç, Ş., Aran, A., 1993, Malzeme bilgisi , **İ.T.Ü. Kütüphanesi**, sayı: 1521, cilt1,s 110-120, İstanbul.
26. Örün, S.S.,,1977, **BALİSTİK, K.K.K. Yayınları**, s 1-3.
27. Yavuz, M., 1988, Silah bilgisi ve atış kültürü, **Başkent Klişe Matbaacılık**, s 81-88, Ankara.
28. Öztürk, A.R., 1988, Dış balistik, **M.K.E. Kütüphanesi**, s 174-178, Ankara.
29. Öztürk, A.R., 1988, Silah mekanîği ve mermilerin hedef üzerindeki etkileri, **M.K.E. Kütüphanesi**, s 78-83, Ankara.
30. Ateş, H., Kasım 1996, MIG-MAG kaynağında kullanılan argon gazına O₂ ve CO₂ ilavesinin kaynak metali tokluğu ve mikro yapısına etkisi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bil. Enst.,Y. Lisans tezi**, s 44-52, Ankara.
31. Alpay, O., Ekim 1982, Kaynak dikişlerinin tahribatlı muayene teknikleri, **SEGEM**, Yayın No: 100, s 27-34, Ankara.
32. **T.S. EN 485-2/ Ekim 1995.**
33. Adsan, K., 1984, Otomatik ileri kaynak teknolojisi, **M.E.B Yayınları**, s 200-214, İstanbul.
34. TEFİK, D., 1994, Al alaşımlarının kısa ömürlü yorulması, **Eskişehir Üniversitesi, Fen Bil. Enst.,Y. Lisans tezi**, s 23-30, Eskişehir.
35. **T.S. 205**, Şubat 1977, Metalik malzemelerin eğme ve katlama deneyleri.
36. **T.S. 207**, Ocak 1994, Metalik malzemeler için Vickers sertlik deneyi.

37. Akçay, M., 1986, Bir tip merminin hareketinin deneysel incelenmesi ve dış balistik te teorik bir yaklaşım, **K.K.K. Yayınları**, s 22-31, Ankara.
38. Federal spesifikation Aluminum alloy 5083 plate and sheet , **Government printing office** , U.S.A.1979, N: 281-172/1204.
39. Aluminum alloy 7039, **MIL-DTL-46063 H**, ARMOR PLATE,
40. American welding society, ANSI/ AWS A5. 10-92 **An American national standart**, Spesifikation for bare Aluminum and Aluminum alloy welding electrodes and rods.
41. **EN 288-2**, 1992/ A₁: 1997, Manufactures welding procedure spesifikation.
42. **T.S. 138**, EN 10002-1, Ocak 1996, Metalik malzemelerin çekme deneyi.



ÖZGEÇMİŞ

10-04-1975 yılında Niğde’ de doğdu. İlk ve orta okulu Eminlik köyünde, liseyi Ulukışla da tamamladı. 1993 yılında Marmara Üniversitesi Tek. Eğt. Fak. Metal eğitimi bölümüne kayıt yaptırdı. 1997 Haziranında bu üniversiteden iyi derece ile mezun oldu. 1998 şubat döneminde Gazi Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünde aynı bölümde Yüksek Lisans’a başladı. 1998 mart ayında Aksaray’da öğretmenliğe başladı. Halen Keçiören İncirli End. Mes. Lisesine öğretmen olarak görev yapmaktadır.

