İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZIRHLI MUHAREBE ARAÇLARINDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cengiz SEVİNÇ

Anabilim Dalı : Disiplinler Arası Alanlar
Programı : Savunma Teknolojileri
(Malzeme, Tasarım ve İmalat Teknolojileri)

HAZİRAN 2002

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZIRHLI MUHAREBE ARAÇLARINDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cengiz SEVİNÇ

(514001023)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Haziran 2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Haziran 2002

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Barlas ERYÜREK

Doç.Dr. Erdem İMRAK

HAZİRAN 2002

ÖNSÖZ

Alüminyum alaşımlarının, sahip oldukları özellikleri sebebiyle çeşitli sanayii dallarındaki kullanımı her geçen gün daha da yaygınlaşmış olup; bu çalışmanın konusu olan zırh teknolojisinde de alüminyum alaşımları uzun yıllardır kullanılmaktadırlar. Bu teknoloji de kullanılan ilk alüminyum alaşımı 5083`tür, teknolojik gelişmelere paralel olarak ve 5083 alaşımının balistik özelliklerinin daha da iyileştirilmesi yönünde ki çalışmalar neticesinde 7039 alaşımı zırhlı araç imalatında kullanılmak üzere üretilmiştir.

Çalışmalarım esnasında üstün bilgi ve tecrübeleriyle her türlü desteği sağlayıp, yönlendiren tez hocam sayın Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU beye, Marmara Üniversitesi öğretim üyesi sayın Prof. Dr. İrfan YÜKLER beye, FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. mühendislerinden sayın Özgür AKÇAM beye, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürler ederim.

Haziran 2002 Cengiz SEVİNÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	**ii**
KISALTMALAR	**v**
TABLO LİSTESİ	**vi**
ŞEKİL LİSTESİ	**vii**
ÖZET	**ix**
SUMMARY	**x**
1. GİRİŞ	**1**
2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	**2**
2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri	**2**
2.2. Alüminyum Alaşımlarının Simgeleme Sistemi	**4**
2.3. Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları	**7**
2.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri	**8**
2.5. Alüminyum Alaşımlarının Sertleştirme Yöntemleri	**10**
3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK EDİLMESİ	**13**
3.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti	**13**
3.2. MIG Kaynak Yöntemi	**16**
3.2.1. MIG Kaynak Akım Üreteçleri	18
3.2.2. Kaynak Torçları	21
3.2.3. MIG Kaynak Telleri	23
3.2.4. Koruyucu Gazlar	25
3.2.4.1. Koruma Etkinliği	27
3.2.5. Metal Taşınımı	28
3.2.5.1. Damlasal Metal Taşınımı (Uzun Ark)	29
3.2.5.2. Kısa Devreli Metal Taşınımı (Kısa Ark)	30
3.2.5.3. Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı)	30

3.2.6. Kaynak Tasarımı ve Ağız Şekilleri 30
3.2.6.1. Birleştirme Türleri 31
3.2.7. Kaynak Öncesi Temizlik 38
3.2.8. MIG Kaynak Uygulaması 40

3.3. Alüminyum Kaynağında Kalitenin Sağlanması 43
3.3.1. Sıcak Çatlak 43
3.3.1.1. Sıcak Çatlak Oluşumunu Azaltma Yöntemleri 45
3.3.1.2. Kaynak Isısının Alaşıma ve Dikişe Etkisi 47
3.3.2. Gözenek 50
3.3.2.1. Gaz Sıkışması 50
3.3.2.2. Hidrojen 50
3.3.2.3. Soğuma Hızı 52
3.3.2.4. Düzensiz Tel Beslemesi 53

4. ALÜMİNYUM ZIRH TEKNOLOJİSİNDE 5083 VE 7039 ALAŞIMLARI 55

4.1. 5083 ve 7039 Alüminyum Alaşımlarının Tahribatlı Muayenesi 63
4.1.1. Çekme Testi 66
4.1.2. Eğme Testi 71
4.1.3. Sertlik Testi 74

5. SONUÇ 79

KAYNAKLAR 81

ÖZGEÇMİŞ 83

KISALTMALAR

BHN : Brinell sertlik sayısı
nm : Nanometre
RHA : Haddelenmiş homojen zırh çeliği
AP : Zırh delici mermiler
VHN : Vickers sertlik sayısı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 Alüminyumun genel özellikleri..... 3
Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması ve yapısı.....4
Tablo 2.3 Alaşım elementlerinin niteliklere etkileri……. 9
Tablo 3.1. Tel çapına ve ark cinsine göre akım ve gerilim değerleri 21
Tablo 3.2. Çeşitli alüminyum alaşımları için önerilen kaynak telleri 24
Tablo 3.3. Kaynak tellerinin bileşimi 25
Tablo 3.4. Kaynak tellerinin dayanımı 25
Tablo 3.5. Gaz akışına etki eden faktörler..... 28
Tablo 3.6. Alüminyumun MIG kaynağında kullanılan kaynak ağzı şekilleri 37
Tablo 3.7. Kaynak hataları 54
Tablo 4.1. 7.62 mm`lik AP mermilerinin zırhın dik ekseni yönündeki çarpmalarına karşı değişik tipteki ince zırhların kütle etkinlikleri 56
Tablo 4.2. Levha kalınlıkları 59
Tablo 4.3. 5083 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri. 64
Tablo 4.4. Levha boyutları ve malzeme spesifikasyonu 64
Tablo 4.5. Kaynak parametreleri 65
Tablo 4.6. Dikdörtgen kesitli numune boyutları 67
Tablo 4.7. 7039 alaşımının çekme testi sonuçları 68
Tablo 4.8. 5083 alaşımının çekme testi sonuçları 69
Tablo 4.9. 7039 alaşımının eğme test sonuçları 72
Tablo 4.10. 5083 alaşımının eğme testi sonuçları 73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Alüminyumun sertleştirme yöntemi ve alaşım elementleri……10
Şekil 2.2. Alüminyum ve Al-Mg alaşımlarında alt tane boyutunun sertliğe etkisi…11
Şekil 3.1. MIG kaynak donanımı 18
Şekil 3.2. MIG kaynağında kutuplamanın etkisi 19
Şekil 3.3. MIG kaynak makinasında ayarlar 20
Şekil 3.4. Hava soğutmalı bükülmüş torç kesiti ve bağlantı paketi 22
Şekil 3.5. Koruyucu gazların dikiş kesitine etkisi 27
Şekil 3.6. Alın birleştirme 32
Şekil 3.7. Farklı kalınlıktaki levhaların kaynağında kalın olanın inceltilmesi 32
Şekil 3.8. Tek V birleştirme 33
Şekil 3.9. Çift V birleştirme 33
Şekil 3.10. Tek ve çift U birleştirme 34
Şekil 3.11. Ağız açılmış ve düz T birleştirme 35
Şekil 3.12. Tek ve çift taraflı bindirme birleştirme 35
Şekil 3.13. Köşe birleştirme çeşitleri 36
Şekil 3.14. Kenar birleştirme 36
Şekil 3.15. Temiz ve yağlı levhaların kaynak radyografisi 38
Şekil 3.16. Kaynak metalinde kalıntılar 39
Şekil 3.17. MIG kaynağında arkın görünümü 40
Şekil 3.18. Torcun tutuluşu ve ilerlemesinin dikiş şekline etkisi 42
Şekil 3.19. Ark türüne bağlı serbest tel uzunluğu 43
Şekil 3.20. Kaynak metalinin katılaşma evreleri 44
Şekil 3.21. Taneler arası çatlak 48
Şekil 3.22. Pasolar arası ergime hattında toplanma 49
Şekil 3.23. Alaşım elementlerinin çatlama hassasiyetine etkisi 49
Şekil 3.24. Alüminyumda hidrojen çözünürlüğü 51
Şekil 3.25. Hidrojenin alüminyumun MIG kaynağında gözenekliliğe etkisi 51
Şekil 3.26. Destek plakasının gözenekliliğe etkisi 53
Şekil 4.1. Zırhlı personel taşıyıcı, muharebe ve havan aracı 59
Şekil 4.2. Kaymalı birleştirmeler (Balistik kaynak ağzı) 61
Şekil 4.3. Testlerde kullanılan malzeme boyutları (mm.) 64
Şekil 4.4. Çift eğimli alın birleştirme 65
Şekil 4.5. Paso sırası 65
Şekil 4.6. Birleştirilmiş parçaların numune bölgeleri 66
Şekil 4.7. Standart dikdörtgen çekme test numunesi 66
Şekil 4.8. 7039 alaşımının çekme testi numunesi 67
Şekil 4.9. 7039 alaşımının çekme testi grafiği 68
Şekil 4.10. Dördüncü 5083 alaşım numunesinin çekme testi grafiği 69
Şekil 4.11. Numunelerin çekme testi sonrası kırık yüzeylerinin makro görünümü .. 70

Şekil 4.12. Eğme test düzeneği 71
Şekil 4.13. Eğme test numunesi 71
Şekil 4.14. Test sonrası çatlak yüzeyler 74
Şekil 4.15. 5083 alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği 75
Şekil 4.16. 5083 alaşımının kaynak dolgu metali sertlik grafiği 76
Şekil 4.17. 7039 alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği 77
Şekil 4.18. 7039 alaşımının kaynak dolgu metali sertlik grafiği 78

ZIRHLI MUHAREBE ARAÇLARINDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK EDİLMESİ

ÖZET

Zırhlı muharebe araçlarında alüminyum alaşımlarının kullanılmasının başlıca nedeni hafif olmalarıdır. Alüminyum levhalar 1960 yılından beri zırh malzemesi olarak kullanılmakta olup ilk olarak Kaiser Alüminyum ve Kimya şirketince 5083 alaşımı üretilmiştir. Alüminyum alaşımlarının kaynak edilmesini güçleştiren özellikleri vardır. Kullanılacak kaynak yöntemi, alüminyumun bu özellikleri ile uyumlu olmalıdır.

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde alüminyum alaşımlarının genel özellikleri, simgeleme sistemi, alaşım elementleri ve sertleştirme yöntemleri anlatılmıştır.
İkinci bölümde alüminyumun kaynak kabiliyetini belirleyen oksit tabakasının giderilmesi, sıcak çatlak oluşumunun sebepleri ve önlenmesi, gözenek oluşumu, MIG kaynak yönteminin uygulanması ve alüminyum kaynağına uygunluğu açıklanmıştır.
Üçüncü bölümde alüminyum zırh teknolojisinde 5083 ve 7039 alaşımlarının kullanılması anlatılmış ve bu alaşımlara yapılmış olan tahribatlı (çekme, eğme, sertlik) testlerden elde edilmiş olan sonuçlar açıklanmıştır.

WELDING OF ALUMINUM ALLOYS WHICH ARE USED IN ARMOURED COMBAT VEHICLES

SUMMARY

Lightness is the main reason for the use of aluminum alloys in Armoured Combat Vehicles. Aluminum plates, 5083 was the first which had been produced by the Kaiser Aluminum and Chemical Inc, have been mostly used as armour material since 1960. Some properties of aluminum alloys make their weldability difficult. The welding technique, will be used, must be harmonious with the properties which have been mentioned above.

In the first chapter of this thesis, general properties of aluminum alloys, designation system, alloying elements and hardening methods are explained.

In the second chapter, removing oxide layer which effects weldability of aluminum alloys, the reasons for hot cracking and its prevention, porosity and application of MIG welding regarding with its appropriateness to aluminum alloys are stated.

In the third chapter, the use of 5083 and 7039 alloys in aluminum armour industry is stated and the results, obtained from destructive testing (tension, bending and hardness), of these two alloys are explained.

1. GİRİŞ

Ülkelerin savunma stratejilerini belirlemede sahip oldukları harp silah ve araçları büyük önem arz eder. Kara kuvvetleri birliklerinin muharebe etkinliğini tayin eden en önemli unsurlardan biri de yüksek hareket kabiliyetine sahip olan zırhlı muharebe araçlarıdır. Bu sebeple ülkeler, kara kuvvetlerinin harekat gücünü üst seviyede tutabilmek maksadıyla zırhlı araç teknolojisinde ki gelişmeleri sürekli olarak yakından takip etmektedirler. Zırh teknolojisi üretmekte olan ülkeler ise büyük bir rekabet ve gizlilik içerisinde bu teknolojiyi çok daha ileri seviyelere çıkartma çabası içerisindedirler.

Zırhlı muharebe araçlarında günümüzde en fazla kullanılan alüminyum alaşımları 5083 ve 7039`dur. Bu alaşımlardan üretilen levhaların birleştirilmesi de zırh teknolojisini belirleyen en önemli unsurlardan birisi olup daha çok bu alaşımların kaynaklı birleştirilmelerinde MIG yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliği ve MIG kaynak yöntemi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyumun, teknolojik alanda geniş çaplı uygulama imkanına olanak sağlayan önemli özellikleri vardır. Alüminyumdan çeşitli alaşımlama ve farklı ısıl işlem uygulamaları ile çok değişik fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkündür. Dört yüze yakın sayıda alüminyum alaşımı endüstriyel uygulama amacı ile geliştirilmiştir. Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluğu, sünek olmasından dolayı kolay şekillendirilebilirliği, yüksek korozyon direnci, geliştirilebilen fiziksel ve mekanik özellikleri bu alaşımların kullanım alanlarını arttırmaktadır.

Alüminyumun yoğunluğu 2,7 g/cm^3 olup çeliğin yoğunluğunun üçte biri kadardır. Mukavemeti çelikten düşük olsa da, kesit arttırarak çeliğe eşdeğer mukavemet sağlanan pek çok konstrüksiyonlarda ağırlığın azaltılması alüminyum alaşımlarına avantaj sağlamaktadır. Alüminyumun elastik modülü çeliğin ancak üçte biri kadardır. Bu sebeple basma gerilmesine karşı hassas fakat darbeli yüklere karşı direnci daha yüksektir. [1]

Alüminyumun elektrik iletkenliği bakırın iletkenliğinin % 60`ı kadar olmasına karşın düşük yoğunluğundan ötürü, birim kütleye düşen iletkenliği bakırdan daha yüksektir. Alüminyumun oda sıcaklığında soğuk şekil değiştirmesi ile çekme ve akma mukavemeti yükselirken, elektrik iletkenliği şekil değiştirme oranına bağlı olarak azalır.[2]

Alüminyumun sertliği 17 BHN değerinde olup, alaşımlarında 120 BHN seviyesine ulaşabilmektedir. Çekme dayanımı 90 MPa değerinden, bazı yaşlanabilir alaşımlarda, 650 MPa değerinin üstüne çıkabilir. [3]

Alüminyumun oksijene karşı olan hassasiyetinden ötürü, yüzeyinde hava ile teması neticesinde ince fakat yoğun bir oksit tabakası ($Al_2 O_3$) oluşur. Bu oksit tabakasından ötürü hava, su, tuzlu su ve birçok kimyasal ortamda yüksek korozyon direncine sahiptir. Alüminyum oksit çok sert olduğundan, metalin aşınmaya karşı

mukavemetini arttırır. Ergime sıcaklığı 2050 ^{o}C dır. Yüzeydeki oksit tabakası suni olarak kuvvetlendirilir. Metal anot olarak galvanik bir banyoya yerleştirilir. Devreden geçen elektrik akımı ile oksit tabakası kuvvetlendirilir. Bu işleme eloksal adı verilir.

Alüminyum kübik yüzey merkezli kafes yapısında katılaşır ve ergiyene kadar kafes yapısı değişmez. Bu kafes yapısı alüminyuma yüksek süneklik kazandırır, sıcaklığı arttıkça yoğunluğu ve ısı iletim katsayısı azalır, elektrik özdirenci ve ısıl genleşme katsayısı artar. Isıl genleşme katsayısı çelik ve dökme demirin iki katı kadardır. Alüminyum, çeliğinkinin yaklaşık dört katı büyüklüğünde ısı iletim katsayısına sahip olup bu özelliği eritme kaynağında yüksek ısı girdisine ihtiyaç gösterir. Sıvı alüminyum alaşımları gazları kolayca soğurur, nem ve su buğusu ciddi önem arzeder. Katılaşan alaşımlarda açığa çıkan gazlar iğne başı gözeneklerini oluştururlar.

Tablo 2.1. Alüminyumun genel özellikleri [1]

Sembol	Al
Atom No	13
Atom Ağırlığı	26.97 gr/mol
Kristal Yapısı	YMK (a = 4.091 A)
Yoğunluğu (25 ^{o}C)	2.7 gr/cm^{3}
Ergime Sıcaklığı	660 ^{o} C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150-300 ^{o} C
Isısal Genleşme	23.6×10^{-6} (20-100 ^{o}C)
Özgül Isısı	0.224 cal/gr (100 ^{o}C)
Elastik Modülü	7.2×10 ^{3} kg/cm^{2}
Kayma Modülü	2.7×10^{5} kg/cm^{2}
Çekme Dayanımı	4-9 kg/mm^{2}
Akma Dayanımı	1-3 kg/mm^{2}
Elektrik Direnci (20 ^{o}C)	2.699 mikroohm.cm
Isıl İletkenliği (20 ^{o}C)	0.52 cal.cm/cm^{2} .s.^{o}c
Kopma Uzaması	% 30-45
Katılaşırken Kendini Çekme	% 1.7-1.8
Sıvılaşırken Hacim Büyümesi	% 6.5
Çentik Darbe Tokluğu	10 kg/cm^{2}

2.2. Alüminyum Alaşımlarının Simgeleme Sistemi

Alüminyum alaşımları öncelikli olarak şekillendirilebilen (dövme) ve döküm alaşımlar olarak iki ana gruba ayrılırlar. Her iki grup alaşımlar daha sonra dört rakamlı sayısal simge ile belirtilirler. Buna göre, dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı, kullanılan temel alaşım elementini işaret etmektedir. Aşağıdaki tabloda alüminyum alaşımları ve yapısı görülmektedir.

Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarının gruplandırılması ve yapısı

Simge	Temel Alaşım Elementi	Yapısı
1XXX	Saf Alüminyum	Tek Fazlı
2XXX	Bakır	İki Fazlı
3XXX	Manganez	Tek Fazlı
4XXX	Silisyum	İki Fazlı
5XXX	Magnezyum	Tek Fazlı
6XXX	Magnezyum-Silisyum	İki Fazlı
7XXX	Çinko	İki Fazlı
8XXX	Diğer Elementler	
9XXX	Kullanılmayan Dizi	

1XXX serisi saf alüminyumu (% 99.00) belirtir. Son iki rakam ise % 99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını ve alüminyumun en az saflık değerini belirtir. 1XXX serisinde soldan ikinci rakam özel olarak kontrol edilen katışkı elementlerinin sayısını belirtir ve 1`den 9`a kadar değişebilir. 1275 saf alüminyumu, saflık değerinin en az %99.75 olduğunu ve özellikle denetlenen iki katışkı elementi olduğunu gösterir.

2XXX`den 8XXX`e kadar olan seriler Tablo 2.2`de belirtilen alaşımları simgeler. İlk rakam alaşımın türünü, ikinci rakam ise aynı şekilde kontrol edilen katışkı elementlerinin sayısını belirtir. 7039 alüminyum alaşımı kontrol edilen alaşım elementi olmayan, alüminyum - çinko alaşımını göstermekte, son iki rakamın özel bir anlamı olmayıp sadece alaşımı aynı serideki diğer alaşımlardan ayıran sıra sayısı olarak kullanılır.

9XXX serisi ise sadece deneysel olarak geliştirilmekte olanlar için kullanılır. Üretime geçildiği andan itibaren 9XXX simgesi kaldırılarak, uygun gerçek simge verilir. Alaşım kabul edilinceye kadar dört rakamın önüne X konulur.

Şekillendirilebilen ve dökme alüminyum alaşımları kendi içerisinde ısıl işlem uygulanabilir ve uygulanamaz olarak ikiye ayrılırlar. 2XXX, 4XXX, 6XXX, 7XXX serisi alaşımların mekanik özellikleri ısıl işlem yoluyla geliştirilebilmekte 1XXX, 3XXX, 5XXX serilerinin özellikleri ise ısıl işlem uygulanamadığından bunların özellikleri ihtiva ettikleri alaşım elementleri ve soğuk işlem ile yükseltilir. [3]

Alaşımların temper durumlarını belirtmek için harfler ve rakamlar kullanılır; asıl işlem bir harf, daha sonra uygulanan değişimler ise rakamlar ile gösterilir. Harf ve rakamların anlamları şu şekildedir:

F Alaşımın üretildiği durumda olduğunu belirtir.
O Tavlanmış, yeniden kristalize edilmiş alaşımlar için kullanılır, şekillendirilebilir alaşımlarda en küçük mukavemeti elde etmek için, döküm alaşımlarda sünekliği ve boyutsal kararlılığı arttırmak için tavlama ısıl işlemi yapılır.
H Deformasyon sertleşmesi yapılmış (sadece şekillendirilebilir alaşımlar). Soğuk şekil vermeden sonra mukavemeti biraz azaltmak için ısıl işlem uygulanmış olabilir. H 1 Sadece soğuk işlenmiş, daha sonra ısıl işlem yapılmamıştır. İkinci rakam deformasyon sertleşmesi değerini gösterir. 1 en yumuşak, 2 çeyrek sert, 4 yarı sert, 6 üç çeyrek sert, 8 tam sert durumu belirtir. Tam sert, tavlanmış alaşımın % 75 soğuk işlenmiş yapısının çekme dayanımına eşit sertliktir. Ekstra sert alaşımlar için 9 rakamı kullanılır. Bu simgelemeye tam uymayan farklı bir alaşımın gösteriminde ise üçüncü rakam kullanılır. H 121, 1 alaşımın soğuk işlenerek sertleştirildiğini, 2 alaşımın çeyrek sert durumda olduğunu, son 1 ise bu alaşımın H 12 alaşımından biraz farklı değerlere sahip olduğunu gösterir.

H 2 Soğuk sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış alaşımlar için kullanılır. İş parçası istenilen değerin üzerine deformasyon ile çıkarılır ve kısmi tavlama ile istenilen sertlik değeri elde edilir. Üçüncü rakam ise (H 24, H 28) ısıl işlemden sonra elde edilen sertliği gösterir.

H 3 Soğuk sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş alaşımlar için kullanılır. Bunlar soğuk sertleştirilir ve düşük bir sıcaklıkta tavlanır. Böylelikle oda sıcaklığında yaşlanma ile sertlik düşmez diğer bir ifade ile mekanik özellikler kararlı hale getirilmiş olur. Bu

işlem ile metalin sünekliği de artmış olur. Deformasyon oranına bağlı olarak H 32, H 34, H 36, H 38 simgeleri kullanılır.

H 211 Soğuk şekil vermeden sonra tavlama yapılmış ancak sertlik O seviyesine inmemiş fakat H 21 seviyesinin altında kalmıştır.

H 112 Sıcak veya ılık şekil verme sırasında parça sertlik kazanmıştır.Minimum mekanik özellikler sağlanmıştır.

H 321 Soğuk sertleşme değeri kontrol edilmiştir.

H 116 Korozyon direnci yüksek olan Al-Mg alaşımlarında özel deformasyon sertleşmesi değerini gösterir.

W Çözeltiye alındıktan sonra belirli bir süre oda sıcaklığında yaşlanan alaşımları ifade eder.Bunlar oda sıcaklığında yaşlanan kararsız alaşımlardır. W 7 alaşımın yedi saatlik yaşlanma sonrası taşıyacağı özellikleri belirtmek için kullanılır.

T F, O, H`den farklı olarak ısıl işlem ile kararlı mikroyapı ve özellikler elde edildiğini gösterir. Alaşım soğuk işlem görmüş yada görmemiş olabilir. Yaşlandırma işlemi, T harfini takip eden bir rakamla belirtilen işlemlerden sonra uygulanabilir. T harfini 1-10 arası bir rakam takip eder.

T 1: Yüksek sıcaklıktaki şekillendirmeden sonra soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış.

T 2: Yüksek sıcaklıkta şekillendirildikten sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.

T 3: Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.

T 4: Çözündürülmüş ve doğal yaşlandırılmış.

T 5: Yüksek sıcaklık şekillendirmesinden (döküm, ekstrüzyon) sonra soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış.

T 6: Çözündürülmüş ve yapay yaşlandırılmış.

T 7: Çözündürülmüş ve aşırı yaşlandırma ile dengelenmiş.

T 8: Çözündürülmüş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.

T 9: Çözündürülmüş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş.

T 10: Yüksek sıcaklıkta şekil vermeden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.

2.3. Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Alüminyum yüksek ısı iletkenliğinden ötürü içten yanmalı motorlarda piston olarak kullanılır ve böylece daha yüksek kompresyon uygulanmasına olanak sağlar, ısıl iletkenliğinin yüksek olmasından diğer bir uygulama alanı ısı kazanları parçalarıdır. Yüksek korozyon direncinden dolayı kimya ve inşaat sanayisi ile ev eşyalarında, zehirleyici olmadığından ve bakteri çoğalmasını azalttığından gıda ve ilaç sanayisinde ambalaj malzemesi olarak ve tıp, elektronik, havacılık, uzay ve uçak sanayi ile nükleer endüstride kullanılır.

Alüminyum alaşımları, çelik malzemeler ile mukayese edildiğinde daha düşük bir yoğunluğa sahip olmasından ötürü hafifliğin önem kazandığı otomotive, deniz taşıtları ve havacılık sanayiinde kullanımı tercih edilmektedir. Deniz araçlarında, özellikle teknelerde alüminyum süper-yapı sistemleri ile ağırlık merkezi daha aşağıya çekilmekte ve böylece teknenin dengesi arttırılmakta ve daha çok kullanım hacmi sağlanmaktadır. Bir uçağın ağırlıkça % 70`i alüminyumdan oluşmaktadır. Kara nakil araçları da büyük ölçüde alüminyum ve alaşımlarından imal edilmektedir. Hava meydanı yakıt tankerleri, kimyasal madde tankerleri, metro vagonları, ağır yük nakil araçları belli başlı uygulamalardır.

Alüminyum binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı iskeletinde, sera, kule, depolama tankı yapımında büyük miktarda kullanılır. Elektrik nakil hatları, motor, jenaratör, transformatör gibi cihazların çeşitli kısımlarında alüminyum kullanılmaktadır. Makine elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım - ağırlık oranı (çekme dayanımı/yoğunluk), korozyona dayanımı ve işleme kolaylığı alüminyumun üstün özellikleridir. Karmaşık kesitli parçaların üretiminde alüminyum ekstrüzyonu avantaj sağlamaktadır. [1]

Alüminyum alaşımlarının yaygın kullanılmasının bir diğer sebebi, düşük sıcaklıklarda sünekliğini muhafaza etmesidir. Düşük sıcaklıklarda kullanıma elverişliliğinden dolayı soğutucu sıvıların taşınması, depolanması ve üretiminde geniş çaplı uygulama alanı bulmaktadır. [4]

2.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alüminyum pek çok metal ile sıvı halde kolayca karışabilir. Katı halde ise metallerin alüminyum içindeki katı çözünürlükleri düşük seviyelerdedir. Bir çok alaşımda metallerarası bileşikler oluşur ve alaşımın özelliklerini önemli ölçüde etkilerler. Alüminyum içerisinde hiçbir element katı halde tam olarak çözünemez. Metallerarası bileşikler daha çok yüksek alaşım katılımlarında alüminyum içerisinde çözünemediklerinden oluşurlar; çok sert ve gevrek olduklarından mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilerler, mukavemet yükselir fakat süneklik azalır. Genellikle alaşım elementlerinin toplam miktarı % 15 seviyesini geçmez.

Alüminyuma katılan alaşım elementleri mekanik özellikleri geliştirir, özellikle mukavemeti arttırır, sıcak çatlama ve yırtılma eğilimini azaltır. Alüminyuma katılan başlıca alaşım elementleri magnezyum, manganez, silisyum, bakır, çinko, nikel ve titanyumdur. Alaşım elementleri alüminyum içerisinde üç farklı şekilde bulunabilirler.

1. Alüminyum içerisinde katı halde çözülebilirler.
2. Katı halde alüminyum içerisinde çözülmeyip veya sınırlı miktarda çözülüp, mekanik karışım oluşturabilirler.
3. Alüminyum ile veya kendi aralarında metaller arası bileşik veya kimyasal bileşik oluşturabilirler.

Alüminyuma katılan alaşım elementlerinden genellikle malzemenin şekil değiştirme kabiliyetini ve korozyon dayanımını etkilemeden mukavemet özelliklerini geliştirmesi beklenilir. Alüminyuma çok az miktarda katılan Mn, Mg, Si, Cu ve Zn alüminyumun yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısında yer alarak katı eriyik oluştururlar ve kristal kafesin kaymaya karşı direncini yükseltirler; böylelikle şekil değiştirme kabiliyeti fazla etkilenmeden akma mukavementi yükseltilmiş olur.[2]

% 12 seviyesine kadar ilave edilen bakır dayanımı arttırır, daha fazlası gevreklik yaratır; genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği arttırır, çekme ve sıcak çatlama eğilimini azaltıcıdır.

Çinko dökülebilirliği düşürür, yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler % 10 Zn`den yüksek alaşımlar gerilim korozyon çatlaması gösterir, diğer alaşım elementleri ile birlikte dayanımı çok arttırır, Mg_2 Zn gibi sert ara fazların oluşmasıyla mekanik özellikleri iyileştirir.

Demir, alüminyum cevherlerinde doğal katışkı olarak bulunur; az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayanımını arttırır. Dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır.

Magnezyum, katı çözelti sertleşmesi yaratır; % 6 dan fazla magnezyum içeren alaşımlarda çökelme sertleşmesi olur, dökümleri zordur, aşınma direncini arttırır. Al-Mg alaşımları ısıtılınca kolayca oksitlenir ve yüzeylerinde gevrek bir oksidasyon tabakası meydana gelir. 5XXX serisi alaşımlarda magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemeti artarken süneklik azalır. Yüksek mukavemet ve kaynak kabiliyeti hedeflenen alaşımlarda Mg oranı % 3.5 üzerinde olmalıdır.

Manganez, dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır, metallerarası bileşiklerin özelliğini değiştirir, kendini çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini arttırır.

Silisyum akışkanlığı arttırır, sıcak çatlama eğilimini azaltır, % 13 den fazla silisyum içeren alaşımların işlenmesi çok zordur, aşınma direncini arttırır. Silisyumun bulunmaması halinde demir, katı eriyikten bakır eksiltmek suretiyle Al-Cu alaşımlarının sertleşme kabiliyetini azaltır. [3]

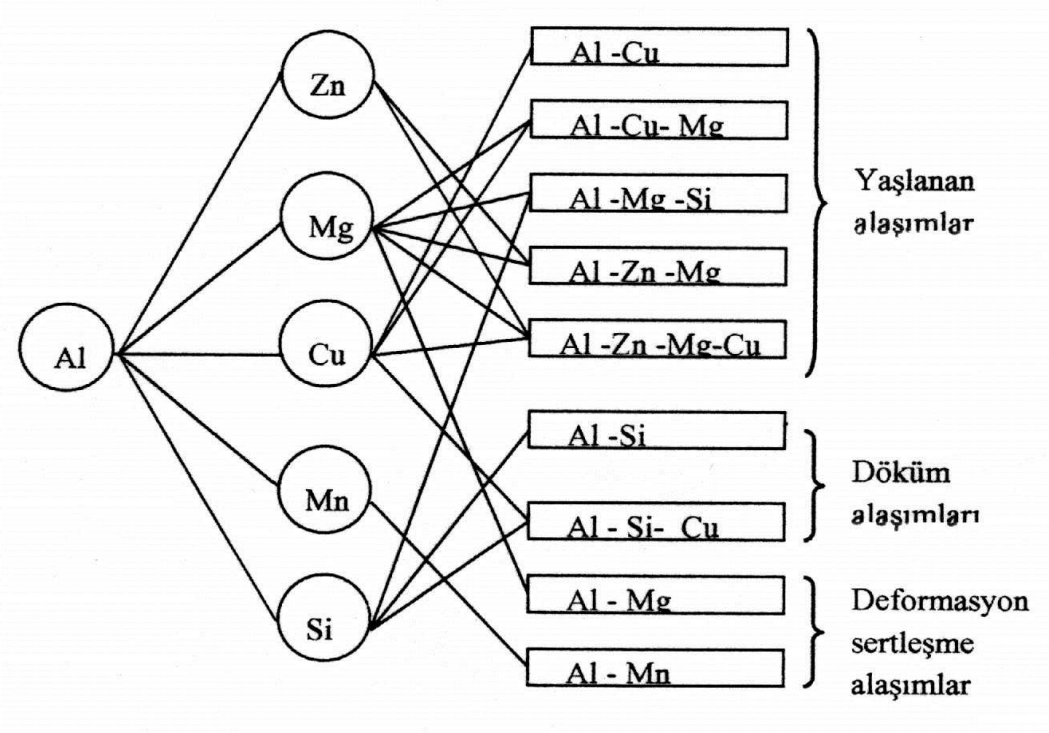
Tablo 2.3. Alaşım elementlerinin niteliklere etkileri [5]

Nitelikler	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Ti	Mn	Fe	Cr
Kopma mukavemeti	++	+	+	++	+	+			-
Elastik sınır	++	+	-	+	-				
Sertlik	++		-	-	+		+	+	
Isıya dayanıklılık	++		++		+			+	
Kaynak kabiliyeti	-	++	+	-	-	+	+		+
Talaş kaldırma	++	-	+	+	+	++	+	++	+
Elastik modül	+	++	-	+	+		+	-	
Döküm kabiliyeti	+	++	-	+		+	-	-	
Süneklik	-	- -	+			+		- -	
Korozyon dayanımı	-	+	++	+			-	- -	++
Anodizasyona elverişsizlik	-	+	++	+			-		

++: Önerilir +: İyi - - : Tavsiye edilmez - : Ortanın altında

2.5. Alüminyum Alaşımlarının Sertleştirme Yöntemleri

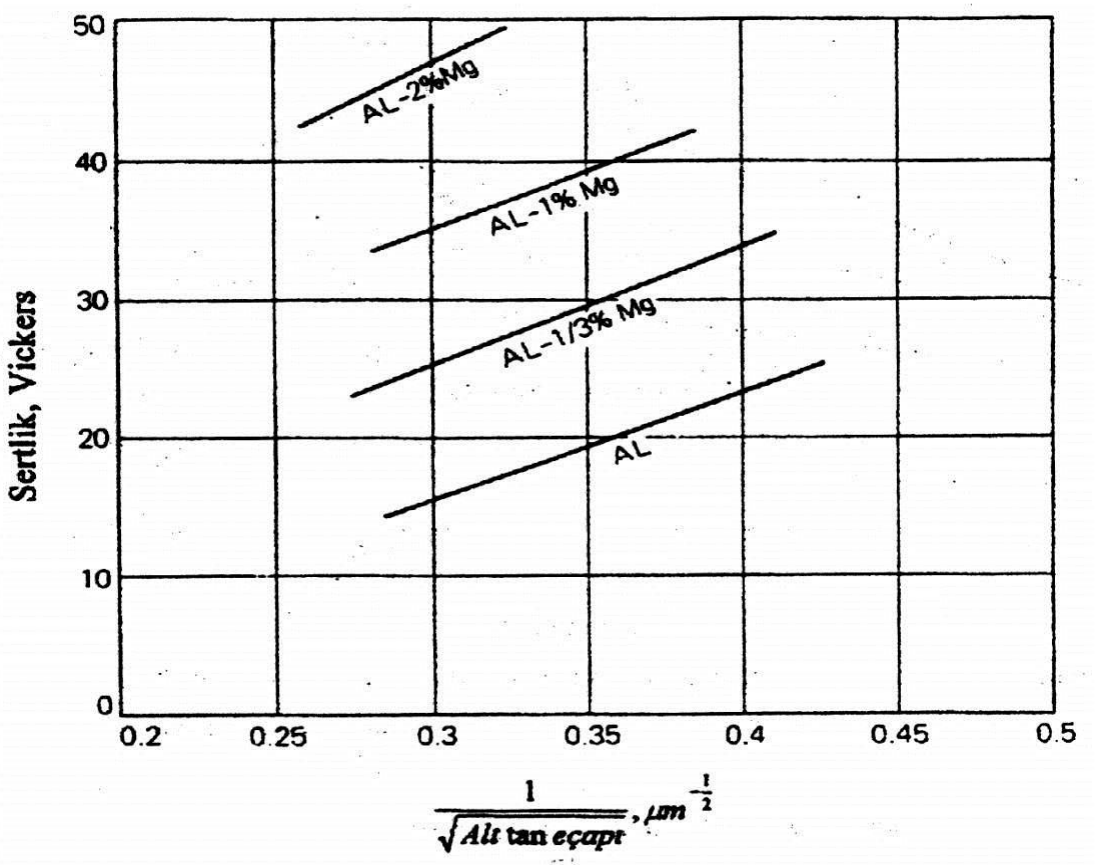
Alüminyum alaşımları ısıl işlem ile sertleştirilemeyen (yaşlandırılamayan) ve ısıl işlem ile sertleştirilen (yaşlandırılan) alaşımlar olarak iki gruba ayrılır. Isıl işlem ile sertleştirilemeyen alaşımlar soğuk şekillendirme yöntemiyle sertleştirilirler. Aşağıdaki şekilde alüminyumun alaşım elementleri ve sertleştirme yöntemleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Alüminyumun sertleştirme yöntemi ve alaşım elementleri [1]

Yaşlandırılamayan alüminyum alaşımları genellikle yüksek sıcaklıkta ve oda sıcaklığında tek fazlı alaşımlardır. Bunlar, alaşım elementlerinin yarattığı katı eriyik sertleşmesi ile mukavemet kazanırlar ve soğuk şekil verme ile sertlikleri geliştirilir. Soğuk şekil verme sırasında taneler içerisinde bulunan dislokasyonların yoğunluğu deformasyon oranı ile artar. Bu kayan ve çoğalan dislokasyonlar alt tane sınırını oluşturur. Dislokasyonlar kayarak çoğalırlar ve birbirleriyle kesişip düğümler oluşturmaları kafes çarpılmalarına ve dislokasyonlar arası gerilmelerin artışına sebebiyet verir. Bu durum kayma hareketinin devam etmesi için daha fazla kuvvet tatbikini gerektirir. Deformasyon için gerekli kuvvetin artması alaşımın sertlik ve akma mukavemetinin arttığına işaret eder. Soğuk şekil verme oranı ile dislokasyon

yoğunluğu artacağından alt tane sınırı artacak ve alt tane boyutu küçülecektir. Alt tane küçüldükçe malzeme mukavemeti ve sertliği artacaktır.



Şekil 2.2. Alüminyum ve Al-Mg alaşımlarında alt tane boyutunun sertliğe etkisi

Soğuk şekillendirilen alüminyum alaşımlarının dislokasyon yapısı ve mikro yapısı tavlı haline nazaran daha kararsız bir haldedir, bu yapı oda sıcaklığında zamanla yumuşamaya neden olur. 5083 H-321 alaşımı düşük sıcaklıklarda tavlandığında (230 ^{o}C), yapısında oluşan dönüşümler sonucu daha kararlı duruma gelir. Yeniden kristalleşmenin başladığı sıcaklık değerlerinin altında yapılan tavlamaya gerilme-giderme tavlaması (toparlanma) denir. Alaşım belirtilen sıcaklık değerine ısıtıldığında bir yandan kalıntı gerilmeler azalıp yok olurken diğer yandan dislokasyonlar hareket eder ve yeniden düzene girerler fakat miktarlarında değişiklik olmaz bundan dolayı mekanik özellikler hafif düşerek muhafaza edilir. [1]

Yaşlandırma veya çökelti sertleştirmesi yumuşak ve daha sünek matriste ince, sert, uyumlu çökeltinin üniform dağılımını sağlamak için uygulanır. Alüminyum alaşımlarında en yüksek mukavement değeri yaşlandırma sertleştirmesi ile elde

edilir. 7XXX serisi alaşımlar bu yöntemle sertleştirilir, çinko ve magnezyum aşırı doymuş katı çözelti ile sertleşme işlemini kontrol eden temel elementlerdir. Yaşlandırma ısıl işleminin üç safhası vardır. Çözündürme safhasında alaşım ilk olarak solvüs sıcaklığının üzerine ısıtılır ve homojen katı eriyik, tek faz oluşturana kadar bekletilir. Bu işlem 460-500 ^{o}C arasındaki sıcaklıklarda yapılır. Çözeltiye alma sıcaklığı düşürülürse çözünen element miktarı azaldığından çökelme esnasında ulaşılan sertlik değeri düşük olur. Su verme safhasında alaşım hızla soğutulur atomlar potansiyel çekirdeklenme yerlerine difüz etmek için yeterli zamana sahip değildir; bu yüzden ayrışma oluşmaz, bütün taneler aşırı doymuş haldedirler. Su verme işleminin amacı çözeltiye alma safhasında oluşan mikro yapının oda sıcaklığında muhafazasıdır. Yaşlanma safhasında alaşım oda sıcaklığında uzun süre (birkaç hafta) , daha yüksek sıcaklıkta (115-190 ^{o}C) kısa bir süre bekletildiğinde aşırı doymuş taneler fazla miktarda içerdikleri fazı ayrıştırmaya başlar, matris içerisinde çökelmeler başlar ve yapı daha kararlı hale gelir. Bu işlem oda sıcaklığında yapıldığında doğal yaşlandırma, belirli bir sıcaklıkta (solvüs sıcalığının altında) yapıldığı takdirde yapay yaşlandırma olarak adlandırılır. Zırh imalatında kullanılan 7039-T 6 alaşımı yapay yaşlandırma ile sertleştirilir.

Yaşlandırma ile sertleştirilebilen alaşıma su verildiğinde, parçanın merkezi yüzeyinden daha yavaş soğur. Hızlı soğuyan yüzey ısıl genleşme katsayısı ve çekmeden dolayı büzülür. Merkezi kısım yumuşak ve sünek olduğundan, yüzey merkeze basma gerilmesi uygular. Merkez daha sonra soğumaya başladığında büzülmesi yüzey tarafından engellenir. Böylelikle kalıntı gerilmeler oluşur, bunların önlenmesi maksadıyla gereğinden fazla hızlı soğutma uygulanmamalıdır. Alüminyum alaşımları soğuk su yerine 80 ^{o}C sıcaklıktaki suda soğutulmalıdır.[6]

3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK EDİLMESİ

3.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Alüminyum alaşımlarının, istenilen şekilde kaynak bağlantısı elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gereken özellikleri hakkında detaylı bilgi sahibi olunması ve seçilen kaynak yönteminin uygulanmasına titizlikle dikkat edilmesi gerekir. Alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliği gözeneklilik ve sıcak çatlak oluşumuna karşı sahip oldukları özellikleri ile belirlenir.

Alüminyumun oksijene karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. Hava ile temas eder etmez oksitlenir, tüm yüzeyinde ince fakat sert ve dayanıklı oksit tabakası oluşur, bu tabaka oksitlenmenin iç kısımlara ilerlemesine mani olur, bazı uygulamalarda alüminyumun korozyon direncini arttırmak için bu tabaka anodizing (eloksal) ve ısıl işlemler ile kuvvetlendirilir. Oksit tabakası kırıldığı zaman tekrar oluşur.

Kaynak sıcaklığında erimeyen oksit, kaynak dikişine elektrodun erimesiyle geçer ve bağlantının sürekliliğini sağlayan damlacıkların bağ oluşturmasına engel olur, bunun yanı sıra kaynak banyosu içinde kalıp katılaşan oksit tabakası, bağlantının dayanımını azaltır. Oksitin ergime değeri (2050 ^{o}C) alüminyumun ergime değerinin (550-660 ^{o}C) üç katı kadar olup, oksit tabakası temizlenmeden eritme kaynağında iç kısımda bulunan alüminyum daha önce ergir ve kaynak telinin ana metale nüfuziyetini önler. Oksit tabakası elektriksel yalıtkan olup, normalden fazla kalınlıklarda (ilk oluşumunda 1.5 nm, normal kalınlığı 2.5-5.0 nm) [7] arkın tutuşmasını engeller. İnce oksit tabakalarının gaz altı kaynak yönteminde kaynak arkı (ters kutuplama) ile olumsuz etkileri giderilebilmektedir. Kalın oksit tabakaları ise kaynak esnasında giderilemediğinden dolayı kimyasal banyolarda alüminyum levhaları oksitten arındırılır. Tel fırça ile temizleme durumunda fırçanın paslanmaz çelikten yapılmış olması tercih edilmelidir. Isıl işlem ile sertleştirilen alaşımlarda daha kalın oksit tabakası oluşur.

Bazı kaynak yöntemlerinde oksit giderici dekapanlar kullanılmaktadır. Bu dekapan kalıntıları korozyona sebep olduklarından kaynak işlemi biter bitmez temizlenmelidirler. Bu işlemler birleştirmenin maliyetini ve süresini arttırmaktadır. Bu sebeple MIG kaynak yönteminde dekapan kullanılmadığından oksitin olumsuz etkilerinin giderilebilmesi zırhlı araç imalatında kullanılan kaynak yöntemi olarak MIG`i ön plana çıkartmaktadır.

Oksit tabakasının yüzeyi gözenekli bir yapıya sahiptir. Nem ve kirlilikleri barındırır, bunlar kaynak metalinde gözenek oluşturur. Bu özellikle magnezyum ihtiva eden alaşımlarda geçerlidir. Bunun sebebi magnezyum oksit veya magnezyum–alüminyum oksit kolaylıkla hidrat oluşturur.

Alüminyum alaşımları yüksek ısı iletim katsayıları nedeniyle kaynak sırasında yüksek ısı girdisine ihtiyaç duyarlar. Uygulanacak kaynak yöntemi ile gerekli ısı girdisi sağlamada güçlük var ise parçaya kaynaktan önce ön ısıtma uygulanarak soğuk kısımlara doğru ısı kaçışı engellenmelidir. % 4 ile %5.5 Mg (5083, 5086) içeren Al-Mg alaşımları 111 ^{o}C dan fazla ısıtılmamalıdır.[8] Alüminyum alaşımlarının MIG kaynağında kaynak edilecek parçaların sıcaklığı 18 ^{o}C nin altında ve bağlantı yerlerinden ısı, kaynak işleminin sağlayacağından daha hızlı iletiliyorsa kaynak öncesi ön ısıtma yapılır. Zırhlı araç imalatında kullanılan levhaların kalınlıklarından ötürü (12.7-25-38 mm) ve uygulanan MIG kaynak yönteminin gerekli ısıyı sağlamasından dolayı ön ısıtma sadece bükme işlemlerinde kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarında ısıl genleşme katsayısının yüksek olması eriyik katılaşırken % 6.6 oranında hacimsel büzülme göstermesi, kendini çekme ve çarpılma problemlerine, iç gerilmelere bağlı çatlamalara, krater boyutlarının artmasına yol açabilir. Genel olarak genleşme miktarı kaynak hızıyla ters orantılı olup doğabilecek problemler, zırhlı araç imalatında kaynak uygulamasının kalıp içerisinde yapılması ve MIG kaynağının hızının yüksek olması sebebiyle önlenmektedir, uygulanan ısı miktarının gereken değerleri aşmaması durumunda çarpılma ve çatlamalar önlenir.

Alüminyumun düşük sıcaklıkta erimesi ve eriyen metalin tav rengi göstermemesi kaynak işlemini güçleştirir, kaynak bölgesinin kaynak sıcaklığına eriştiği ancak tecrübeli kaynakçılar tarafından anlaşılır ki bu özelliği alüminyumun ark kaynağında

sorun olmamaktadır. Alüminyumun manyetik olmaması sebebiyle kaynakta ark üflemesi oluşmaz. Alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu ve ergime değeri kaynak yönteminin seçilmesinde dikkate alınması gereken önemli özellikleridir. Erimiş alüminyum içerisinde hidrojen çözünürlüğü çok yüksektir, kaynak yöntemi doğru seçilip uygulanmadığı takdirde kaynak bölgesinde gaz boşlukları oluşur. [1]

MIG kaynak yöntemiyle alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyetleri:

Kolaylıkla kaynak edilebilenler :

Saf alüminyum, 1060, 1100

2219

3003, 3004

5005, 5050, 5052, 5083, 5086, 5154, 5254, 5454, 5456, 5662

6061, 6063, 6101, 6151

7005, 7039

Çoğu uygulamada kaynaklanabilenler :

2014, 4032

Sınırlı kaynak edilebilenler :

2024

Kaynağı tavsiye edilmeyenler :

7075, 7079, 7178

Şekillendirilebilir alaşımlar arasında gaz altı kaynak yöntemiyle kolaylıkla kaynak edilebilenler, ısıl işlem kabul etmez 1XXX, 3XXX ve 5XXX serileridir. 4XXX ve 2XXX serilerinin alaşımları da arkla kaynak edilebilirlerse de özel tekniklerin uygulanması gerekebilir ve bir miktar düşük süneklik elde edilir. Yüksek mukavemetli, ısıl işlem kabul eden 7XXX serisinden 7075, 7079 ve 7178 alaşımları kaynak edilebilir ama bunların ITAB`ları gevrek olur; dolayısıyla bunların kaynak edilmesi tavsiye edilmez. Buna karşılık 7005 ve 7039 alaşımları kaynak için özel olarak geliştirilmiş olup bunların kaynak kabiliyeti iyi seviyededir. 7005 ile 7039 alaşımları, kaynakların yüksek mukavemetli olmalarının gerekli olduğu büyük konstrüksiyonlar için özellik gösterirler. Kaynak dikişleri kaynaktan 30 ile 90 gün sonra , ısıl işlem görmüş ana metal akma ve kopma mukavemetinin, kaynak ilave metalinin kimyasal bileşimine göre % 70 – 90`ına doğal olarak yaşlandırılırlar.[5]

3.2. MIG Kaynak Yöntemi

MIG (Metal Inert Gas) kaynağı bir ark kaynak yöntemi olup, birleştirilecek parçalar eriyen elektrod (kaynak teli) ile parça arasında oluşturulan ark ile ısıtılıp, ergime sağlanarak kaynak işlemi yapılır. Alüminyum ve alaşımlarının ergime kaynağının çoğu bu yöntem ile gerçekleştirilir. MIG kaynağında torcun ucundan yarı otomatik veya tam otomatik şekilde sürekli olarak ilerleyen ilave metal (eriyen elektrod) ile kaynak yapılmaktadır. MIG kaynağında ark, argon ve helyum gibi asal gaz atmosferi altında yanar. Kullanılan koruyucu gazlar asal olduğu için reaksiyona girmezler.

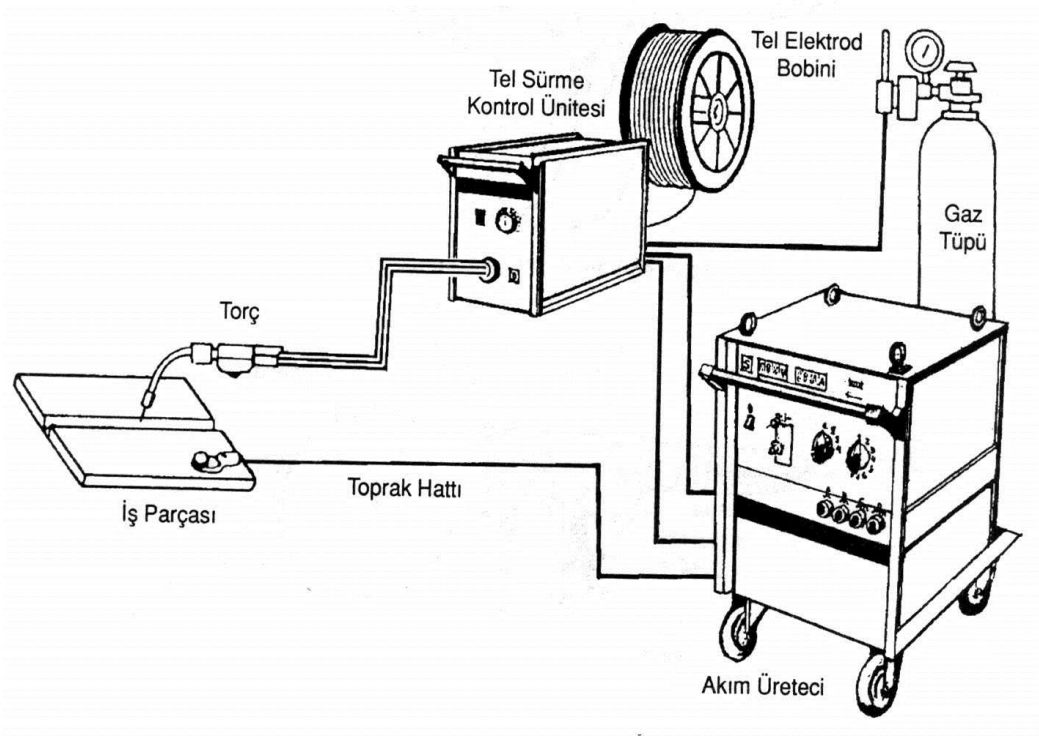
Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, en iyi birleştirme kalitesi MIG kaynak yöntemiyle elde edilir. Bu yöntemde, diğer kaynak usullerine göre, daha yüksek bir kaynak hızı, iyi bir nüfuziyet ve yüksek kaynak kalitesi elde etmek mümkündür. ITAB örtülü elektrot ve oksi-asetilen kaynaklarından daha küçük olur. Düşük ısı girdisinden dolayı MIG yöntemi kaynak bölgesinde daha az çarpılmaya neden olur. Aynı zamanda kaynak uygulaması kaynakçı için diğer yöntemlere göre çok daha kolaydır. Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan MIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine olan üstünlükleri şunlardır:

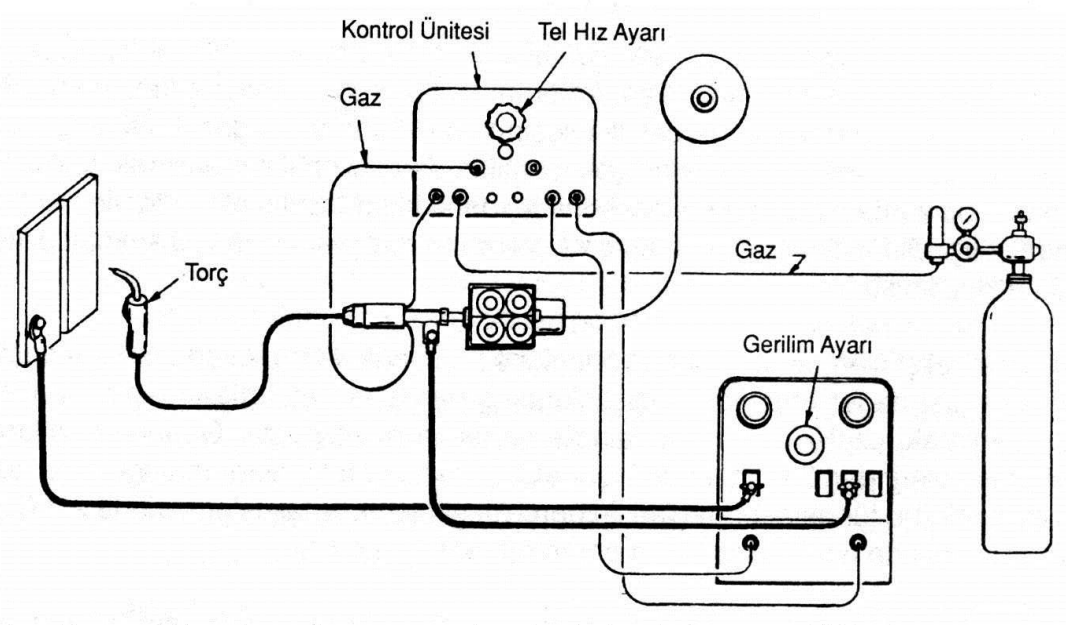
1. Gayet mükemmel bir kaynak dikişi elde edilir.
2. Kaynak sırasında ayrı bir dekapana ihtiyaç yoktur.
3. Kaynağın uygulanması diğer yöntemlere göre kolaydır.
4. Dekapan kullanılmaması, dekapan kalıntılarının sebep olduğu korozyon oluşumu tehlikesini ortadan kaldırır.
5. Kaynak sonrasında aşırı bir temizliğe (cüruf) ihtiyaç duyulmaz.
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 ergitme kaynağından azdır.
9. Diğer kaynak yöntemlerinden daha yüksek hızda kaynak yapılır. Kesintisiz sürekli dikişler elde edilebilir.
10. Sınırsız kalınlıkta kaynak yapmak mümkündür. Ayrıca kalın parçaların kaynağında yüksek akım uygulayarak ön ısıtmasızda birleştirme yapma imkanı vardır.
11. İyi bir ark kararlılığı oluşturulabilir.

12. Otomatik olarak çalışabilinir.
13. Isıdan etkilenen bölgenin boyutları oksi-yanıcı gaz kaynağı ve örtülü elektrot ile yapılan ark kaynağından daha küçüktür.

MIG kaynak donanımı şu kısımlardan meydana gelir:

1. Kaynak akım üreteci.
2. Kaynak torcu (hamlacı).
3. Tel halindeki elektrodu, kaynak akım kablosunu, soğutma suyunu bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum.
4. Tel elektrod ilerletme mekanizması.
5. Tüm sistemin tek bir elden çalışmasını sağlayan kumanda kutusu.
6. Üzerinde gaz basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.
7. Kutuplama tertibatı ve akım iletim kabloları.



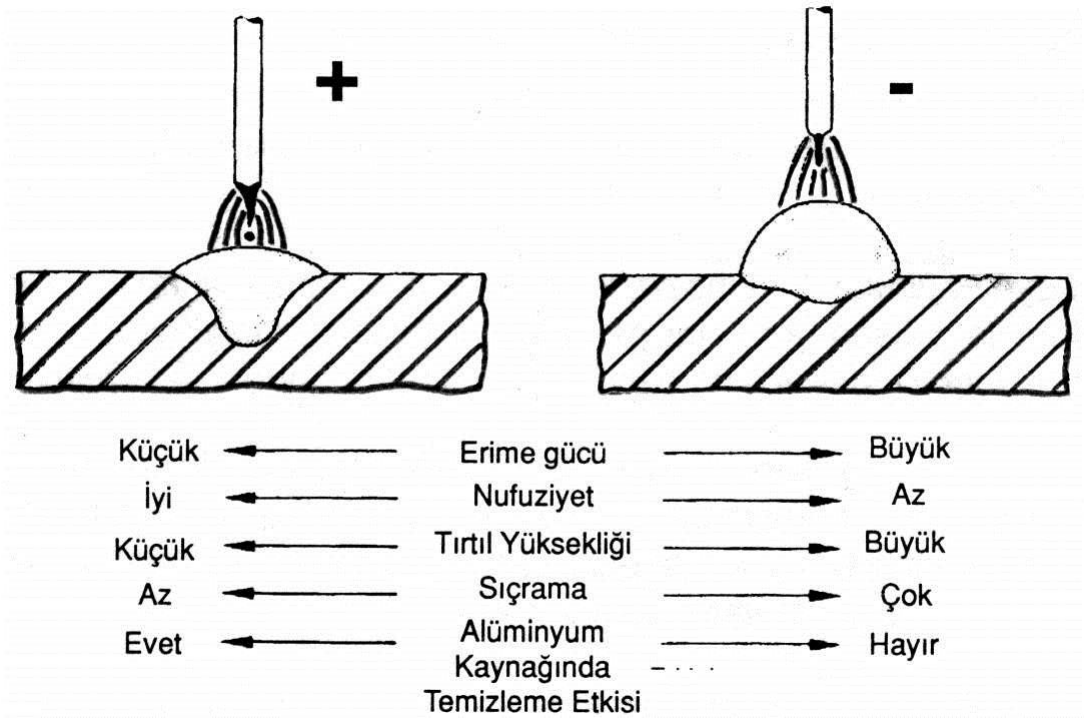


Şekil 3.1. MIG kaynak donanımı [9]

Elektrodun kolaylıkla eriyebilmesi ve verimin arttırılması yönünden örtülü elektrod ile yapılan kaynağa nazaran daha yüksek bir akım yoğunluğu ile çalışılır. Akım yükseldikçe birim zamanda yığılan kaynak metali miktarı artar ve yüksek yığma hızlarına ulaşılır. Kaynak hızının yüksek oluşu daha az çarpılma, daha yüksek dayanım ve diğer eritme kaynak yöntemlerine göre düşük maliyet sağlar. Ark boyunun sabit kalması için sürekli olarak eriyen kaynak metali miktarına göre elektrod telinin, kaynak makinası tarafından otomatik ilerletilmesi, bu yöntem ile kaynakçının çalışma şartlarını kolaylaştırır. [1]

3.2.1. MIG Kaynak Akım Üreteçleri

MIG kaynak yönteminde doğru akım kullanılır ve genellikle elektrod pozitif kutba bağlanır (ters kutuplama) ve bu şekilde ark kararlı halde yanar ve kaynak dikişinde derin bir nüfuziyet sağlanmış olur. Doğru kutuplama yapılırsa, yani elektrodun negatif kutba bağlanması ile de kaynak yapılabilir, ancak bu halde banyonun yüzeyinde oluşan oksit tabakasının parçalanması sağlanamadığından, alüminyum ve alaşımları için kullanılamaz.



Şekil 3.2. MIG kaynağında kutuplamanın etkisi

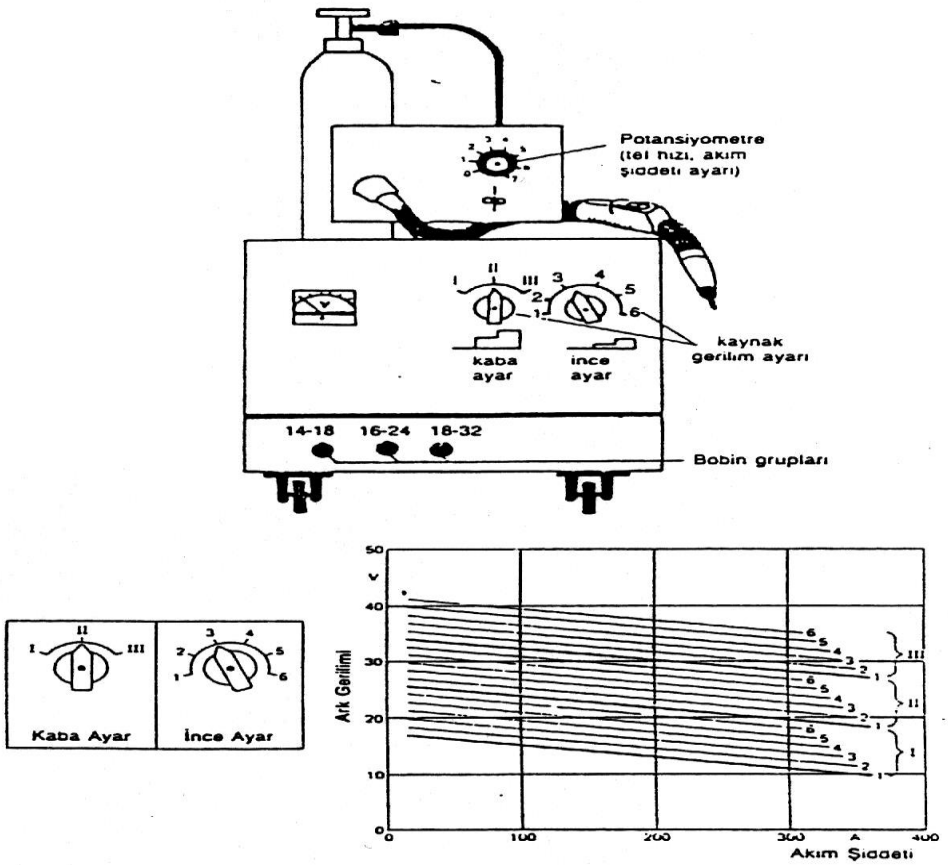
MIG kaynak yönteminde ark boyu zamana bağlı olarak bir miktar değiştiğinden, az veya çok miktarda bir akım dalgalanması ortaya çıkar, bu bakımdan akım üretecinin karakteristiğinin buna uygun olması gereklidir. Düşen (alçalan) karakteristikli jenaratör veya redresörler büyük miktardaki akım dalgalanmalarına karşı büyük tepki gösterirler. Bunun için sabit (yatay) tip karakteristikli akım üreteçleri geliştirilmiştir. Bu makinalar her ne şartlarda olursa olsun, çok kısa süreli elektrod temaslarında, çok yüksek kısa devre akımı verirler ve bu esnada elektrodun ucu buharlaşır ve ark tutuşur.

Düşen tip karakteristikli kaynak makinalarında, akım şiddeti ayar alanı buna karşı sabit karakteristikli makinalarda ise, akım ayarı yerine ark gerilimi ayarı mevcuttur. Sabit tip statik karakteristikli akım üreteçleri MIG kaynağı gibi yarı otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılmaktadır.

Günümüz teknolojisinde 160A-600A kadar akım verebilecek gaz altı kaynak redresörleri yapılmaktadır. MIG kaynağında sabit gerilimli (yatay karakteristikli) kaynak makinaları ince kaynak telleri (0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.4 mm.) ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Sabit gerilimli gaz altı kaynak makinalarında gerilim ayar alanı minimum 14 volt maksimum 42 volt arasında değişebilmektedir. Gerilim ayar alanı

ne kadar fazla olursa uygun çalışma noktasının belirlenmesi kolay olur. Genelde bu makinalar 3 kaba 6 adet ince olmak üzere toplam olarak 18 kademe gerilim imkanı verir.

Sabit gerilimli diye isimlendirilen bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün değildir, her 100 A için 7 V kadar ark gerilimi düşmesine müsaade edilir, kaliteli akım üreteçlerinde bu değer 2 ila 5 V arasındadır.



Şekil 3.3. MIG kaynak makinasında ayarlar [2]

Bu tip kaynak akım üreteçlerinde, iç ayar diye isimlendirilen Δt ark boyu ayarı vardır. Bu tür üreteçlerde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak akım şiddeti ayarlanır. Bu makinalarda tel ilerletme motoru, ergime gücüne uygun bir şekilde seçilmiş sabit devir ile döner diğer bir deyişle tel hızı sabittir. Kaynak esnasında herhangi bir neden ile ark boyu uzadığı zaman, akım şiddeti azalır ve buna bağlı olarak da ergiyen tel miktarı azaldığından ark normal boyuna döner , ark

boyunun kısalması halinde ise akım şiddeti artar ergiyen tel miktarı da bağıl olarak artacağından sonuçta ark boyu normal hale gelir.

MIG kaynağında ideal bir kaynak yapabilmek için akım ve voltaj parametrelerinin iyi ayarlanması gerekir. Aşağıdaki tabloda tel çapına ve ark cinsine göre akım ve gerilim değerleri görülmektedir.

Tablo 3.1. Tel çapına ve ark cinsine göre akım ve gerilim değerleri [10]

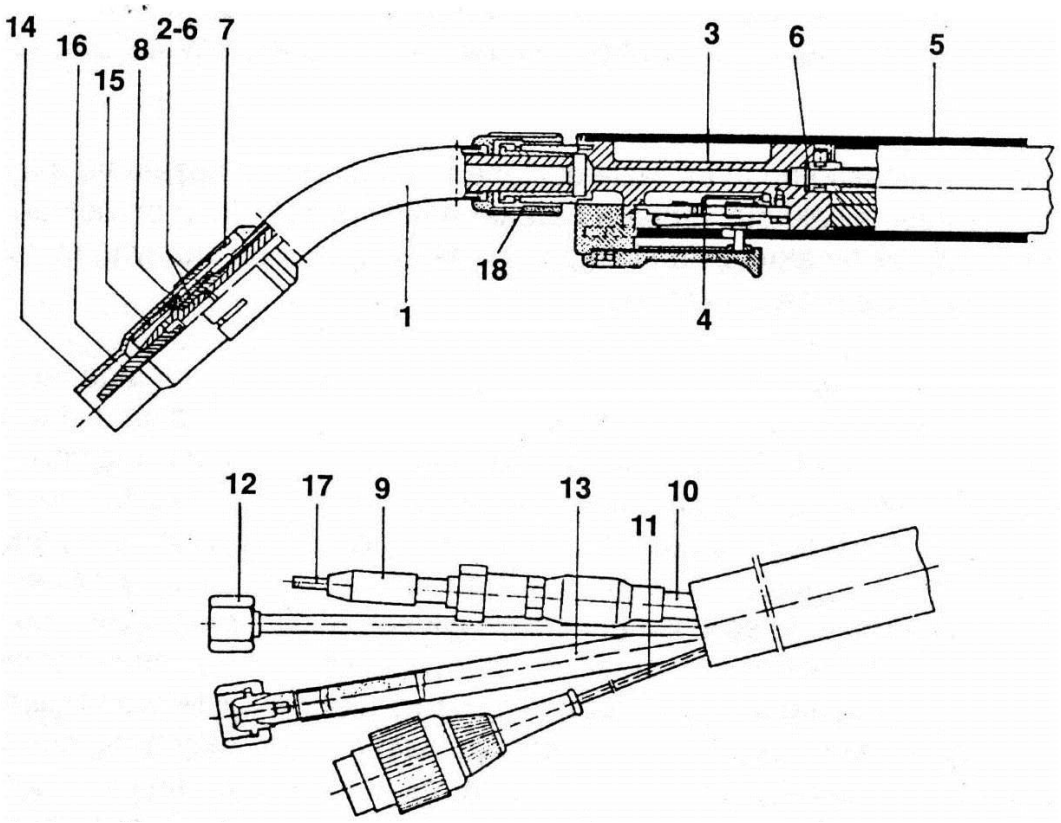
Tel Elektrod	Ark Tipleri			
Çapı	Uzun Ark	Sprey Ark	Kısa Ark	
Mm	Akım (I)	Volt (V)	Akım (I)	Volt (V)
0.8	140-180	23-28	50-130	14-18
1	180-250	24-30	70-160	16-19
1.2	220-320	25-32	120-200	17-20
1.6	260-390	26-34	150-200	18-21

3.2.2. Kaynak Torçları

MIG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi, ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir. Kaynak işleminde kullanılan akımın şiddetine ve kaynak yönteminin otomatik veya yarı otomatik olma durumuna göre çeşitli tür ve büyüklükte torçlar geliştirilmiştir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gerekir; düşük akım şiddetinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğutmayı yapabilmektedir. Büyük çaplı elektrodlar, yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde ise (I > 250A) su ile soğutma gerekmektedir. Arkın çok yakınında bulunması nedeni ile özellikle, yarı otomatik yöntemlerde operatörün sıcaklıktan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi için çeşitli biçimde torçlar geliştirilmişse de, günümüzde en çok kullanılan torçlar hafif bükülmüş şekildedir. Otomatik kaynak işlemleri ile alüminyum ve alaşımlarının kaynağında düz torçlar tel elektrodun spiral içinde itilerek kolayca sürülebilmesi için düz boyunlu torçlar tercih edilirler.

MIG yönteminde elektrod sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi kayar bir temas elemanı ile sağlanır. Tel torcu terk etmeden evvel bakır esaslı bir akım memesi içinden geçerken kaynak akımı ile yüklenir, bu kontak lülesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunur. Bu lüle sayesinde koruyucu gaz

akımı laminer olarak (girdapsız) kaynak bölgesine sevk edilir. Kaynak işlemi sırasında nozül ve memeye yapışan, sıçrayan metal damlacıkları, koruyucu gazın laminer akımını bozar ve bu da kaynak bölgesinin iyi korunmamasına neden olur. Bu bakımdan kaynak sırasında sıçramanın fazla olduğu durumlarda torç sık sık kontrol edilip temizlenmelidir. [9]



1. Torç boynu
2. Akım memesi tutucusu
3. Torç gövdesi
4. Torç şalteri
5. Kabza
6. Conta
7. Bağlama ringi
8. İzolasyon yüksüğü
9. Kılavuz lülesi
10. Kılavuz hortumu
11. Şalter kablosu
12. Gaz hortumu
13. Akım kablosu
14. Gaz nozulü
15. İzolasyon ringleri
16. Akım memesi
17. Elektrod kılavuzu (spiral)
18. Torç bağlantı rekoru

Şekil 3.4. Hava soğutmalı bükülmüş torç kesiti ve bağlantı paketi

3.2.3. MIG Kaynak Telleri

Alüminyum alaşımlarının eritme kaynağında kaynak teli seçimi kaynak kalitesi yönünden oldukça önemlidir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynak tellerinin ana alaşım elementleri magnezyum, çinko, silisyum ve bakırdır. Bu elementleri eklemenin en önemli nedeni alaşımın mekanik özelliklerini ıslah etmektir. Doğal olarak bu işlem yapılırken ortaya çıkan alaşımın korozyon direnci, kaynak kabiliyeti, çatlak oluşturma hassasiyeti, çalışma sıcaklığı, sünekliği ve dayanımıda göz önünde bulundurulur. Esas malzemenin kimyasal bileşimi, mekanik özellikleri ve kaynak bağlantısının zorlanma durumu göz önünde bulundurularak en uygun kaynak teli seçimi yapılır.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan kaynak telleri ana metal ile aynı bileşimde olduğu taktirde kaliteli bir kaynak ve süneklik elde edilir. Bunun yanında ilave metalin, ana metalden farklı olabilmesi söz konusudur. Örneğin bir metalin mukavemetinin, sünekliğinin, korozyona dayanıklılığının arttırılması için kullanılan teller daha önce laboratuar şartlarında bulunmuş olup bunların kullanılması tavsiye edilmektedir. Genellikle bir tür tel birden fazla alaşım ile kullanılabilmektedir önemli olan kaynaklı bağlantıdan beklenilen özelliklerin tespit edilmesidir. Alüminyumun eritme kaynağında kaynak telinin doğru belirlenmesi metallerarası bileşikleri ve nispeten düşük sünekliği önler. Kaynağın sünekliği ana metal ile kaynak telinin dikişteki dağılımına bağlıdır.

İyi bir kaynak metalinin kalitesi ancak ilave metalin temiz ve yüksek kalitede olması halinde elde edilir. Telin temiz olmaması halinde kaynak telinin geniş yüzey alanından dolayı yığılan kaynak metaline bağlı olarak yüksek oranda tel tüketimi kaynak banyosuna büyük miktarda kirlilik bulaştırır. İlave metal telinde bulaşıcı maddeler çoğu kez bir yağ veya hidrat oksittir. Kaynağın ısısı bu maddelerden hidrojeni serbest bırakır, böylece kaynakta gözeneklilik meydana gelir. Depolama esnasında kaynak tellerinin nemlenmesi ve kirlenmesi önlenmelidir. [10]

Tablo 3.2. Çeşitli alüminyum alaşımları için önerilen kaynak telleri [5]

Ana Metal	Önerilen İlave Metal	
	Maksimum mukavemet	Maksimum süneklik
1100	1100, 4043	1100, 4043
2219	2319	(1)
3003	5183, 5356	1100, 4043
3004	5554, 5356	5183, 4043
5005	5183, 4043, 5356	5183, 4043
5050	5356	5183, 4043
5052	5356, 5183	5183, 4043, 5356
5083	5183, 5356	5183, 5356
5086	5183, 5356	5183, 5356
5154	5183, 5356	5183, 5356, 5654
5357	5554, 5356	5356
5454	5356, 5554	5554, 5356
5456	5556	5183, 5356
6061	4043, 5183	5356
6063	4043, 5183	5356
7005	5039	5186, 5356
7039	5039	5183, 5356

(1)Bu ana metalin kaynağının sünekliği kaynak teli tarafından önemli ölçüde etkilenmez.

Uygun kaynak teli seçilmesiyle alüminyumun kaynağında çatlama sorun oluşturmamaktadır. Bu maksatla 2219 (% 6.3 Cu) alaşımında 2319 kaynak teli, 3003, 6063, 6061, 1100 alaşımlarında 4043 kaynak teli, 5052, 5086, 5083, 5454, 5456, 7005, 7039 alaşımlarında 5356 kaynak teli kullanılmalıdır. Alüminyum alaşımlarının eritme kaynağında az sayıda kaynak teli kullanılabilirliliği bu alanda araştırmaları geliştirmiştir. Genel olarak tüm alüminyum alaşımlarının eritme kaynağında kullanılabilen iki tür kaynak teli 5356 ve 5183 alaşımlarından imal edilenlerdir. Kaynak tellerinin bileşimini ana metalin kaynak edilebilirliği, kaynak metalinin sahip olması gereken minimum mekanik özellikleri ve korozyon direnci belirler.

Tablo 3.3. Kaynak tellerinin bileşimi [11]

Kaynak Teli	Bileşimi %
1100	1.0 Si+Fe, 0.05-0.20 Cu, 0.05 Mn, 0.1 Zn, 99.00 Al(min)
1260	0.4 Si+Fe, 0.04 Cu, 0.01 Mn, 99.60 Al (min)
2319	0.2 Si, 0.3 Fe, 5.8-6.8 Cu, 0.2-0.4 Mn, 0.02 Mg, 0.1 Zn, 0.1-0.2 Ti
4043	4.5-6 Si, 0.8 Fe, 0.3 Cu, 0.05 Mn, 0.05 Mg, 0.1 Zn, 0.2 Ti
5039	0.1 Si,0.4 Fe,0.03 Cu,0.3-0.5 Mn,3.3-4.3 Mg,0.1-0.2 Cr,2.4-3.2 Zn, 0.1Ti
5183	0.4 Si,0.4 Fe,0.1 Cu,0.5-1 Mn, 4.3-5.2 Mg, 0.05-0.25 Cr, 0.25 Zn, 0.15Ti
5356	0.25 Si, 0.4 Fe, 0.1 Cu, 0.05 -0.2 Mn, 4.5 -5.5 Mg, 0.05 - 0.20 Cr, 0.1 Zn, 0.06-0.2 Ti
5554	0.25 Si, 0.4 Fe, 0.1 Cu, 0.5-1 Mn, 2.4-3 Mg, 0.05-0.2 Cr, 0.25 Zn, 0.05 - 0.2 Ti
5654	0.45 Si+Fe, 0.05 Cu, 0.01 Mn, 3.1 - 3.9 Mg, 0.15 - 0.35 Cr, 0.20 Zn, 0.05 - 0.15 Ti

Tablo 3.4. Kaynak tellerinin dayanımı

Kaynak teli	Minimum kayma dayanımı (MPa)	Kaynak metali maksimum çekme dayanımı (MPa)
1100	52	93
2319	110	258
4043	79	200
5183	128	283
5356	117	262
5554	117	230
5556	138	290
5654	83	221

3.2.4. Koruyucu Gazlar

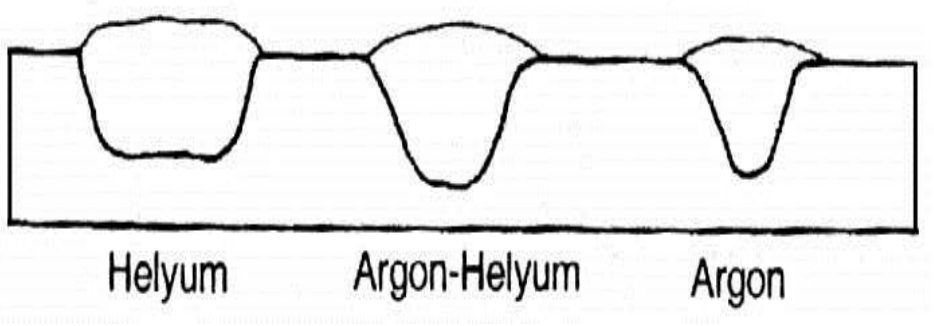
Ark bölgesini tamamen örtmek ve atmosferin olumsuz etkilerinden korumak, kaynak arkına kararlılık, iyi bir mukavemet için ilave metale uygun transfer sağlamak, iyi nüfuziyet oluşturmak, hava ortamından daha kolay oluşturulan iyonizasyonu sağlamak koruyucu gazdan beklenilen özelliklerdir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynaklanmasında koruyucu gaz olarak argon, helyum ve bu iki gazın karışımları kullanılır. Argonun düşük ark sıcaklığından dolayı ve kaynak banyosunun çabuk soğumasından dolayı nüfuziyeti azdır, daha ince metallerin kaynaklanmasında

kullanılır. Alüminyumun kaynağında tercih edilen sprey ark sadece argon gazıyla sağlanır. Oksit tabakasının temizlenmesi sadece argon gazının kullanılmasında sözkonusudur. Bu temizleme işleminin gaz iyonlarının metal yüzeyine çarpmasının, metalden ayrılan elektronların veya her ikisinin birlikte oluşması sonucunda meydana geldiği açık değildir. Ayrıca, argon daha yumuşak ve kararlı bir ark sağladığından helyuma nazaran daha az kaynak sıçraması oluşturur. Argon havadan % 38 civarında daha ağır olduğundan yatay pozisyonda kaynak bölgesine etkin bir koruma sağlamasına karşılık dikey pozisyonda tavsiye edilmez. Argon gazının güvenilir şekilde kullanılabilmesi için %99.99 saflık değerinde olması gerekir.Argon, helyumdan daha yoğun olduğundan helyuma kıyasla daha az kullanılarak kaynak yapılır. Argon havanın ayrıştırılmasıyla elde edildiğinden bol miktarda bulunur. [10]

Helyum atmosferi ısıyı iyi ilettiğinden (iyonlaşma potansiyeli yüksek olduğundan) oluşan ark daha sıcak olur ve bunun sonucunda nüfuziyeti derin kaynak dikişleri elde edilir, daha sıcak kaynak banyosunun soğuması uzun süreceğinden aynı zamanda gözenek oluşumunu azaltır. Bu bakımdan helyumun kullanılması halinde, ısıyı iyi ileten metallerin kalın kesitlerinin kaynağında ön ısıtmaya gerek duyulmaz. Helyum kullanımı esnasında ark daha kararsız ve elde edilen kaynak dikişi helyumun temizliğe etkisinin olmamasından dolayı daha kirlidir. Saf helyumla kaynak işlemi sıçramalar içeren daha koyu renkte kaynaklar oluşturur. Helyum argondan daha hafiftir, daha yüksek akış miktarı gerektirir sarfiyatı fazladır ve pahalıdır. Bu sebeple sadece helyum çok nadir olarak kullanılır. Bunun yanısıra, bazı işlerde yüksek kaynaklama hızları ve daha az paso yapmak helyumun yüksek maliyetini azaltır.

Argon ve helyum karışımı her iki gazın sağladığı özelliklerin aynı anda elde edilebilmesi için kullanılır. Argondan % 10 fazla helyum ilavesi ark karakteristiğini belli oranda değiştirmektedir; helyumun oranının artışıyla ark gerilimi sıçrama ve nüfuziyeti arttırır. Kalın metalleri birleştirirken helyumun yüksek ark sıcaklığından yararlanmak ve saf helyumun dezavantajlarından kaçınmak için genellikle argon ve helyum karışımları kullanılır. % 75 helyum ve % 25 argon gibi helyumca zengin karışımlar 50 mm.`den kalın parçalarda kullanılır. 75 mm.`den kalın parçalarda ise helyumca zengin karışımlar nüfuziyeti arttırırken, gözenekliliği azaltır. 25 mm.`den 75 mm`ye kadar olan parçalarla çalışırken akımı, voltajı veya her ikisini birden arttırmak helyum oranının azalmasını sağlar. 1,5 mm. çaplı elektrod teli kullanılarak

yapılan alüminyum ve alaşımlarının kaynaklarında gaz akış oranları, laminer akışı gerektirdiği için fazla olmamalıdır. [1]



Şekil 3.5. Koruyucu gazların dikiş kesitine etkisi

3.2.4.1. Koruma Etkinliği

Yetersiz koruyucu gaz kullanıldığında veya gaz akışında bir değişiklik olduğunda kaynak kalitesi azalır. Düzensiz gaz akışı, pürüzlü yüzeyler, gaz tıkanması, hava akımı, nozüldeki sıçrantılardan meydana gelen türbülans gaz korumasını olumsuz etkileyen faktörlerdir.

Kaliteli MIG kaynak bağlantısı için gerekli olan nispi gaz akışı kullanılan gazın türüne, akım şiddetine, nozülün çapına, kaynak pozisyonuna, birleştirme şekline, kaynak hızına, torç ilerleme açısına, kaynak bölgesinde hava akımına bağlıdır. Hava akımı gaz kullanımını ve kaynak kalitesini önemli ölçüde etkiler. Kaynak bölgesinin hava akımına karşı korunması oldukça önemlidir; açık alanda kaynak yapılırken hava akımının tente veya uygun bir koruyucu ile gaz akışını engellemesi önlenmelidir.

Tablo 3.5. Gaz akışına etki eden faktörler[12]

Faktör	Yüksek Gaz Akışı	Düşük Gaz Akışı
Hava Akımı Hava akımı yok		*
Artan akım	*	
Gaz Türü Argon		*
Helyum	*	
Hareket Açısı 10^o sağa		*
O^o	*	
10^o sola (Tavsiye edilmez)		
Akım Yüksek	*	
Düşük		*
Nozül Çapı Geniş	*	
Dar		*
Birleştirme Şekli Düz yüzey (dolgu)	*	
Ağız veya köşe		*
Kaynak Hızı Hızlı	*	
Yavaş		*
Kaynak Pozisyonu Yatay, Tavan		*
Korniş, Düşey	*	
Kaynak Teli Çapı Dar (0.76-1.19mm.)		*
Geniş (1.5-3.1mm.)	*	
Ana Metal Kalınlığı İnce (0.5-4.3mm.)		*
Kalın (4.3-sınırsız)	*	

3.2.5. Metal Taşınımı

Katodtan (eksi kutup) elektronlar büyük bir hızla anoda (artı kutup) doğru hareket ederler ve bu hızlı hareketlerinin enerjisi ısıya dönüşür; hızlı hareket eden elektronların çarptıkları bölgede aşırı ısınır, malzeme ergir ve kısmen buharlaşır. Elektronlar hızlı hareketleri sırasında atomların dış kabuklarına çarparlar ve oradan da elektronların ayrılmasına sebep olurlar; elektron kaybeden atom iyon haline

gelmiş, pozitif yüklüdür ve hızla katoda doğru gider ve oranın ısınmasına neden olur. Bu şekilde ergime ve buharlaşma sürekli devam eder.

Elektronların ve iyonların elektrik alanı içinde hareketleri bir ark sütunu oluşturur; buna plazma denir. Burada görülen iyonların çok azı kullanılan koruyucu gaza aittir, bunlar metal alaşımlarından oluşmuşlardır. Koruyucu gazın türü ve bileşimi dikişin biçimine ve ark içinde metal taşınımına etki eder.

Ark içinde metal taşınım türüne şu faktörler etki eder :

1. Kaynak akım şiddeti
2. Tel elektrod çapı
3. Elektrodun bileşimi
4. Serbest tel uzunluğu
5. Koruyucu gazın türü

Kaynak arkı da elektrik iletkeni olduğundan etrafında bir manyetik alan oluşur; akım yoğunluğu yükseldikçe radyal büzülme kuvvetini oluşturan manyetik alanın şiddeti artar ve bu olaya Pinch-Efekt adı verilir. Arkın bu kısımlarında özellikle elektrod ucunda akım yoğunluğu fazla olduğundan en şiddetli büzülme kuvveti bu kısımda oluşur ve bu da telin ucunda ergimiş olan metalin damla haline geçişini kolaylaştırır.

3.2.5.1. Damlasal Metal Taşınımı (Uzun Ark)

Damlasal metal taşınımında elektrodun ucunda eriyen metal damlalar halinde kaynak banyosuna geçer; kaynak dikişinin nüfuziyeti çok azdır. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrodun uç kısmında ergime başlar ve bir damlacık oluşur; bu damlacık yer çekimi etkisiyle parçaya doğru hareket etmek ister buna karşın yüzey gerilimi etkisiyle elektrodun ucundan kopamaz, irileşir ve çapı elektrod çapından daha büyük olduktan sonra büzülme (pinch) kuvveti ve yer çekimi etkisiyle elektrodtan koparak düzgün olmayan bir biçim alır; zayıf bir elektromanyetik kuvvet ve yer çekimi etkisinin yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer. Damlaların taşınım frekansı akım şiddeti ve ark gerilimine bağlı olarak değişir; buna rağmen damla taşınımı hızlı değildir. Ark geriliminin alt sınırlarında çalışma halinde, ark boyu kısaldığından bazen kısa devre oluşumu ile karşılaşılır; bu da çok fazla sıçrantıya ve kaynak dikişinin görünüşünün bozulmasına neden olur. Normal koşullarda, ark geriliminin yüksek olması nedeni ile ark boyu uzundur ve dolayısı ile normal halde damla banyoya taşınırken kısa devre oluşumu çok düşüktür.

3.2.5.2. Kısa Devreli Metal Taşınımı (Kısa Ark)

Kısa devreli metal taşınımı ince elektrodlar (0.6-1.2 mm.) ile kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti kullanılarak kaynak yapıldığında karşılaşılan bir taşınım şeklidir. Burada ark oluşunca elektrodun uç kısmı hemen ergimeye başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık banyoya doğru akarken elektrod ve parça arasında kısa devre oluşur, ark gerilimi düşer, akım şiddeti yükselir, damla elektroddan kopar ve kısa devre son bulur. Kaynak metali parçaya sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti,ve metal taşınımının kısa devre sırasında gerçekleşmesi sonucu parçaya uygulanan ısı girdisi çok düşüktür, nüfuziyet az olur; bu bakımdan ince parçaların kaynağı ve çarpılma tehlikesinin büyük olduğu haller için çok uygun bir ark türüdür. Kaynak banyosunun çok büyük olmaması ve hemen katılaşması nedeni ile dik ve tavan kaynakları ve de geniş kök aralıklarının örtülmesinde de uygun bir yöntemdir.

3.2.5.3. Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı)

Bu metal taşınım türü alüminyumun MIG kaynak yönteminde en etkin ve oldukça geniş uygulama alanı bulmuş olan metal geçiş türüdür. Kaynak metali parçaya birbirini takip eden ince damlacıklar halinde taşınmaktadır. Sprey ark, genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gazlarla yüksek akım şiddeti ile yüksek ark gerilimi kullanıldığında oluşur, derin nüfuziyet elde edilir. Yüksek akım şiddetinde oluştuğundan kalın parçaların kaynağı için uygundur ve sıçrantı çok azdır. Sprey ark için gerekli akım ve voltaj değerlerinin altına düşüldüğünde taşınım şekli damlasala dönüşür. Damlasal metal taşınımı alüminyum kaynağında ana metal ile yetersiz ergime sebebiyle uygun değildir. Akım değeri sprey taşınım için uygun fakat gerilim düşük olduğu durumda kısa devre metal taşınımı olur. Bu taşınım şekli de yine yetersiz ergime sebebiyle uygun değildir. [9]

3.2.6. Kaynak Tasarımı ve Ağız Şekilleri

Uygulanacak kaynak işlemi için uygun birleştirme türünün belirlenmesine çalışma şartları, ulaşılabilirlik, kaynak yöntemi ve donanımı, kaynak pozisyonu ve maliyet etki eder. Birleştirme türünün belirlenmesinde çalışma şartlarının özellikle ihtiyaç duyulan birleştirme dayanımının tesbitinde yüklemenin türü (dinamik, statik veya

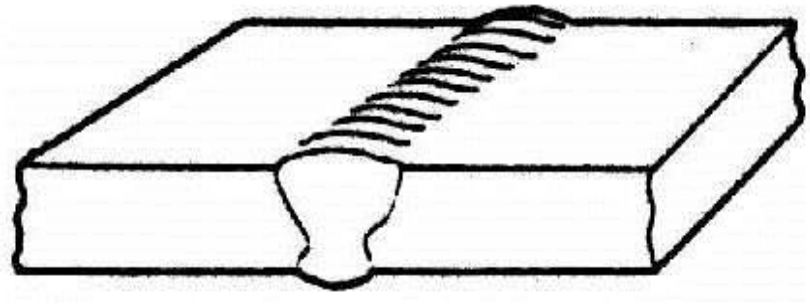
her ikisi birlikte) ve uygulanan gerilmelerin yönü (çekme, kayma, bükme, burulma)` nın belirlenmesi gerekmektedir.

Yapılacak birleştirmenin en az maaliyet ile gerçekleştirilebilmesi için kaynak tasarımı dikkatle göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin 90^o tek V alın kaynak ağzı 38 mm kalınlıktaki levhalar için kullanılabilir fakat 70^o çift V alın kaynağı uygulanması halinde daha az kaynak teli tüketimi ile maaliyet düşürülür. Çift V kaynak ağzı aynı zamanda levhanın çarpılmasını azaltır. Kaynak metali tasarrufunu sağlayan bu kaynak ağzı türü levhaların ters çevrilerek arka kısmın kaynaklanması için zaman kaybına ve kaynak ağzı hazırlığından dolayı maaliyeti arttırır. Farklı kaynak yöntemleri birleşim tasarımının seçiminde doğrudan etkisi olan belirgin özelliklere sahiptir. Örneğin alternatif akım TIG kaynak usulü sınırlı nüfuziyet özelliğinden dolayı 25- 38 mm. kalınlığındaki levhaların küt alın kaynağına uygun değildir.

3.2.6.1. Birleştirme Türleri

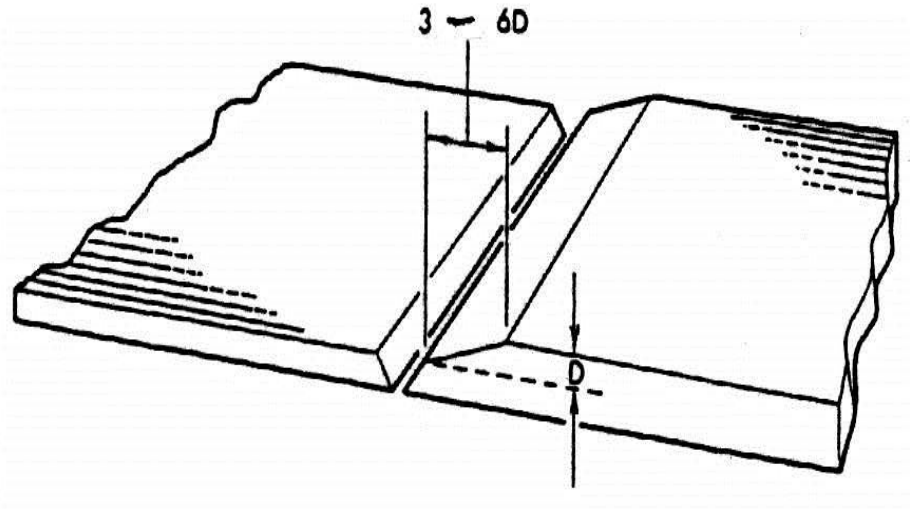
Ergitme kaynağında alın, T, bindirme, köşe ve kenar olmak üzere beş çeşit birleştirme türü vardır. Alın, T ve bindirme türü birleştirmeler daha büyük dayanıma sahip olduklarından alüminyum yapılarda köşe ve kenar bağlantılarına nazaran daha geniş çaplı uygulama alanı bulmaktadır.

Alın Birleştirme : Yüksek yorulma dayanımından ötürü dinamik yükler altında çalışacak birleştirmeler için en uygun yöntemdir. Alaşımın türüne, temperine ve kullanılan kaynak teline bağlı olarak alın birleştirme, alüminyumun eritme kaynağında ana metalin akma dayanımına % 90-100 oranında ulaşmaktadır. Alın birleştirme, uygulanan gerilmelere diğer tek taraflı birleştirmelere nazaran fazla dayanım göstermesinden dolayı en güvenilir yöntemdir. Alın birleştirme 6.5 mm. ve daha kalın levhaların birleştirilmesinde hassas hizalama, açıklık ayarı ve yüzey hazırlığı gerektirmesine rağmen, uygulanmasının mümkün olduğu ve üstün özelliklerine ihtiyaç duyulduğu durumlarda, güvenilirliğinin ilave maaliyete üstünlük sağlamasıyla tercih edilir. Alın birleştirme levhaların birleşme noktasında aynı düzlemde olmaları halinde uygulanır.



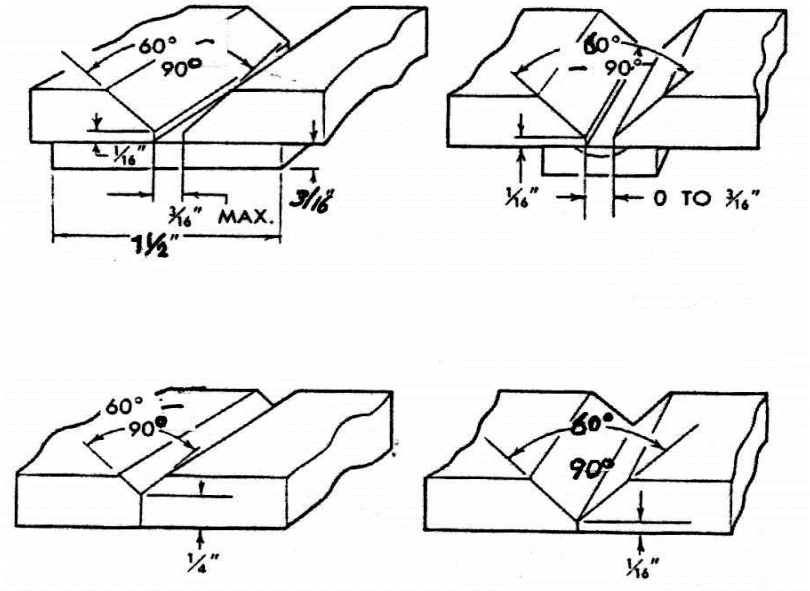
Şekil 3.6. Alın birleştirme

Alüminyumun eritme kaynağında alın birleştirme uygulanması halinde levhaların eşit kalınlıkta olması tercih edilir. Farklı kalınlıktaki levhaların kaynaklanması durumunda kalın olanın, çentik ve yanma oluklarının önlenebilmesi için ince olan ile aynı ölçülere inceltilmesi gerekir.



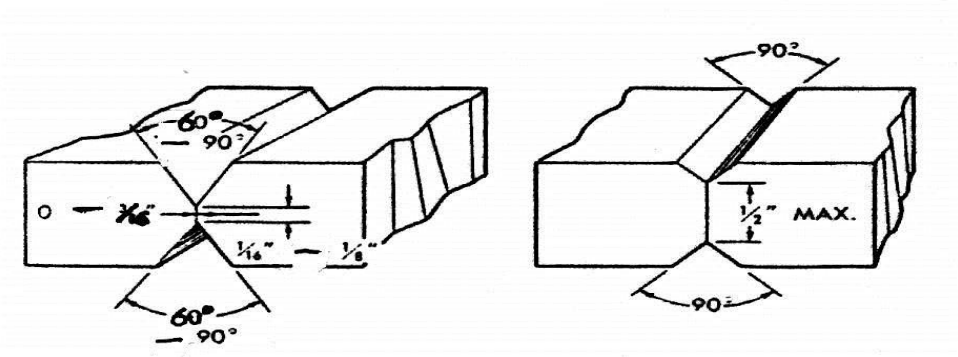
Şekil 3.7. Farklı kalınlıktaki levhaların kaynağında kalın olanın inceltilmesi

Tek ve Çift V Alın Birleştirme : Tek V birleştirme alüminyum alın kaynağında kaynak işleminin tek taraftan yapılması ihtiyacını karşılamak ve çok pasolu kaynak, gerekli olduğunda planlanır. Tek V birleştirme genellikle 19 mm. kalınlığa kadar uygundur; daha kalın levhaların kaynağında çift V veya U birleştirme gerekli olan kaynak metali hacmini ve çarpılmayı azaltmak maksadıyla tercih edilir. Alüminyumun tek ve çok pasolu kaynağında kullanılan tek taraflı V birleştirme şekilleri aşağıda görülmektedir.

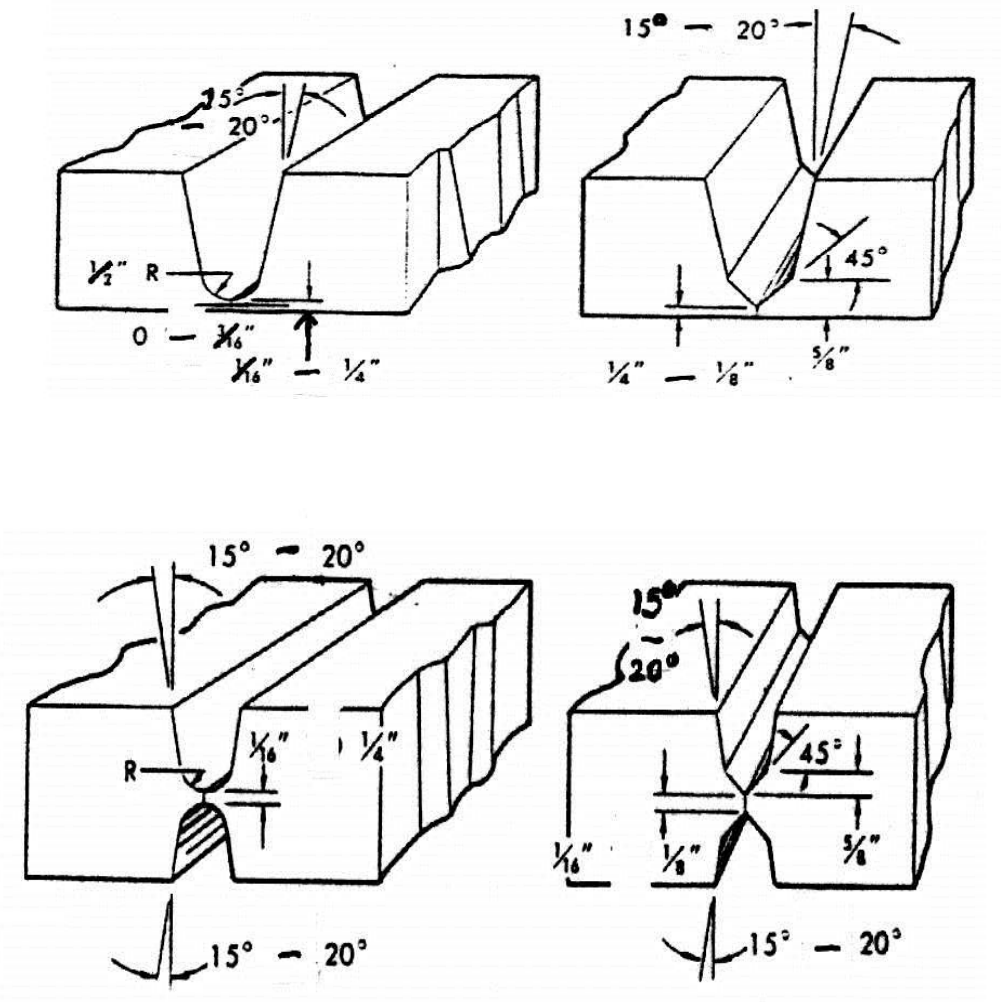


Şekil 3.8. Tek V birleştirme

Çift V kaynak ağzı her iki taraftan kaynak yapmanın mümkün olduğu kalın parçalar için uygulanır; aynı kalınlık için tek V kaynak ağzında ihtiyaç duyulan kaynak telinden daha azı kullanılır. Çift V kaynak ağzı kalın levhaların kaynağında çarpılma miktarını azaltır.

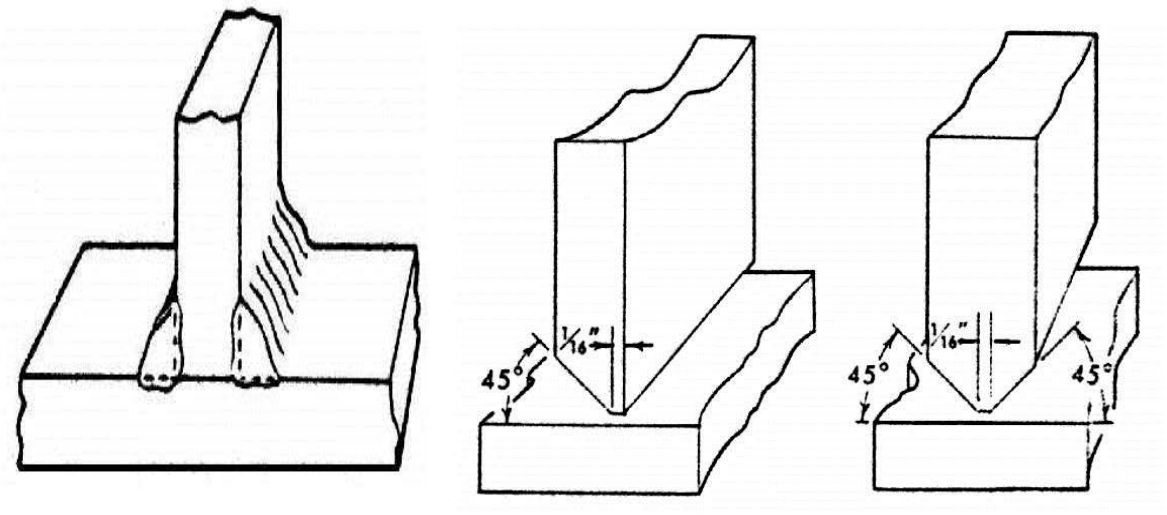


Şekil 3.9. Çift V birleştirme



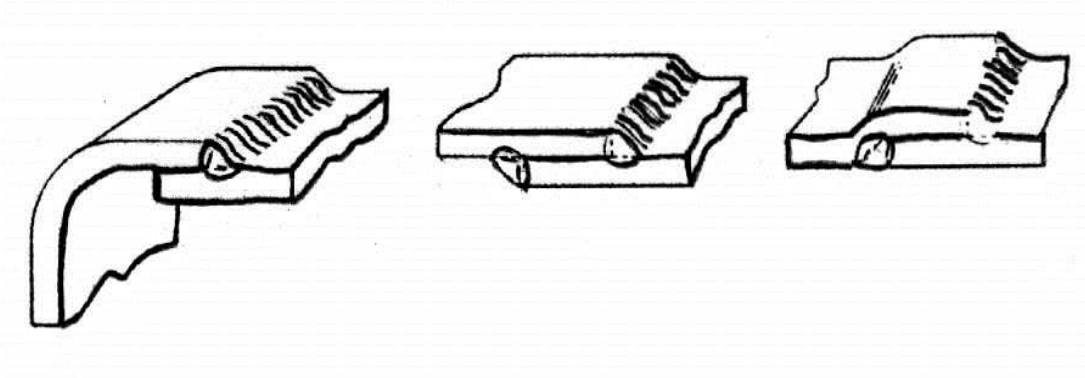
Şekil 3.10. Tek ve çift U birleştirme

T Birleştirme : Eğme gerilmelerinde eksantrikliğin önlenmesi için T birleştirmenin dip kısmında her iki yandan köşe kaynağı yapılması gerekir. Eğer birleştirmenin dik kısmı basma gerilmesi uygulaması halinde köşe kaynakları yanal hareketi engeller ve basma gerilmelerinin etkisini azaltır, aynı zamanda yüzey hazırlama işlemine ihtiyaç duyulmaz. T birleştirme çekme gerilmelerinin uygulanması durumunda da kolaylıkla uygulanabilir ancak levhalardaki maksimum çekme gerilmesi dayanımı için kalınlığın 6.5 mm den fazla olması gerekir, ayrıca ayak kısmı eğiklik verilerek hazırlanmalıdır. Tam nüfuziyet ihtiyacı halinde dik plakanın ucu eğimli hale getirilir. Torcun ulaşabilirliğinin sağlanması için kenarlar geniş açılı olarak hazırlanmalıdır.



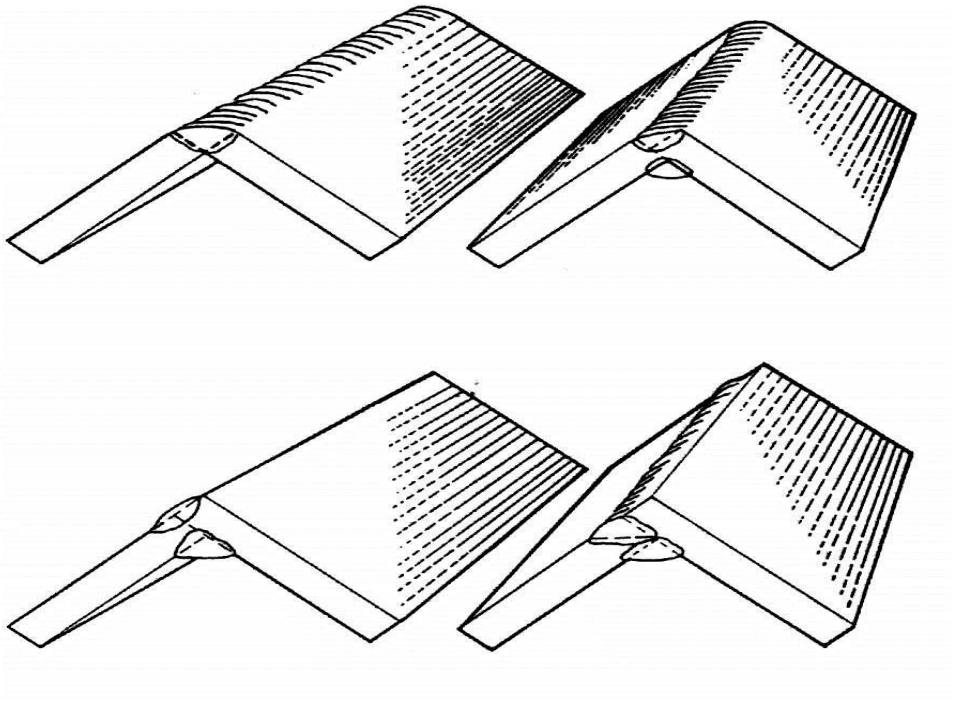
Şekil 3.11. Ağız açılmış ve düz T birleştirme

Bindirme Birleştirme : Kenarların hizalanmasının sorun olduğu, düz görünümün önemsiz olduğu ve yüklemenin statik yapılı olduğu durumlarda tek taraflı destek plakalı veya çift köşe bindirme kaynağı alın birleştirme yerine kullanılabilir. Bindirme kaynağında çoğu zaman yüzey hazırlığına gerek duyulmaz. Çift köşe bindirme kaynağı çoğu özel hallerde diğer birleştirmelerin ekonomik olmadığı durumlarda kullanılabilir. Çatlak (crevice) korozyonunun olabileceği veya kaynak ekseninin kökte çekme gerilmesi oluşturabileceği hallerde tek taraflı bindirme birleştirmesi uygulanmamalıdır.



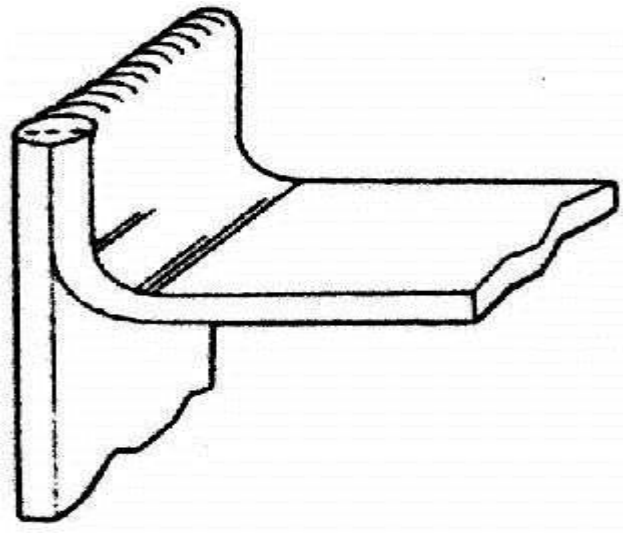
Şekil 3.12. Tek ve çift taraflı bindirme birleştirme

Köşe Birleştirme : Köşe birleştirme alüminyum parçaların bir köşede kesişmeleri durumunda tatbik edilir. Dinamik yüklemelere veya basınca maruz kalan kısımlarda T ve bindirme, köşe birleştirmeye tercih edilir.



Şekil 3.13. Köşe birleştirme çeşitleri

Kenar Birleştirme : Kenar birleştirme iki plakanın kenarlarının yanyana ve kaynak noktasında yaklaşık aynı düzlemde olmaları halinde kullanılır. [12]



Şekil 3.14. Kenar birleştirme

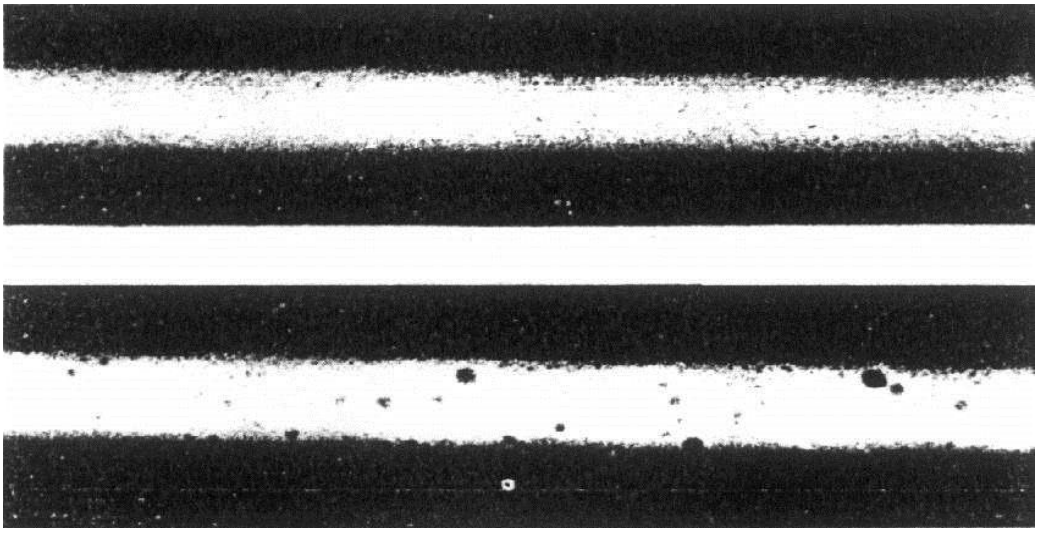
Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında kaynak ağızları, kaynatılacak parçalardan beklenen mukavemete göre, parça kalınlıklarına ve kaynak pozisyonuna göre, aynı zamanda alüminyum ve alaşımlarının kendine has özelliklerini etkilemeyecek şekilde hazırlanmalıdır.

Tablo 3.6. Alüminyumun MIG kaynağında kullanılan kaynak ağzı şekilleri[9]

s mm		b mm	c mm	α (°)
1...4		0...0,25 s	-	-
5...10		< 1,0	-	-
5...12		< 1,0	2,5	90°
5...20		< 1,0	2,5	60°
> 10		< 1,0	2,5	90°
> 10		< 1,0	3	60°
> 6		5...10	2	40°
> 18	50 × 12	5...7	5	70°
> 30		-	-	90°

3.2.7. Kaynak Öncesi Temizlik

Alüminyum ve alaşımlarının kaynak edilecek parçaları, iyi bir temizlik işlemi ve gerekli olan hazırlıklar yapıldıktan sonra kaynak işlemine başlanır. Kaynatılacak parçaların yüzeyinde bulunabilecek gres, yağlar, toz ve kir kaynağın içerisinde boşluklar oluşmasına sebep olur. Kaynak edilecek parçalara daha önceden biçimlendirme, kesme, ve diğer makine işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemler esnasında yağ kullanılmış ise yüksek kalitede kaynaklı birleştirmenin gerçekleştirilebilmesi için malzemenin yağ kalıntılarından tamamen arındırılması gerekmektedir. Kaynak öncesi bütün yağ kalıntılarının temizlenmesi gerektiğinden, daha önce yapılan tüm şekillendirme ve hazırlama safhalarında minimum seviyede yağ kullanılması gerekliliği akılda tutulmalıdır. Kesilmiş kenarların pürüzsüz olması gerekir, aksi halde temizleme tam olarak gerçekleştirilemez. Aşağıda MIG yöntemiyle kaynak edilmiş yağ kalıntılı levha ile temiz levha görülmektedir.



Şekil 3.15. Temiz ve yağlı levhaların kaynak radyografisi

Hidrojen ve oksijen kaynak metalinde gözenekliliğe ve kalın metal oksit parçacıklarının oluşumuna neden olur. Oksit ve yağ filmi oksijen ve hidrojen içerirler kaynak edilecek yüzeylerde kalmaları birleştirilmiş parçaların mekanik özelliklerinin düşmesine yol açar. Temizlik işleminin kaynaktan hemen önce yapılması çok daha iyi sonuç verir. Genellikle yağ tabakaları daldırma ve püskürtme yöntemleriyle kimyasal olarak veya levhaların çözücüler kullanılarak silinmesiyle temizlenir. Bir miktar ılık alkali çözeltiler ve yağ çözücüler kaynak esnasında zehirleyici buhar

oluşturmadıklarından kullanılabilirler. Temizleme işleminden sonra kaynak edilecek yüzeyler mutlaka kurutulmalıdır. Kumaş veya emici kağıtlar yüzeylerin kurutulmasını kolaylaştırır fakat ulaşılması güç köşeler için hava püskürtülmesi uygundur. Alkol ve aseton içeren çözücüler diğerlerine nazaran daha hızlı buharlaşırlar.

Kaynak öncesi çok yağlı levhalar, tamamen temizlenmesi için ayrı ayrı asetona, alkol veya alkali çözelti banyosuna daldırılmalıdır. Eğer levha hafif yağlı ise hem yağdan hem de oksit tabakasından arındırmak için 70 ^{o}C sıcaklıkta % 5 alkali çözeltiye (3.78 lt. suya 204 gr. Sodyum hidroksit) 20-60 saniye süreyle daldırılır ve soğuk suyla durulanır, daha sonra nitrik asit banyosunda oda sıcaklığında 30 saniye bekletilerek önce soğuk sonra sıcak suyla durulanıp mütakiben hava püskürtülerek kurutulur.

Kimyasal olarak oksitten temizleme işleminin üzerinden bir günden fazla süre geçmiş ise mekanik temizleme işlemi gerekmektedir. Mekanik temizleme işlemi tel fırça kullanılarak, kazınarak ve eğeleyerek yapılabilir. Kağıt zımpara veya oluklu zımpara kullanılmamasının nedeni parçacıklarının alüminyum tarafından tutularak kaynakta kalıntıya sebep olmasıdır. Tel fırça kullanıldığında fırça uçlarının 0.3 ila 0.4 mm. çapında paslanmaz çelikten olması gerekir, çelik fırça kullanılması temizlenen bölgede fırçadan ayrılan demir partiküllerinin kalmasına ve paslanmaya sebep olur. Büyük çaplı demir oksit varlığı kaynak banyosunda kalıntı parçacıklar oluşturur. Oluşabilecek yığılmaları temizlemek için bazen pasolar arası temizleme işleminin tekrarlanması gerekir.[12]

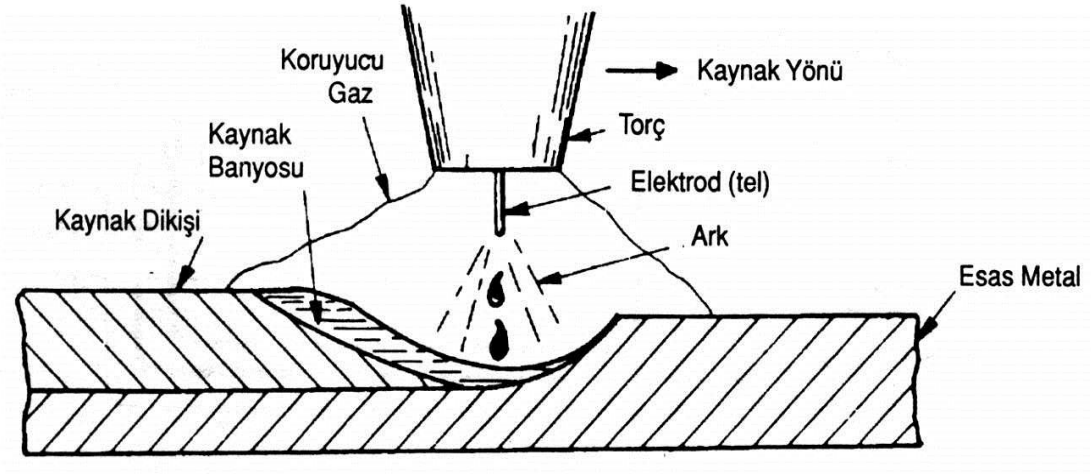


Şekil 3.16. Kaynak metalinde kalıntılar

3.2.8. MIG Kaynak Uygulaması

Kullanılan bütün kaynak bağlantı türleri MIG yöntemi ile kaynatılabilir. Yatay pozisyonda dikişler hem el ile, hem de otomatik olarak kaynak edilebilirler; buna karşılık zor pozisyonlarda yalnız el kaynağı kullanılır. Genel anlamda MIG yönteminde uygulanacak kaynak tekniği, kaynaklanan malzemenin cinsine, ısıl iletkenliğine, ağız şekline ve kaynak pozisyonuna bağlıdır.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında malzemenin kalınlığı göze alınmaksızın sprey ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprey arkın yüksek ısı girdisine karşılık alüminyumun yüksek ısı iletimi dolayısıyla kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından bu şekilde her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir.Yalnız burada oksit tabakasının temizlenmesi için daima sola kaynak yöntemi uygulanmalı ve düşey kaynak halinde de aşağıdan yukarı doğru çalışılmalıdır. Bu şekilde hem kaynak ağızlarının oksit tabakası temizlenmiş olur hem de ağızların iyi bir şekilde eriyerek kaynağın sıhhatli yapılması sağlanmış olur. Sağa kaynak yöntemi uygulandığı ve düşey pozisyonlarda yukarıdan aşağı çalışıldığı hallerde gözenekli, kötü görünüşlü ve ağızların gerektiği kadar ergimemiş olması nedeniyle de soğuk bölgeler içeren kaynak dikişleri elde edilir. Kaynak dikişi düz olarak veya dar zigzaglarla çekilmelidir. Geniş zigzaglar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğu için kullanılmamalıdır.



Şekil 3.17. MIG kaynağında arkın görünümü

Alüminyum alaşımlarının ısıl iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda, kaynak bölgesinin hızlı soğumasına neden olur, bu bakımdan kalın ve özellikle

döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi ön tav uygulanmalıdır. Genellikle 15 mm. den daha kalın parçalara uygulanan bu ön tavın derecesi 200^{o}C`yi aşmamalıdır. Şekillendirilebilir alüminyum alaşımlarında genel olarak ön ısıtma yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlayarak çalışılması tercih edilir.

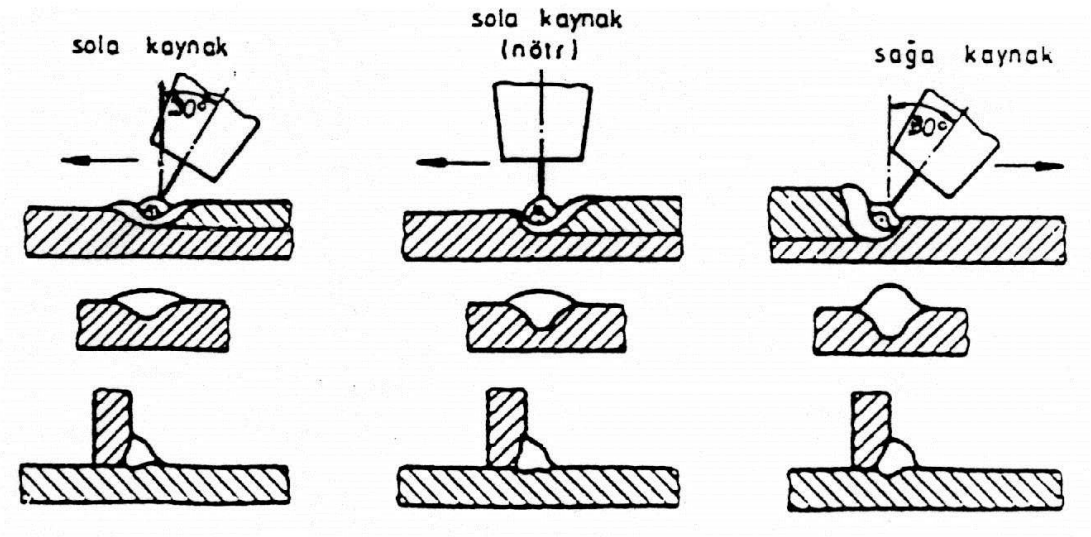
Soğuk şekil değiştirme veya ısıl işlem ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, kazandırılmış olan sertlik değerinde bir azalma görülür. Bu bakımdan ısıl işlem ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi çözeltiye alma tavı uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısıl işlem uygulanarak sertleşme sağlanır. Çinko ve magnezyumlu alaşımlar, kaynaktan sonra herhangi bir işlem gerektirmeden mekanik özelliklerinin yaklaşık tümüne sahip olabilirler. [1]

MIG yöntemi her kalınlıktaki alüminyum alaşımlarına uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm`den kalın parçaların kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. MIG yönteminde kaynak hızları ve ergime gücü TIG yönteminden daha büyüktür, çok ince (0.8 mm) parçalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynakla birleştirilir.

Bu kaynak yönteminde kullanılan torcun ucundaki meme, daima kusursuz ve temiz olmalıdır. Kaynak esnasında memeye sıçrayarak dolan metal parçacıklarını, kaynağa ara verildiğinde temizlemek gerekir. Bunun için daima özel meme temizleme tığları kullanılır. Kaynak torcunu soğutan suya ait bağlantıların dikkatli olarak kontrol edilmesi şarttır. Hafif bir sızdırma dikişte gözeneklerin meydana gelmesine sebep olur.

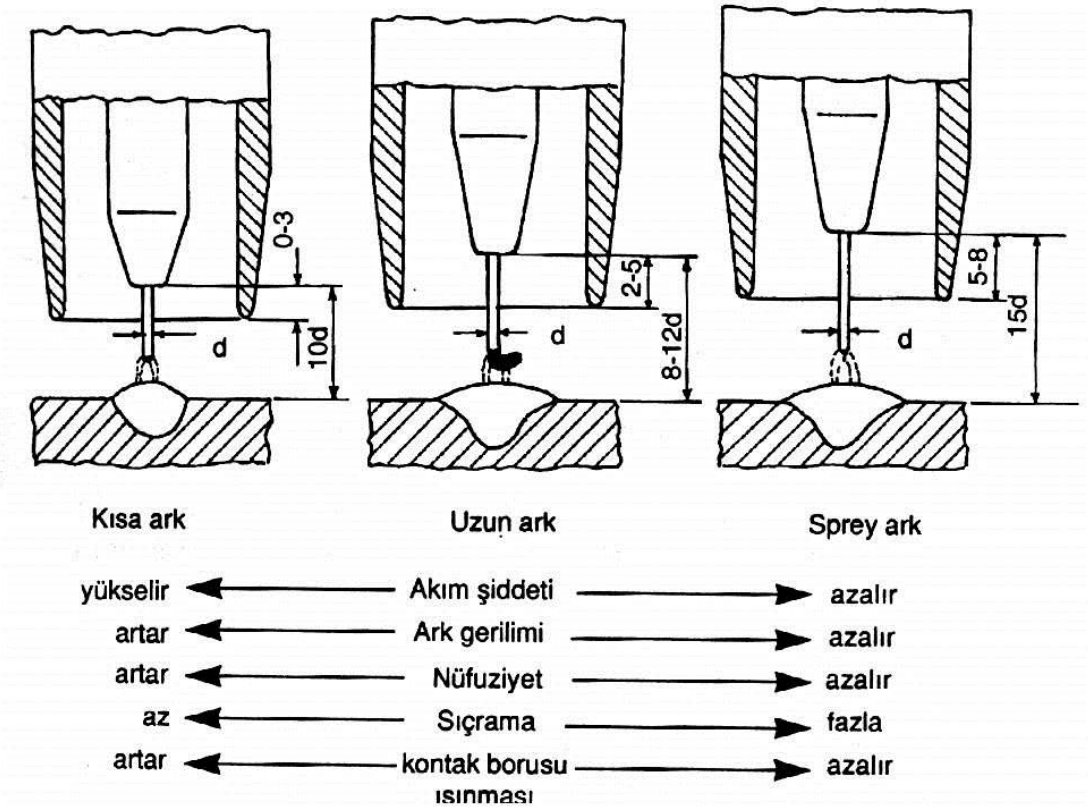
Kaynak dikişinin yüksekliği, genişliği ve nüfuziyeti aynı torç tutuluşunda kaynak gerilimini, kaynak akım şiddetini ve kaynak hızını değiştirerek ayarlanabilir. Akım şiddeti yükseldikçe nüfuziyet artar, buna karşın dikiş genişliği ve yüksekliği azalır. Kaynak geriliminin ve hızının yükselmesi de dikişin genişliğine ters etki eder. Torç, kaynak yönüne ters doğrultuda en fazla 30^{o}``lik eğimle tutularak kaynak yapılırsa, kaynakçı kaynak banyosunu ve elektrodun erime durumunu kolayca görebilir. Eğer bu eğim fazlalaşırsa nüfuziyet azalır ve dikişte incelir. Bu durumda kaynak hızının arttırılması gerekir, aksi halde kaynak banyosunun önünde bir yığılma meydana gelir ve aynı zamanda dikişte kalıntı ve gözenekler olur.Torcun eğiminin artması diğer yönden koruyucu gazın koruma etkinliğini azaltır.

MIG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilim gelir. Sabit gerilimli (yatay karakteristikli) kaynak akım üreteçlerinde bu parametreler birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilir. Ayrıca arkın şekli sadece gerilim ve akım şiddetine bağlı değildir, elektrod malzemesi, serbest tel mesafesi ve koruyucu gazın cinsine de bağlıdır.



Şekil 3.18. Torcun tutuluşu ve ilerlemesinin dikiş şekline etkisi [2]

Krater çatlaklarının önlenmesi için sırasıyla kaynağın başı ve sonunda başlama ve bitirme levhaları kullanılır. Bunun mümkün olmadığı hallerde ark yaklaşık birleştirme yerinin 25 mm. kadar ilerisinde tutuşturularak torç hızla geriye çekilerek dikişin başına getirilmelidir. Böylelikle meydana gelen ön ısıtma soğuk başlangıçları yok edip dikişin başlarında gözenekliliği azaltır.



Şekil 3.19. Ark türüne bağlı serbest tel uzunluğu

Serbest tel uzunluğunun artması ergime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur. Sonuç olarak alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, serbest tel uzunluğunun aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin kaynak dikişine yığılmasına neden olur. Bu sırada hem mekanik özelliklerde azalma görülür, hem de kaynak dikişinin dış görünümü aşırı pürüzlü olur. Bu sebeple kaynak sırasında bu mesafenin dengeli olmasına dikkat edilmelidir. [9]

3.3. Alüminyum Kaynağında Kalitenin Sağlanması

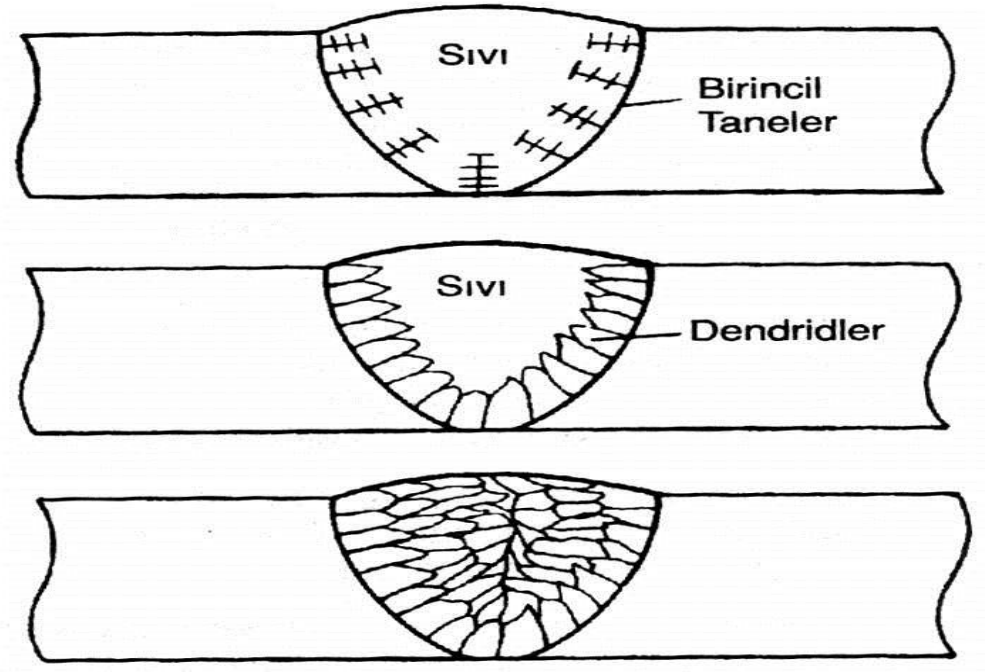
3.3.1. Sıcak Çatlak

Sıcak çatlak kaynak banyosunun soğurken metalin çekmesinden dolayı oluşan aşırı gerilmeler neticesinde oluşur. Bu gerilmeler, özellikle yüksek sıcaklık değerlerinde, kaynak metalinin dayanım sınırını aştıklarında sıcak çatlak oluşturacak değere ulaşırlar. Sıcak çatlak genellikle kaynak metalinde oluşursa da, ısının tesiri altındaki bölgede de oluşabilir. Sıcak çatlak oluşumunu birleşimin sınırlandırılması da etkiler.

Bu sınırlamalar, kaynak dikişi ilerledikçe kaynak metalinin katılaşması, ana metalin erimemiş kısımları, parçaların tezgaha veya fikstüre tesbitlenmesidir.

Sıcak çatlak geniş donma aralıklı alüminyum alaşımlarının kaynak banyosunda daha kolay oluşur. Geniş donma aralıklı bileşimlerde dentritler sıcaklık genişliği boyunca büyük oranda soğumaya ve çekmeye maruz kalırlar. Saf alüminyum veya ötektik yapılı metal yığılmalarının sıcak çatlak oluşumuna daha az eğilimli olmasının sebebi ise bunların sabit sıcaklıkta katılaşmalarından dolayı, dentritler soğuma çekmesinden kısa bir süre alıkonur ve böylece katılaşacak son sıvı tabakasına daha az gerilme uygulanır.

Kaynak metali soğurken dentritler kenarlardan merkeze doğru katılaşır ve gelişir. Katılaşma bitinceye kadar dentritler aralarındaki sıvı metali emerler. Eğer dentritler hızlı oranda soğur ve çekerlerse veya çevre metalde eşit olmayan oranda çekme var ise dentritler arasında ki son donacak ince tabaka gerilmeye maruz kalır. Dentrit kollarının ilerlemesini veya açıklığını destekleyecek yeterli sıvı metal yok ise çatlama olur. Kaynağın dentritik yapısında oluşan sıcak çatlak miktarını etkileyen faktörler: Alaşımın katılaşma sıcaklık aralığı, genleşme katsayısı, sütunsal tane boyutu, ısıl gradyanın soğuma hızı, kalan sıvı metal hacminin katılaşmış metal hacmine oranı ve kaynaklı birleştirmeye uygulanan sınırlama miktarıdır.



Şekil 3.20. Kaynak metalinin katılaşma evreleri [9]

Alaşımın katılaşma aralığı bileşiminin bir fonksiyonudur. Katılaşma süresince dentritte oluşan doğrusal çekme miktarı, katılaşma aralığına, doğrusal genleşme katsayısına, ve ortalama genişliğe orantılıdır. Kalın dentritler incelere oranla daha çok çekmeye maruz kalır. Kaynak metalinin soğuma hızı dentritlerin oluşumu ile dentritler arasındaki ince metal tabakasını etkiler. İnce sıvı metal tabakaları donmadan önce son anda dentritlerin çekmesinden dolayı ayrılabilir.

Kaynaklı birleştirmenin sınırlanması sıcak çatlak oluşumunu etkiler. Ne kadar çok şiddetli sınırlama o kadar büyük çatlama oluşturur. Kaynak metali veya ısının tesiri altındaki metalin ısıl genleşmesi sınırlamadan dolayı bozulur ve azalır. Soğuma sırasında kaynak metalindeki gerilme basmadan çekmeye dönüşür ve tamamen katılaşmadan kısa bir süre önce kaynak metalindeki yarı katılaşmış ince tabakalar çatlar.

3.3.1.1. Sıcak Çatlak Oluşumunu Azaltma Yöntemleri

Sıcak çatlak oluşumu yüksek kaynak hızı uygulayarak, ana metale ön ısıtma uygulayarak, kaynak ağzı şeklini değiştirerek, uygun kaynak teli seçilerek azaltılabilir.

Kaynak hızı yükseldikçe kaynak bölgesine uygulanan ısı miktarı azalır; böylece sıcak ve oda sıcaklığında ki ana metal arasında ki sıcaklık farkından dolayı oluşan gerilmeler büyük miktarda azalır. Ayrıca yüksek kaynak hızından dolayı henüz katılaşmış kısa kaynak metali, sıcak kaynak metali üzerine gelen yükün bir kısmını emer. Yüksek kaynak hızından dolayı hızlı soğuma oranı, çatlamaya daha az eğilimli iyi dentritik yapı oluşturur.

Ön ısıtma, kaynak bölgesi ile diğer kısımlar arasında ki sıcaklık gradyanını azalttığından ve hızlı birleştirmeye olanak sağladığından katılaşan kaynak metalindeki gerilmeleri azaltır. Parçalar sabitlenip sınırlanmadıkça ön ısıtma uygulanmamalıdır. Aşırı ön ısıtma ile ana metalin mekanik özellikleri azalır.

Alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu sıcak çatlak oluşturma eğilimini etkiler. Bu sebeple kaynak metali içerisinde dağılan ana metal miktarı kaynakta sıcak çatlak oluşmasını belirleyen önemli bir etkendir. Tavsiye edilen ana metal içerisinde ki belirleyici alaşım elementince zengin kaynak teli kullanılarak oluşturulan kaynak metali alaşımı çatlak oluşumunu önleyecektir. Küt alın kaynağı gibi kaynak ağzı şekli kaynak banyosuna ve kaynak teli ile oluşturulan alaşıma büyük miktarda ana

metal malzemesi karışımına olanak sağlar; böylece kaynak metal alaşımı içeriğini çatlak oluşumu seviyesine indirir veya kaynak metalindeki dağılım çatlamayı azaltır. Uygun kaynak ağzının belirlenmesi eğer mukayese edilecek kaynak şekilleri hakkında eldeki bilgilerin uygun olmaması halinde çatlak hassasiyetinin deneme yoluyla değerlendirileceği örnek kaynak bağlantılarının yapılmasını gerektirir.

Kaynak metali içerisinde ana metal ve dolgu metalinin dağılımı düşünülerek kaynakta belirli alaşım miktarlarının bilinen sıcak çatlak oluşum sınırlarının üzerinde veya altında kalmasını etkileyen kaynak teli belirlenerek çatlak oluşumunu önleyen tel seçilebilir. Uygun kaynak telinin belirlenmesi için çeşitli kaynak metal bileşimlerinin çatlak oluşturma eğilimlerinin bilinmesi gerekir.

Dolgu metali ve ana metal bileşiminin ve kaynak metali içerisinde ki dağılımlarının bilinmesi durumunda ilk kez kullanılacak ana metal ve dolgu metalinin sıcak çatlak oluşturma eğilimi tesbit edilebilir. Bileşimleri bilindiğinden, belirli bileşimlerin çatlak oluşturma aralık değerleri ile mukayese edilebilinir. Yeni kullanılacak dolgu metali, ana metal veya oluşturdukları kaynak metalinde ki herhangi bir element miktarı daha önceden bilinen bileşimin çatlak oluşturma aralığında bir değer ise kullanılması düşünülen yeni dolgu metali çatlak oluşturabilir. Kimyasal bileşiminde bazı elementlerin çatlak oluşturma aralığında olması veya olmaması yeni kaynak teli ve ana metalin kesinlikle çatlak oluşturacağı veya oluşturmayacağı manasına gelmez. Kaynakta çatlak oluşumunun kontrolü kimyasal bileşime ilave olarak parçaların kalınlığı, kaynak ağzı şekli ve kaynak hızının hepsinin birlikte dikkatlice belirlenmesi ile önlenir. Kaynak metalinin kimyasal bileşimi esas faktör olarak kontrol altında bulundurulsa da diğer faktörlerin çatlak oluşturma ihtimalini ortadan kaldırmaz.

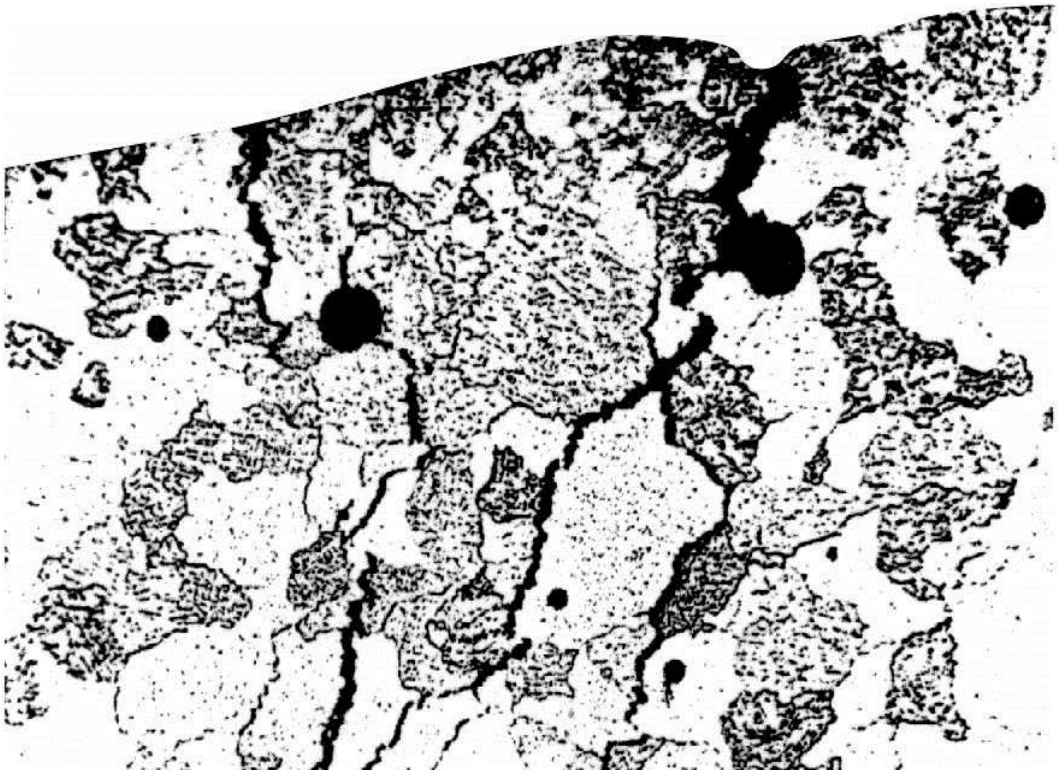
Bakır ve kurşun ilavesiyle sertleştirilen alaşımlar da sıcak çatlak oluşma tehlikesi vardır; bu sebeple kaynak edilmeleri güçtür. Isıl işlem ile sertleştirilen alaşımlar soğuma esnasında çatlak oluşumuna daha duyarlıdır. Genellikle ısıl işlem ile sertleştirilmiş alaşımlar için ana metal ile aynı veya daha düşük dayanımlı ve ana metalden farklı kimyasal bileşime, düşük ergime sıcaklığına sahip kaynak telleri (4043 teli 577 ^{o}C – 4145 teli 510 ^{o}C) kullanılmalıdır. Çatlak oluşma ihtimalini azaltmak için silisyum ve magnezyumca zengin kaynak kaynak telleri kullanılır. Silisyum içeren 4XXX serisi kaynak tellerinin ergime sıcaklığı kullanıldıkları alaşımlardan düşük olduğu için kaynak metali katılaşırken bir süre daha sıvı halde

kalır ve oluşan gerilmelerin etkisini azaltır. Silisyum içeren 4043 kaynak teli yüksek magnezyum (> %3) içeren 5083 ve 5086 alaşımlarında aşırı Mg_2Si oluşturup, gevrekliği dolayısıyla çatlama hassasiyetini arttırır. 5356, 5183, 5556 kaynak telleri yüksek magnezyum içeriklerinden ötürü mukavemeti arttırırlar ve çatlama hassasiyetini azaltırlar. 5050 ve 5052 alaşımlarında olduğu gibi eğer ana metalin magnezyum oranı kullanılan kaynak telinde ki orandan daha düşük ise 5356, 5183 ve 5556 kaynak teli kullanımı kaynak metalinin çekme dayanımını arttırmaz. Bunun sebebi kaynak teli ile ana metalin birlikte alaşım oluşturması ve kaynak metalinin magnezyum oranının düşmesidir. 7XXX serisi alüminyum alaşımları içerdikleri bakır miktarına bağlı olarak çatlamaya duyarlıdırlar. Bu alaşım serisinin içerdiği bakırın, çinko ve magnezyumla bileşimi dayanımı arttırır fakat çatlak oluşma hassasiyetini yükselttiğinden kaynak edilebilirliği azalır. Düşük seviyede bakır içeren dar katılaşma aralığına sahip 7004, 7005, 7039 alaşımları, yüksek seviyede magnezyum içeren 5356, 5183, 5556 kaynak telleri kullanılarak kaynak edilebilir ve kaynak metali iyi seviyede sünekliğe sahip olur. Yüksek seviyede bakır içeren 7075 (1.2-2.0 Cu) ve 7178 (1.6-2.4 Cu) alaşımları ark kaynak yöntemi için uygun değildirler. [12]

3.3.1.2. Kaynak Isısının Alaşıma ve Dikişe Etkisi

Bütün eritme kaynak yöntemlerinde ısının tesiri altındaki bölgede bazı metalurjik değişiklikler oluşur. Bu değişiklikler şekil değiştirme ile sertleştirilmiş malzemenin yumuşaması, alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde ısıtılarak ana metalin yeniden kristalleşmesi, düşük ergime değerine sahip fazların eritilerek soğuma gerilmeleri etkisinde mikro çatlak oluşumları, yeniden kristalleşmiş bölgenin yanında ısıl işlem görmüş alaşımlarda aşırı yaşlanma oluşabilir.

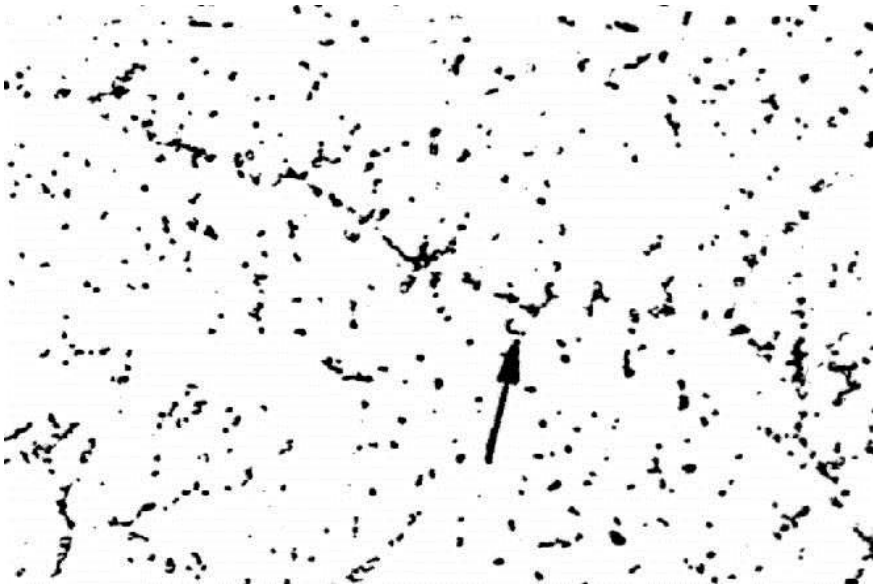
Kaynak metalinde sıklıkla oluşan ikinci fazların çoğu daha düşük ergime ısı değerine sahiptir. Kaynak metali tane sınırlarında, aşırı miktarda düşük ergime değerli fazların bulunuşu sıcak çatlak eğilimini arttırır. Yüksek kaynak hızının sonucu olarak kaynak metalinin hızlı soğuması, tane sınırlarında düşük ergime değerli bileşiklerin oluşumunu geciktirir.



Tane sınırlarında düşük ergime değerli ötektik metalden dolayı 2319 (%5.8-6.8 Cu) kaynak metal alaşımında çatlama oluşmuştur.

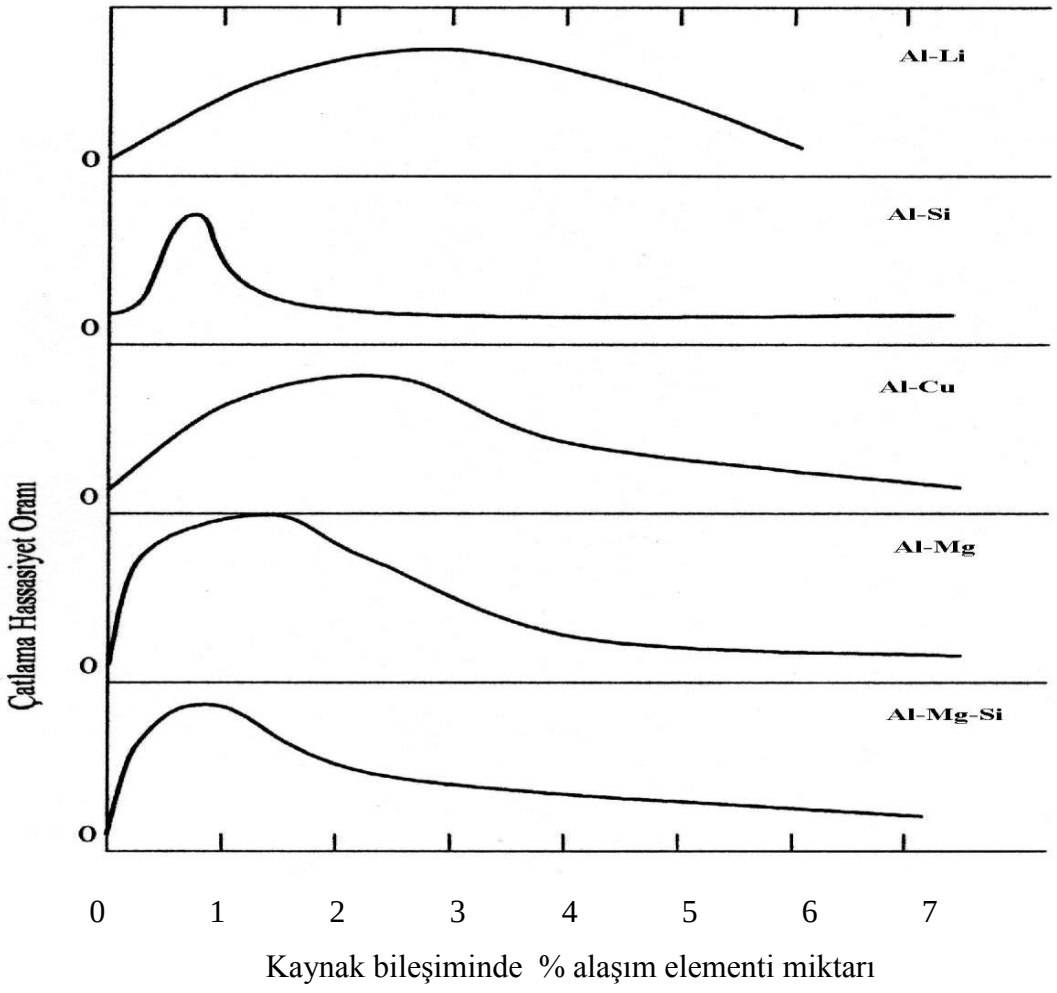
Şekil 3.21. Taneler arası çatlak

Çok pasolu MIG kaynağında sonraki pasoların ısısı, daha önceki pasolarda düşük ergime değerli fazları tekrar eritir. Kaynak metalinin büzülmesi sonucu oluşan gerilmelerin etkisiyle mikro çatlaklar oluşur. Bakır ve çinko ihtiva eden alüminyum alaşımları özellikle çok paso uygulamalarında zayıf ark ve gaz kaynak kabiliyetlerinden dolayı mikro çatlak oluşumuna daha hassastırlar. Bazı Al-Mg-Mn tipi kaynak teli alaşımları ilk bileşimleri veya ana metal ile oluşturdukları alaşımdan dolayı aşırı düşük ergime değerli fazların bulunması halinde daha düşük süneklik özelliği gösterirler. Bu fazlar pasolar arası ergime hattında tekrar erir ve bir araya toplanır. [12]



5556 alaşımının kaynağında kırılmaya ve düşük sünekliğe sebep olan α Al Fe Mn Si ve Mn Al_6 `nın pasolar arası ergime hattında çökelmesi.

Şekil 3.22. Pasolar arası ergime hattında toplanma



Şekil 3.23. Alaşım elementlerinin çatlama hassasiyetine etkisi [13]

3.3.2. Gözenek

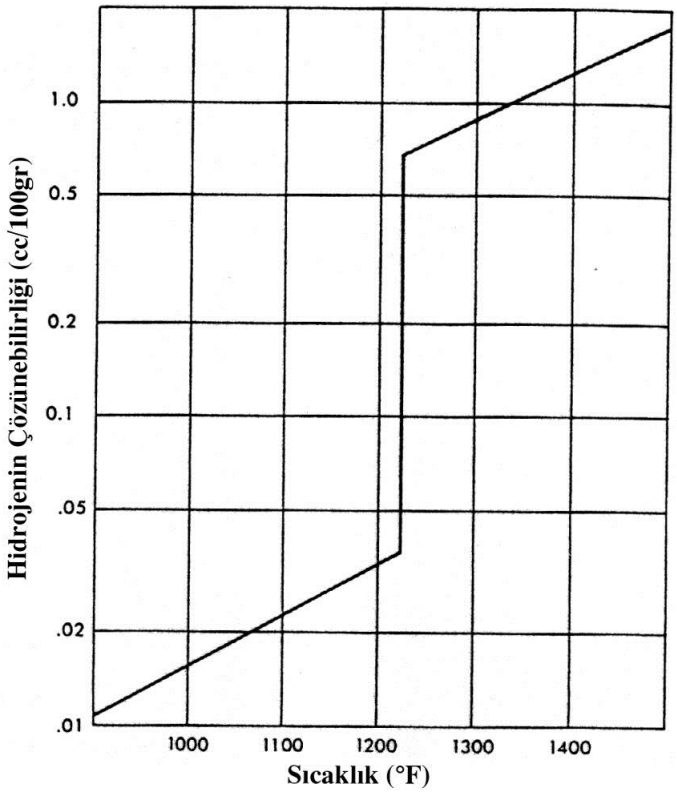
Sınırlı miktarda dahi olsa gözenek ve metal taneciklerinin kaynak metalinde bulunması sünekliği, yorulma dayanımını ve çekme dayanımını olumsuz yönde etkiler; oysa kaynak metalinin her yönden ana metal kadar sağlam ve dayanıklı olması hedeflenir. Alüminyum kaynağında gözenekliliğin asıl sebebi kaynak banyosunda kalmış gazlardır. Gaz uzaklaşmadan kaynak banyosunun katılaşması gözenekliliği oluşturur. Kaynak banyosunda gaz oluşumuna koruyucu gazın temiz olmaması, hava ve su, kirli metal yüzeyi veya kaynak teli, şiddetli ark hareketi neden olabilir.

3.3.2.1. Gaz Sıkışması

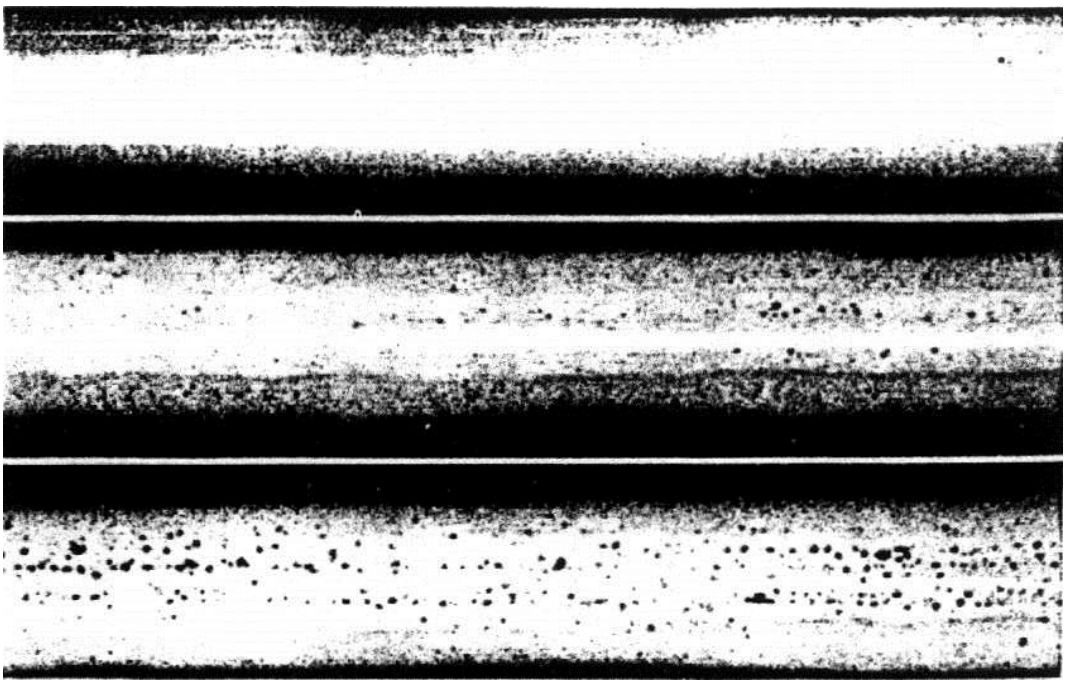
Koruyucu gaz, hava veya gaz kirlilikleri kaynak banyosunda şiddetli ark hareketliliğinden sıkışabilir. Kaynak banyosunun türbülansı tanecik geçişinin şeklinden etkilenir. Çok düşük kaynak akımı uygulandığında, büyük kürecik şeklinde metal transferi olur ve kaynak banyosunda türbülans oluşur; sprey tarzında daha küçük tanecik geçişi olur. Alüminyum- Magnezyum alaşımlarının MIG yöntemiyle daha kolay kaynaklanabilir olmasına rağmen; yüksek hızda çekilen filmlerde bu alaşımlar düzensiz şekilli metal tanecikleri oluşturmakta ve arkın karşı tarafına kararsız şekilde geçmektedirler. Bu tür taneciklerle oluşturulan kaynak banyosu daha çok gaz sıkışma potansiyeline sahiptir. Aşırı kaynak akımı kaynak banyosunda ki gaz baloncuklarının üzerine metal yığarak daha fazla gazın banyoya girmesini kolaylaştırır. Bu gazlar bütün baloncukların çıkışından önce katılaşırlar; bu tür gözeneklilik düzensiz şekil oluşturur.

3.3.2.2. Hidrojen

Hava sıkışmasına ilave olarak alüminyumda gaz gözenekliliğinin diğer bir sebebi kirlilikten dolayı kaynak banyosunda hidrojen bulunmasıdır. Erimiş alüminyumun atomik hidrojene oldukça yüksek eğilimi vardır ve kolaylıkla çözünür. Katı alüminyum zaten düşük seviyede hidrojen içerir bundan dolayı kaynak banyosu katılaşırken hidrojen buharlaşır. Soğuma hızı yüksek ise hidrojen yüzeye ulaşamaz metal içerisinde kalarak gözenekliliğine sebep olur. Hidrojen içeren herhangi bir bileşik, kaynak telinde veya yüzeyde ki kirlilik alüminyumun MIG kaynağında gözenekliliğe sebep olan serbest hidrojen gazını oluşturur.



Şekil 3.24. Alüminyumda hidrojen çözünürlüğü



Argon koruyucu gazına hidrojen ilave edilmiştir. Üstte sadece argon gazı, ortada % 0.25 hidrojen ilavesi, altta % 1 hidrojen ilavesinin gözenek etkisi görülmektedir.

Şekil 3.25. Hidrojenin alüminyumun MIG kaynağında gözenekliliğe etkisi

Uzun süre nemli, rutubetli ortamda bekletilmiş kaynak tellerinin, atmosferik nemin kimyasal bileşimi veya alüminyum-oksit tarafından emilmesinden dolayı kullanılması gözeneklilik oluşturur. 5XXX serisi kaynak tellerinin yüzeyinde hidrat-oksit daha kolay oluştuğundan kullanılmadığı zaman nem oranı % 35`den düşük ortamlarda muhafaza edilmelidir. Kaynak teli yüzeyinin, kirliliklerin sebebi olmasının asıl nedeni tel yüzey alanının, yığılan kaynak metal hacmine oranının yüksek oluşudur. Birim alana düşen kirlilik miktarı düşük olsa dahi kirli kaynak teli banyoya büyük miktarda yabancı partiküller karıştırır.

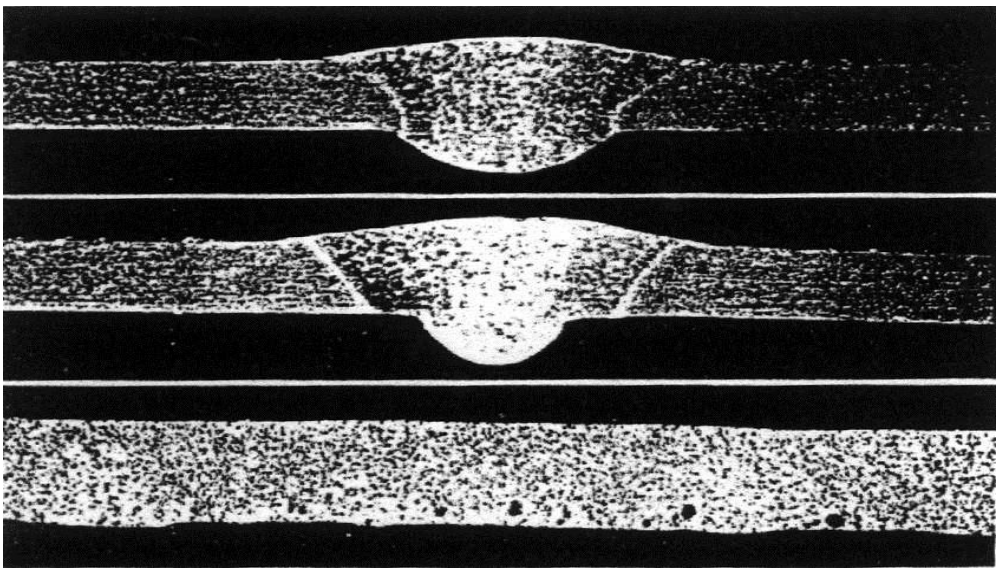
3.3.2.3. Soğuma Hızı

Kaynak banyosunda kalan gaz miktarı soğuma hızının bir sonucudur. Kaynak metalinin katılaşmasından önce gaz çıkışı için yeterli süre var ise daha az gözenek oluşur. Alüminyumun eriyik halde bulunduğu süreyi, kaynak bölgesine tatbik edilen ısı, kaynaktan ısı transferi, alaşımın katılaşma aralığı, ana metalin büyüklüğü ve sıcaklığı belirler. Isı kaybını etkileyen faktörler genellikle sabit olduğundan kaynak banyosunun soğumasının geciktirilmesi için ısı girdisi arttırılmalıdır. Bu akımın arttırılması, ilerleme hızının düşürülmesi veya her ikisiyle sağlanır. Isı girdisini arttırmak için yüksek ark gerilimi de kullanılabilir, argona %10`dan fazla helyum ilavesi hem ark gerilimini yükseltir hem de gözenekliliği azaltır.

Alüminyumun ısı iletkenliğinin yüksek olmasından dolayı, kaynak bölgesinden ısı iletimi yüksektir. Kalın ve geniş kısımlar ısıyı kaynak bölgesinden daha hızlı çekerler. Kaynak bölgesi ile parçanın diğer kısımları arasındaki sıcaklık farkını düşürücü her türlü tedbir kaynak banyosundan ısı iletimini azaltır. Kaynak metalinin hızlı soğuması aşırı miktarda gözeneğe veya çatlağa sebep olur; kaynaklanacak parçaların depolama yerinden veya açık havadan kapalı ortama alınması daha önceki sıcaklıklarını yükselterek sorunu çözebilir.

Kaynak metali döküm tarzında dış kısımlardan iç kısımlara doğru soğur. Soğuma hızı, ana metal sıcaklığı ve gaz mevcudiyeti erime hattında gözeneğe sebep olur. Geniş kaynak dikişi uygulanan parçaların, kalın uç kısımlarında ince kenarların bulunması bu kısımların hızlı soğuması kenarlarda çizgi şeklinde gözenek oluşmasına sebep olur. Kök gözenekliliği biraz ergime hattı gözenekliliğine benzer, kök şekli özellikle destek plakası kullanılan kaynaklarda plakanın uygun olmayan açıklık tasarımına bağlı olarak oluşur. Destek plakasında derin, dar açıklık kök

gözenekliliğinin oluşumuna sebep olur. Geniş, ince açıklık kök kısmında geniş kütleli kaynak metali birikimine sebep olduğundan gözenekliliği azaltır. Bazı imalatçılar destek plakasına ön ısıtma uygulayarak kök gözenekliliğinin daha ileri safhada oluşumunu önlemektedirler.



Üstte geniş- ince açıklığa sahip destek plakalı, ortada derin-dar plakalı, altta dar plaka kullanılarak dikiş boyunca uzanan kök gözenekliliği.

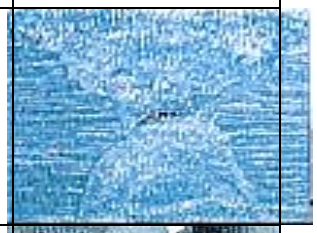
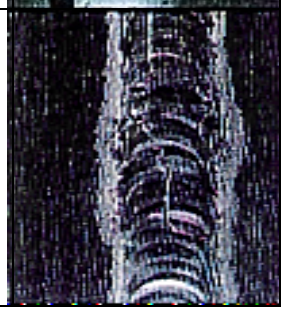
Şekil 3.26. Destek plakasının gözenekliliğe etkisi

3.3.2.4. Düzensiz Tel Beslemesi

Düzensiz tel beslemesi kaynak banyosunda yüksek türbülans oluşumundan dolayı gözenekliliğe yol açar. Düzensiz tel beslemesi pek çok sebepten oluşur. Yetersiz basınç uygulanması sebebiyle sürgü makaralarında kaynak teli kayabilir. Torç ile sürgü ünitesi arasındaki ilerlemeyi sağlayan kablonun bükülmesi kaynak telindeki sürtünmeyi arttırarak düzensiz tel beslemesine yol açar. Çok kısa ark boyunun alüminyumun MIG kaynağında gözenek oluşumuna, alaşımın türüne ve katılaşma aralığına da bağlı olarak, sebep olduğu gözlemlenmiştir. Kısa ark boyu genellikle düşük voltaj uygulamasında oluşur. Küçük çaplı kaynak telleri büyüklere nazaran daha kısa ark boyu üretir.

Gözenek oluşumu çok paso ile yapılan kaynaklarda daha yaygın olarak görülür. Kalın parçaların kaynağında üst pasolarda kök pasosuna nazaran daha çok gözenek gözlemlenir; bu nedenle mümkün olduğunca az pasolu kaynak yapılması tercih edilir.[12]

Tablo 3.7. Kaynak hataları [14]

HATA	MUHTEMEL SEBEP	ÖRNEK
Geometrik kusurlar Aşırı taşkınlık Aşırı nüfuziyet Düzgünsüzlük Yanma oluğu	Kaynak hızı çok yavaş Düşük ark gerilimi Yüksek ark gerilimi Uygun olmayan ağız eğimi	
Yetersiz nüfuziyet	Düşük akım şiddeti Kaynak hızı çok hızlı Yetersiz ağız hazırlığı Yüksek ark gerilimi	
Yetersiz birleştirme	Yüksek ark gerilimi Ağız çok dar Hızlı yapılmış çok paso Düşük akım şiddeti Parça soğuk	
Kalıntılar	Tel fırça parçacıkları Altlık karışması Pasolar arası yetersiz temizlik	
Dağınık gözenek	Uygunsuz yağ temizliği Kaynak teli kirli veya nemli Parça nemli Yetersiz gaz koruması Soğuk parça üzerinde başlayan paso Yüksek ark gerilimi	
Sıralı gözenek	Yetersiz nüfuziyet Altlık ve parça arasındaki sıcaklık farklılığının fazla olması Kök açıklığının fazla olması	
Çatlak	Yanlış kaynak teli Uygunsuz ana metal (7XXX) Aşırı tespit Hızlı soğutma Parça üzerinde başlatılmış paso Aniden ark kesilerek pasonun bitirilmesi	

4. ALÜMİNYUM ZIRH TEKNOLOJİSİNDE 5083 VE 7039 ALAŞIMLARI

Zırhlı araçlara karşı kullanılan silahlarda ki gelişmelere paralel olarak araçların zırh koruması geliştirilmekte buna mukabil ağırlıkları artmaktadır; bu sebeple yeterli korumayı sağlayacak hafif araçların imalatı amaçlanmaktadır. Zırhlı muharebe aracı imalatında alüminyum hafifliği, daha sünek olmasına karşılık ani darbelere dayanım özelliği olan tokluğu (balistik özellik), dayanım - ağırlık oranının yüksek oluşu, değişik iklim ve hava şartlarında kullanılmasından dolayı korozyona karşı direncinin iyi seviyede olması, sulardan geçişte sızdırmazlık sağlayan kaynaklı birleştirmeye uygun olması sebebiyle kullanılmaktadır. 1960 yılından itibaren önemli miktarda hafif zırhlı araç alüminyum zırha sahip olarak imal edilmektedir. Demir içerikli olmayan zırhlar ilk olarak, Amerika Birleşik Devletleri`nde Kaiser Alüminyum ve Kimya Şirketince üretilmiş ve kullanımına da FMC şirketi öncülük etmiştir.

Alüminyum 5083 alaşımından yapılmış birinci nesil zırhlı araçlar M 113, M114, M 108 ve M 109 dur. Bu alaşımın çekme dayanımı 300-350 MPa olup % 4.5 magnezyum, % 0.75 manganez ihtiva etmekte ve balistik özellikleri şekil değiştirme sertleştirmesi ile geliştirilmektedir. Belirli düzeyde balistik koruma sağlayabilmek için alüminyum 5083 zırh levhası sertliğinin 75 BHN ve dayanımının düşük olması sebebiyle çelik zırhtan daha kalın olmalıdır. Örneğin 7.62 mm çaplı zırh delici mermilere (AP) karşı koruma sağlamak için sertliği 380 BHN olan haddelenmiş homojen zırh çeliğinin (RHA) 14.5 mm kalınlığına karşın, 48 mm kalınlığında olmalıdır. Hafif zırhlı araçlar için en çok karşılaşılan tehlike , 7.62 mm.lik zırh delici mermilerdir. Bu mermiler 5083 alüminyum alaşımından yapılmış zırh plakasına karşı atıldığında Tablo 4.1`de görüldüğü gibi zırhın kütle etkinliği sadece 0.89 olmaktadır. Bu durum, 5083 alaşım zırhını düşük çaplı silahlara maruz kalan araçlar için cazip olmaktan çıkartmakta ise de ağırlık tasarrufuna sebebiyet veren üstün nitelikli yapısal özellikleri tarafından telaffi edilmektedir. [15]

Top mermilerinin şarapnellerine karşı koruma söz konusu olduğunda, 5083 alüminyum alaşımının alan yoğunluğu çeliğinkinden belirli oranda daha düşük

olduğu görülmektedir. Sonuç olarak belirli bir ağırlık için 5083 alaşımı şarapnel parçalarına karşı daha iyi veya daha az bir ağırlığa karşı çelik ile aynı korumayı sağlar. 5083 alaşımının ve diğer tip zırhların nispi etkinliğinin en iyi biçimde incelenebilmesi, alansal yoğunluklarının belirli bir tehlikeye karşı aynı derecede korumayı sağlayan haddelenmiş homojen çelik zırh levhasının alansal yoğunluğunu karşılaştırmakla sağlanabilir. Bu normal olarak RHA`nın alansal yoğunluğunu verilen zırhın alansal yoğunluğuna bölmekle yapılır ve elde edilen oran söz konusu zırhın belirli bir tehlikeye karşı kütle etkinliği olarak adlandırılır.

Tablo 4.1. 7.62 mm`lik AP mermilerinin zırhın dik ekseni yönündeki çarpmalarına karşı değişik tipteki ince zırhların kütle etkinlikleri

Zırh Tipi	Yoğunluk Kg/m^3	Alansal Yoğunluk Kg/m^2	Kütle Etkinliği
RHA (380 BHN)	7830	114	1.00
Yüksek Sertlikteki Zırh (550 BHN)	7850	98	1.16
5083 Alaşımı (75 BHN)	2660	128	0.89
7039 Alaşımı (150 BHN)	2780	106	1.08

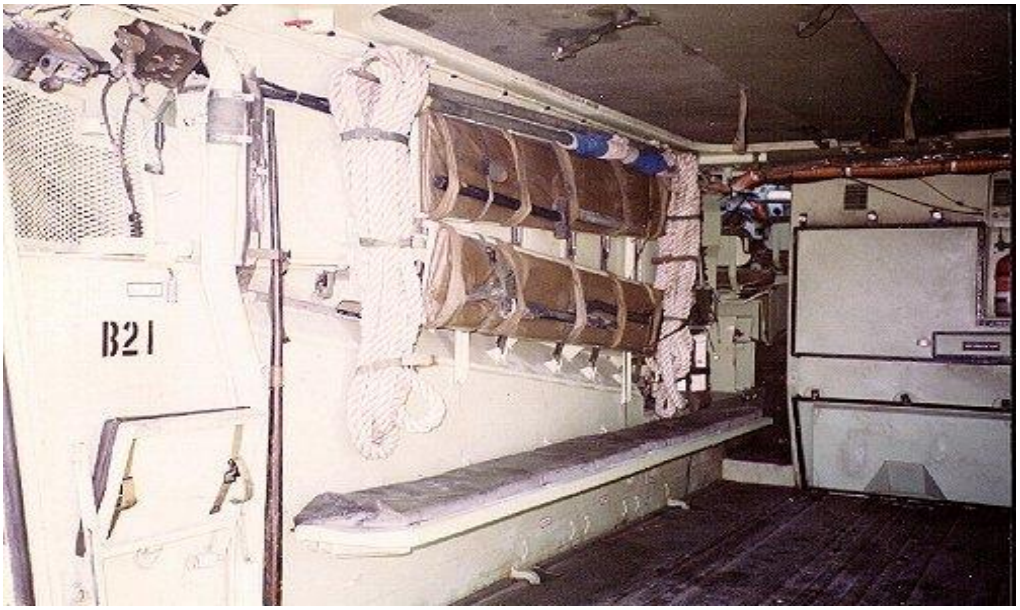
5083 alaşım levhaları ağırlıkları ile orantılı olarak, alan yoğunlukları balistik korumaya denk olan çelik levhalar ile yaklaşık olarak aynı olmasına karşılık bükme halinde daha rijittir. Alüminyumun elastik modülü çeliğinkinin üçte biri olmasına rağmen, bükme halinde rijitlik sadece elastik modülle değil aynı zamanda kalınlığın kübüyle orantılıdır, bu alüminyum zırh levhalarının aynı ağırlıktaki çelik levhalardan yaklaşık olarak dokuz kat daha rijit olması manasına gelir. Alüminyumdan yapılmış araçların gövdeleri çelikten yapılmış olanlara nazaran daha rijit olması sebebiyle bazı kısımlarda bu özellikten feragat edilerek hafiflik sağlanabilir ki gövde kısmında %10, aracın ağırlığında % 6 azalma sağlar. Alüminyum zırh hafifliğin yanı sıra işlenmesi daha kolay ve levhaların kalın olması sebebiyle basamaklı birleştirme mümkün olup kısmi kilitlenme sağlanmış ve böylelikle daha az kaynak yapılmış olur. Tüm bu işlemler alüminyumdan yapılan aracın fiyatını düşürür.

Zırhlı araç imalatında kullanılan bir diğer alüminyum alaşımı 7039 olup ısıl işlem ile sertleştirilir ve %5 çinko, % 2.5 magnezyum içerir, çekme dayanımı 485 MPa sertliği 150 BHN dir. Balistik özellikleri daha iyi olup 5083 alaşımından daha ince levhalar halinde kullanılır. Örneğin yakın menzilden 7.62 mm`lik mermiye karşılık sadece 38

mm kalınlığında olması yeterlidir; bu aynı zamanda alan yoğunluğunun 106 kg/m^2 olmasını sağlar. 14.5 mm çaplı mermilere karşı 7039 alaşımı diğer zırh malzemelerine oranla daha üst seviyede balistik özelliğe sahip olup, alan yoğunluğu dik çarpmada RHA`dan % 26 düşük seviyededir. [16]

Kullanılan alaşımların yüksek hızlı mermilere karşı dayanımının düşük olması, dış yüzeylerine yüksek sertlikte ince çelik levha takviyesi ile telafi edilmektedir. Dış yüzeyde sert malzeme, iç yüzeyde ise daha sünek fakat tok malzeme bileşimi yakın mesafeden atılan 7,62 mm.`lik mermilere karşı etkin bir koruma sağlamaktadır. Zırhlı muharebe aracının mukavemet göstermesi istenilen tehditler, aracın 20 m. üzerinde infilak eden top mermilerinin şarapnelleri, 300 m. mesafeden ateşlenen 14 mm. çaplı mermiler ve aracın altında infilak eden 6 kg.` lık TNT patlayıcısıdır.




B21





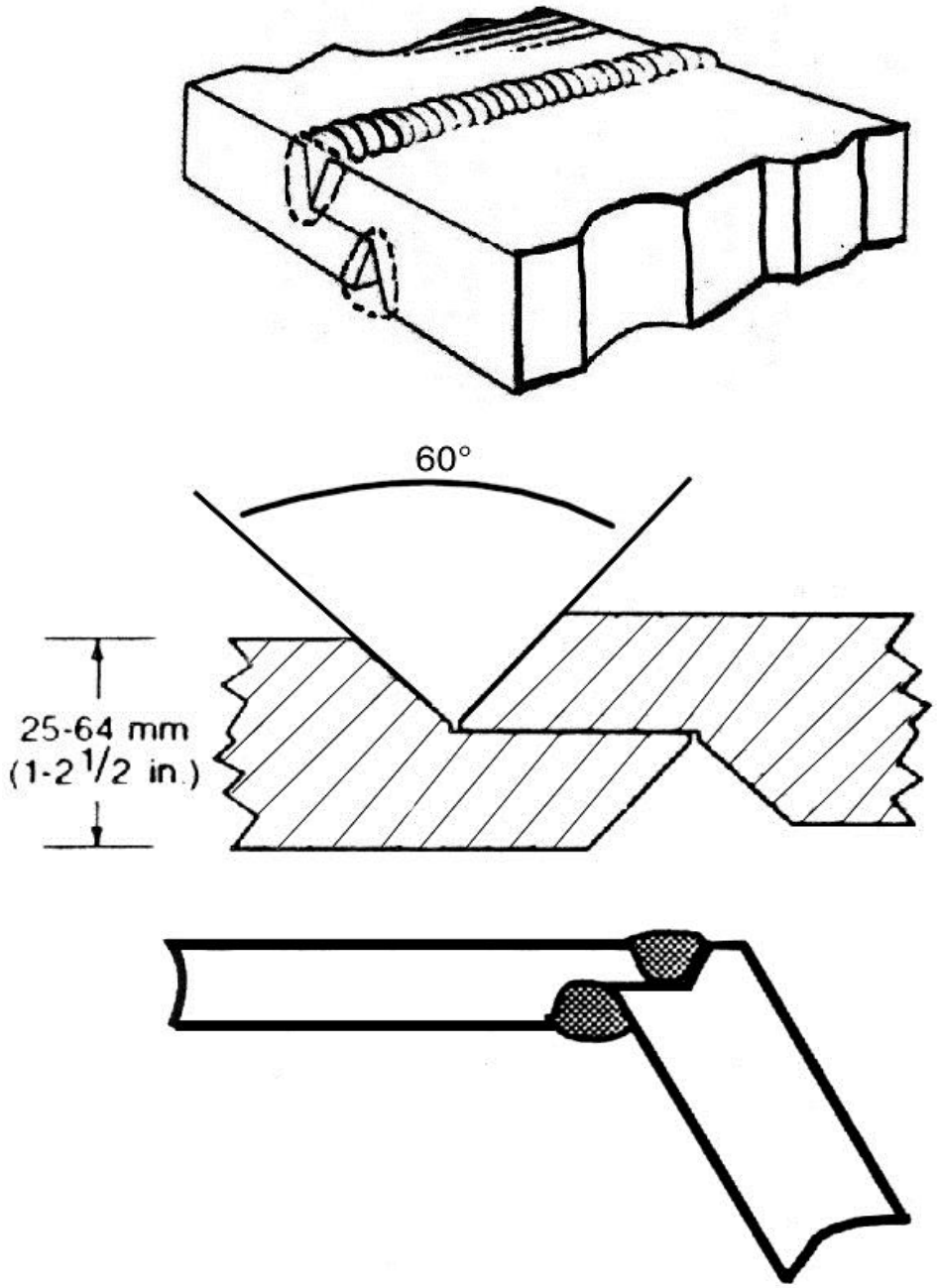
Şekil 4.1. Zırhlı personel taşıyıcı, muharebe ve havan aracı [17]

Kullanılan alaşımlar aracın maruz kalacağı tehdide karşı farklı kalınlıktadırlar. 7039 alaşımının balistik mukavemet değerleri 5083`e nazaran daha üst seviyede olmasından ötürü birinci derecede tehdide maruz kısımlarda kullanılmaktadır. Örneğin tamamı 5083 H-32 alaşımından yapılmış olan M 106 aracının farklı kısımlardaki levha kalınlıkları aşağıdaki tablodadır.

Tablo 4.2. Levha kalınlıkları

Kısım	Kalınlık (mm.)	Dikey Eksen Açısı (^{o})
Ön üst	38	45
Ön alt	38	30
Yan üst	44.5	0
Yan alt	31.8	0
Arka	38	9
Rampa	38	8
Üst	38	90
Taban	28.6	90

Zırhlı muharebe aracı imalatında kullanılan levhalar tasarım kriterlerine uygun boyutlarda kesme işlemini mütakiben kaynak öncesi oksit, yağ ve diğer kaynak hatası oluşturabilecek kirletici maddelerden kimyasal temizleme yöntemiyle arındırılmaktadırlar. Kaynak sonrası temizlik ise paslanmaz tel fırça ile mekanik olarak yapılmaktadır. Levhaların birleştirilmesi kaynak montaj hattı boyunca önce alt gövdenin oluşturulması daha sonra ters çevrilerek üzerine üst gövde parçalarının fikstürde kaynaklanması ile yapılmaktadır. Montaj hattında dört otomatik kaynak istasyonu mevcut olup, diğer istasyonlarda elle MIG kaynağı uygulanmaktadır. Ana metal sıcaklığı 13 ^{o}C `ın altında olduğunda kaynak işlemine başlanılmamalıdır. Kaynak sırasında levha kalınlığına uygun olarak açılmış kaynak ağızlarına yeterli dolgu metali sağlayacak 1.2, 1.6, 2.4 mm. çapında 5356 alaşımından yapılmış olan kaynak teli, kalın kesitlerin kaynağında daha az çatlama eğiliminden ötürü zırhlı araç kaynağında kullanılmaktadır. 2.4 mm. çapındaki kaynak teli kaynak hızının yüksek olması sebebiyle sadece otomatik kaynak istasyonunda kullanılmaktadır. Koruyucu gaz –17 ^{o}C yoğunlaşma sıcaklığına sahip % 99.999 saflık değerinde Argon gazıdır. Kullanılan gaz miktarı 10 It / mm. olup kaynak ağzı genişliğine bağlı olarak, nozül çapı ve gaz miktarı değişmektedir. Kaynak edilen parçaların çarpılmaması için birleştirme işlemi fikstürde yapılmakta, ön eğim verilmekte ve iç gerilmeleri azaltmak için kaynak sonrası ince talaş kaldırılarak işlenirler. Montajı tamamlanmış araca boya öncesi uygulanan kromat kaplama işlemi asıl olarak boyanın iyi yapışmasını sağlamakla birlikte korozyon dayanımını arttırmada da etkilidir. Araç daha sonra kaynağın hedeflenen sertlik ve süneklik değerine ulaşması için doğal yaşlandırılmaktadır. Kaynak ağzı şekli genellikle kaymalı birleştirme (slip joint) tarzındadır. Kaymalı çift V alın birleştirme balistik uygulamalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu birleştirme türü her iki kaynak metali için ana metal desteği, karşılıklı iki levhanın kayarak yerleşmesine ve böylelikle geniş ağır levhaların kolaylıkla hizalanarak kaynaklanmasını sağlar.



Şekil 4.2. Kaymalı birleştirmeler (Balistik kaynak ağzı)

5083 (MIL-A-46027) (DIN Al Mg 4.5 Mn) alaşımının özellikleri :

Kimyasal Bileşimi : 0.4 Si (mak), 0.4 Fe (mak), 0.1 Cu (mak), 0.4-1.0 Mn, 4.0–4.9 Mg , 0.05 – 0.25 Cr, 0.25 Zn (mak), 0.15 Ti (mak),diğer elementlerin herbiri maksimum 0.05 ve toplamları 0.15 dir.

Elastiklik modülü : Çekme 70.3 GPa, Kesme 26.4 GPa, Basma 71.7 GPa

Yoğunluğu : 2.66 gr/cm^3 (20 ^{o}C)

Sıvılaşma sıcaklığı: 638 ^{o}C

Katılaşma sıcaklığı: 574 ^{o}C

Isıl genleşme katsayısı: 20 – 100 ^{o}C 24.2 μm/m.^{o}K

20 – 200 ^{o}C 25 μm/m.^{o}K

20 – 300 ^{o}C 26 μm/m.^{o}K

Isıl iletkenliği : 120 W/m.K (20 ^{o}C)

5083 H – 32 alaşımı :

Ana metal özellikleri : Akma dayanımı 228 Mpa

Çekme dayanımı 317 Mpa

50 mm.`de % uzama 16

Yorulma dayanımı 159 MPa (500 milyon çevrim)

Kaynak özellikleri : <u>5356 kaynak teli kullanıldığında</u>

Akma dayanımı : 145 MPa

Çekme dayanımı : 276 Mpa

50 mm`de % uzama : 16

Birleştirme verimliliği : % 87

Birleştirme verimliliği : Kaynağın çekme dayanımı / Ana metal çekme dayanımı

<u>5183 kaynak teli kullanıldığında</u>

Akma dayanımı : 152 MPa

Çekme dayanımı : 300 Mpa

50 mm`de % uzama : 12

Birleştirme verimliliği : % 95

7039 (MIL-A-46063) alaşımının özellikleri :

Kimyasal Bileşimi : 2.3-3.3 Mg, 3.5-4.5 Zn, 0.1-0.4 Mn, 0.15-0.25 Cr, 0.3 Si (mak), 0.1 Cu (mak), 0.4 Fe (mak), 0.1 Ti (mak), diğer elementlerin herbiri maksimum 0.05 ve toplamları 0.15 dir.

Elastiklik modülü : Çekme 69.6 GPa

Yoğunluğu : 2.73 gr/cm^{3}

Sıvılaşma sıcaklığı: 638 ^{o}C

Katılaşma sıcaklığı: 482 ^{o}C

Isıl genleşme katsayısı: 20 – 100 ^{o}C 23.4 μm/m.^{o}C

Isıl iletkenliği : 125-155 W/m.^{o}C

7039 T – 61 alaşımı :

Ana metal özellikleri :	Akma dayanımı	345 Mpa
	Çekme dayanımı	414 Mpa
	50 mm.`de % uzama	14
Kaynak özellikleri :	<u>5356 kaynak teli kullanıldığında</u>	
	Akma dayanımı	: 214 MPa
	Çekme dayanımı	: 310 Mpa
	50 mm`de % uzama	: 11
	Birleştirme verimliliği	: % 75
	<u>5183 kaynak teli kullanıldığında</u>	
	Akma dayanımı	: 221 MPa
	Çekme dayanımı	: 324 Mpa
	50 mm`de % uzama	: 10
	Birleştirme verimliliği	: % 78

7039 alaşımı 5356 kaynak teli kullanılarak 5083 alaşımı ile kaynaklandığında çatlak oluşumu minimum seviyede olmakta, dayanımı ana metallere kıyasla bir miktar azalmakta, en üst seviyede süneklik ve korozyon direnci sağlanmaktadır. [18]

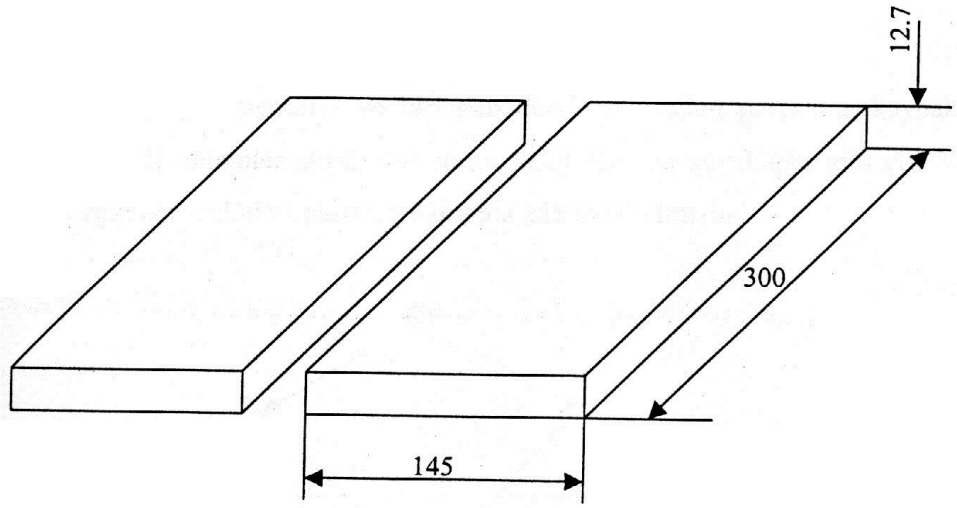
4.1. 5083 ve 7039 Alüminyum Alaşımlarının Tahribatlı Muayenesi

5083 ve 7039 alüminyum alaşımlarının her ikiside işlenebilir alaşımlardan olup, 7039`un mekanik özellikleri ısıl işlem uygulanarak, 5083`ün ise soğuk deformasyon uygulanarak geliştirilir. Bu bölümde anlatılacak olan testler Mehmet ERDEM`in Gazi Üniversitesinde yapmış olduğu alüminyum alaşımlarının (5083 ve 7039) kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özelliklerinin araştırılması isimli çalışmasından alınmıştır. Yapılmış olan testlerde kalınlığı 12.7 mm., kimyasal bileşimi aşağıdaki tabloda verilen 5083-H321 alüminyum-magnezyum ve 7039 alüminyum - çinko alaşımları kullanılmıştır.

Tablo 4.3. 5083 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

Alaşım	Temper	Kimyasal Bileşim							Mekanik Özellikleri		
		Mg	Mn	Cr	Fe	Si	Zn	Al	Çekme	Akma	Uzama
									MPa	MPa	En az %
5083	O	4.25	0.61	0.18	0.23	0.11	0.02	kalan	274-353	118-196	16
	H 321	4.0	0.4	0.05	-	-	-	kalan	304-383	216-294	12
	H 323	4.9	1.0	0.25	0.4	0.4	0.25	kalan	304-373	235-304	8

Test levhalarının birleştirilmesinde kimyasal bileşimi Tablo 2.3`de verilen çapı 1.6 mm. ER 5356 ve koruyucu gaz olarak %99.999 saflık değerinde argon gazı 12-14 lt/dak akış hızı ile kullanılmıştır.

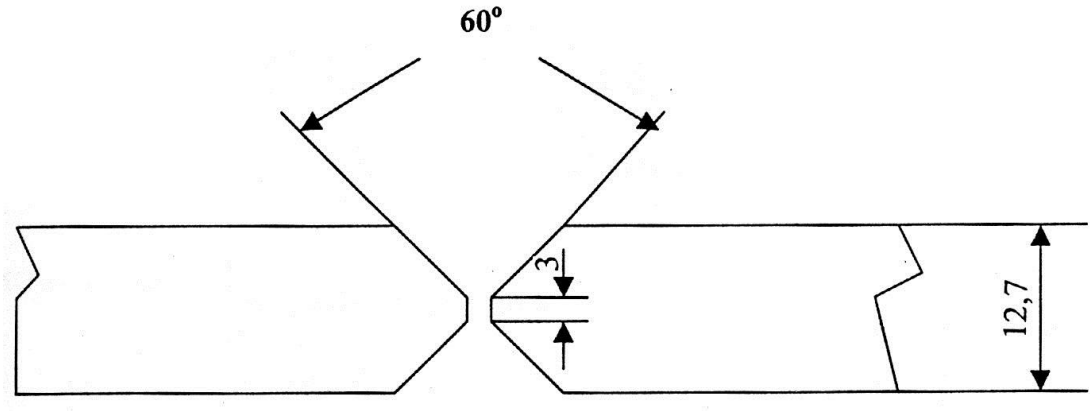


Şekil 4.3. Testlerde kullanılan malzeme boyutları (mm.)

Tablo 4.4. Levha boyutları ve malzeme spesifikasyonu

Malzeme	Kalınlık	Genişlik	Boy	Spesifikasyon
7039	12.7 mm.	290 mm.	300 mm.	MIL-DTL 46063-H
5083	12.7 mm.	290 mm.	300 mm.	MIL-DTL 46027-J

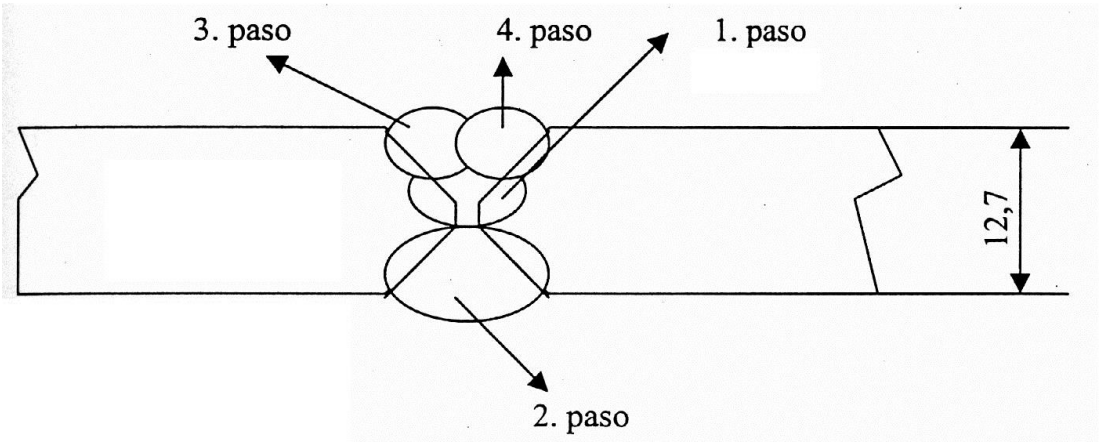
Levhalara aşağıda görüldüğü gibi çift V kaynak ağzı açılarak dört paso kaynak yapılmıştır.



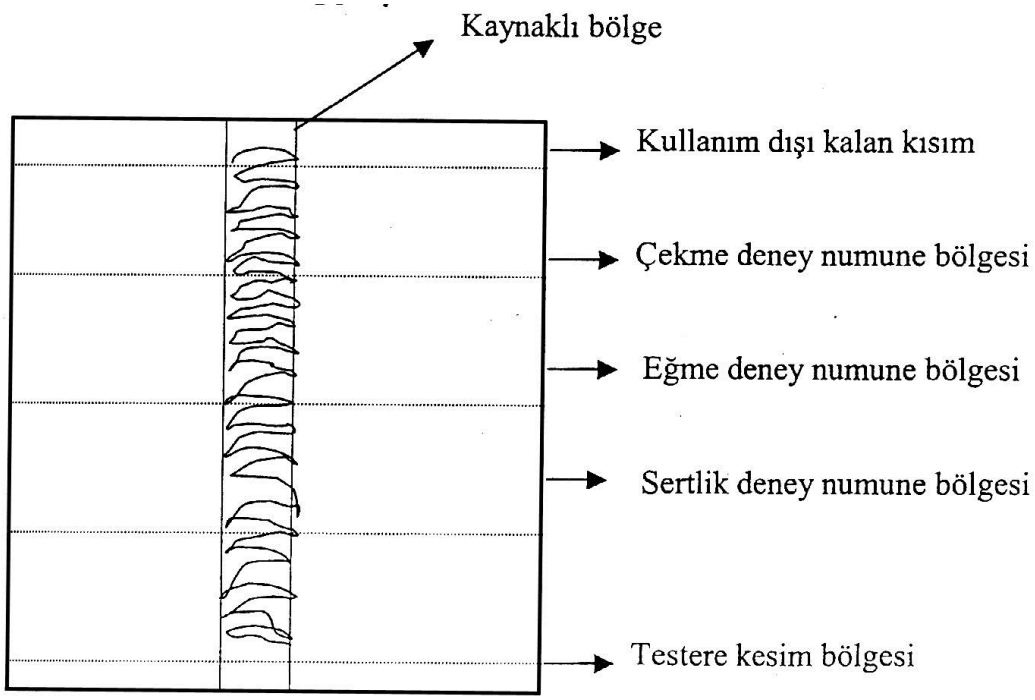
Şekil 4.4. Çift V kaynak ağzı

Tablo 4.5. Kaynak parametreleri

Paso sayısı	Kaynak yöntemi	Akım	Gerilim	Kaynak akımı	Kaynak hızı
4	MIG	280-330 A	27-30 V	Doğru akım	40 cm/dak



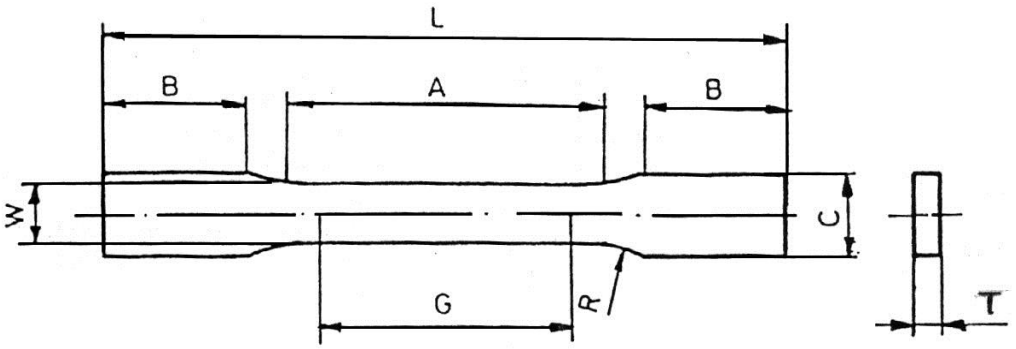
Şekil 4.5. Paso sırası



Şekil 4.6. Birleştirilmiş parçaların numune bölgeleri

4.1.1. Çekme Testi

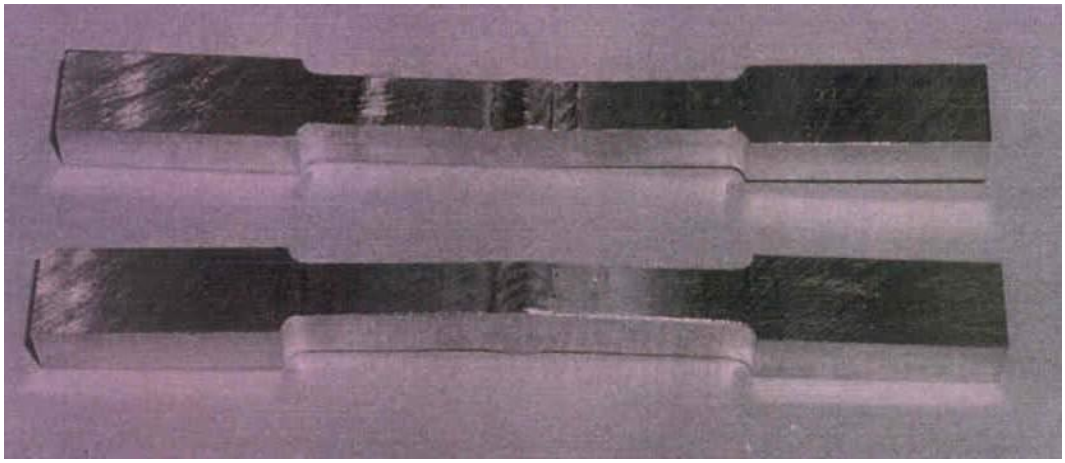
Çekme testi, malzemenin statik veya yavaş uygulanan bir kuvvete karşı direncini ölçmek için yapılır. Kaynaklı birleştirilmelere uygulanan çekme testinde, kaynak bölgesinin çekme dayanımının ana malzeme dayanımı ile mukayesesini yapmak; birleştirmenin tasarım değerlerini belirlemek; oluşabilecek hasarların kaynaklı bölgenin hangi kısmında meydana geleceğini ve sebepleri hakkında bilgi edinmek amacıyla uygulanır.



Şekil 4.7. Standart dikdörtgen çekme test numunesi

Tablo 4.6. Dikdörtgen kesitli numune boyutları (mm)

G : Ölçü uzunluğu	50
W : Genişlik	12.5
T : Kalınlık	12.7
R : Yuvarlatma yarı çapı	12.5
L : Uzunluk	200
A : Gövde uzunluğu	57
B : Kavrama uzunluğu	50
C : Kavrama genişliği	20



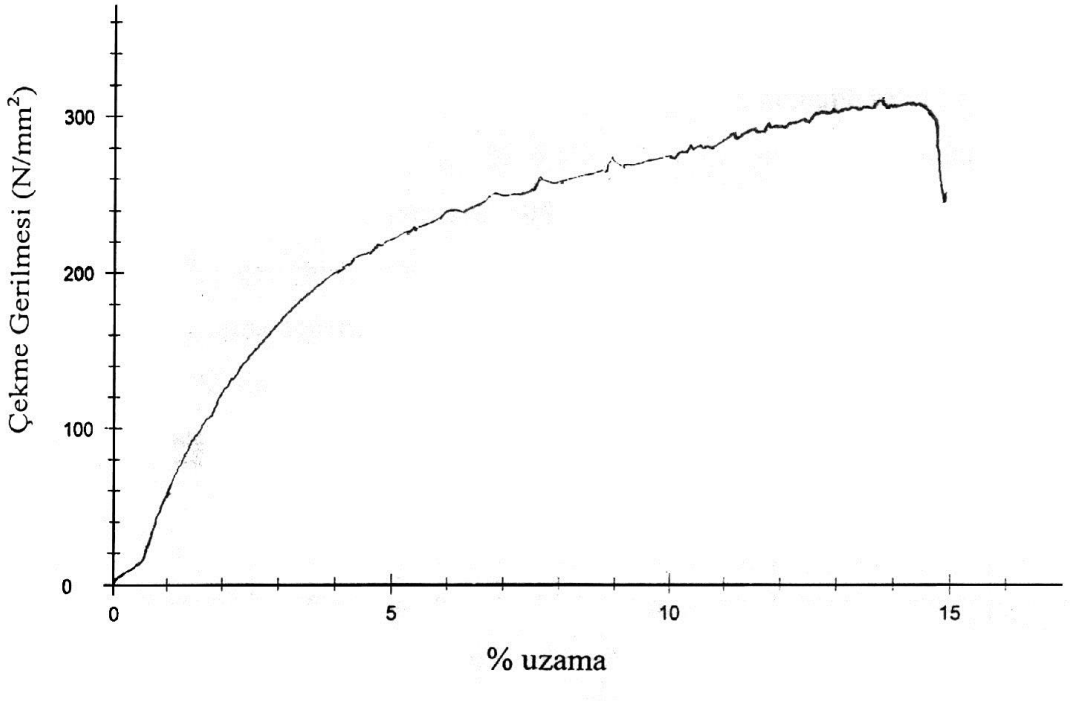
Şekil 4.8. 7039 alaşımının çekme testi numunesi

Çekme testi her iki alaşım grubundan dörder numuneye uygulanmış olup; "Armor Plate" standardında 7039 alaşımının çekme değerleri, kalınlığı 25.4 mm.`ye kadar olan parçalarda çekme dayanımı $\sigma_ç$ = 412 MPa, kalınlığı 25.4 mm. üzerindeki parçalarda $\sigma_ç$ = 391 MPa olduğu belirtilmektedir. Al 7039 alaşımının çekme dayanımı St 42 çeliğinin dayanımına ulaşabilmektedir.

Tablo 4.7. 7039 alaşımının çekme testi sonuçları

No	σ_a MPa	$\sigma_ç$ MPa	Fm KN	Agt %	At %	A_o mm	B_o mm	L_o mm	S_o mm^2
1	117	296	46.672	10.43	13.74	12.7	12.5	19.97	158.75
2	111.8	318.5	50.198	11.36	11.73	12.7	12.5	19.97	158.75
3	108.33	318.4	50.181	11.17	11.37	12.7	12.5	19.83	158.75
4	127.8	268	42.236	6.42	9.47	12.7	12.5	19.81	158.75

σ_a = Akma dayanımı
$\sigma_ç$ = Çekme dayanımı
Fm = Maksimum kuvvet
Agt = Maksimum kuvvette uzama yüzdesi
At = Kopma toplam uzama yüzdesi
A_o = Numune kalınlığı
B_o = Numune genişliği
L_o = Kuvvet uygulanmadan önceki ölçü uzunluğu
S_o = Numunenin ilk kesit alanı
$\sigma_{ç\ ort}$ = 300.2MPa



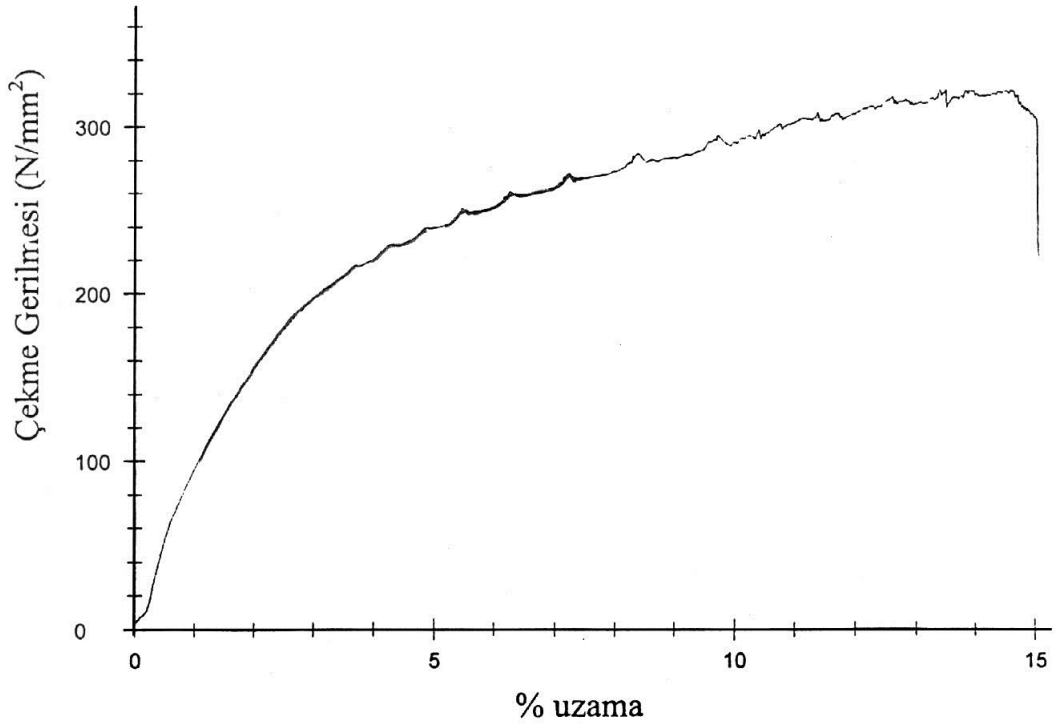
Şekil 4.9. 7039 alaşımının çekme testi grafiği

Aluminum alloy 5083 plate and sheet standardında, kalınlığı 4.8 mm. ile 38.1 mm. olan parçalarda $\sigma_{ç\ min}$ = 302 MPa ve $\sigma_{ç\ max}$ = 384.4 MPa; kalınlığı 38.1 mm. ile 76.2 mm. arası olan parçalarda $\sigma_{ç\ min}$ = 282 MPa ve $\sigma_{ç\ max}$ = 385 MPa olduğu belirtilmektedir. Bu değerlerin St 37 gibi basit yapı çeliklerinin sahip oldukları çekme dayanım değerlerine yakın oldukları görülmektedir.

Tablo 4.8. 5083 alaşımının çekme testi sonuçları

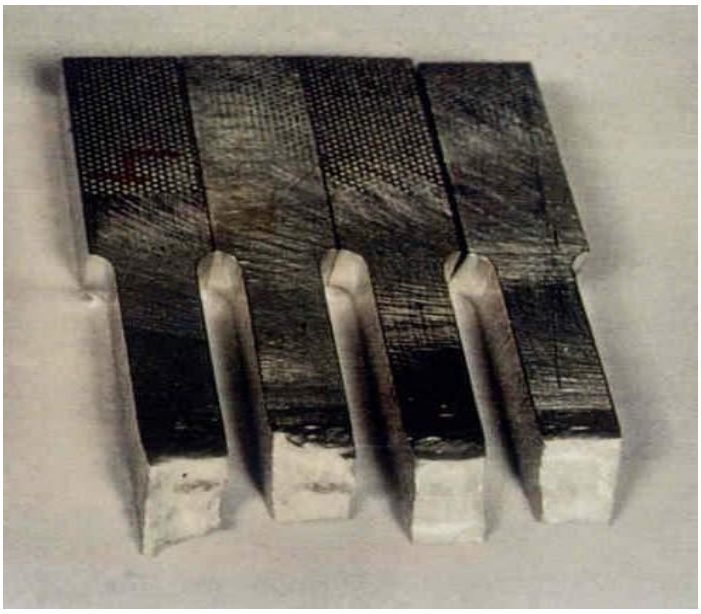
No	σ_a MPa	$\sigma_ç$ MPa	Fm KN	Agt %	At %	A_o mm	B_o mm	L_o mm	S_o mm^2
1	119	311.8	49.153	14.69	15.79	12.7	12.5	19.82	158.75
2	122	306	48.227	13.55	14.63	12.7	12.5	19.84	158.75
3	117.3	315.8	49.780	14.47	16.56	12.7	12.5	19.86	158.75
4	121.7	316	49.818	13.45	15.02	12.7	12.5	19.84	158.75

$\sigma_{ç\ ort}$ = 312.4 MPa



Şekil 4.10. Dördüncü 5083 alaşım numunesinin çekme testi grafiği

Kaynaklanmış parçalarda dayanımın en düşük olduğu bölge ısı etkisiyle, tanelerin irileşmesi ve yaşlandırma ısıl işlemi ile sertleştirilen 7039 alaşımında seyrek halde bulunan çökeltilerin toplanmaya başlaması sonucu ITAB`da gözlemlenmekte ve kopmalar burada meydana gelmektedir.



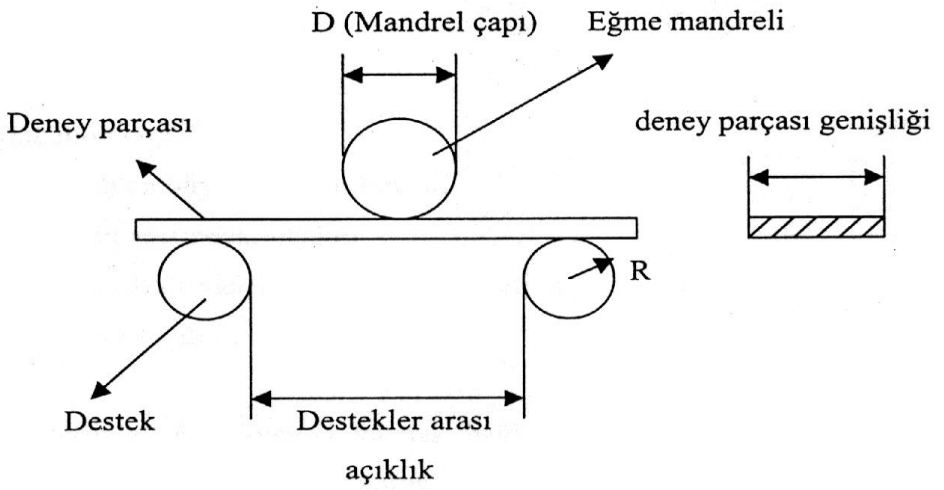
Şekil 4.11. Numunelerin çekme testi sonrası kırık yüzeylerinin makro görünümü

7039 ana malzemesinin % uzaması 38 mm. kalınlığa kadar olan parçalarda % 9, 38 38 mm.`nin üzerinde ise % 8 dir. Kaynaklı numunelerdeki ortalama kopma toplam uzama yüzdesi At_{ort} = % 11.57 olarak tesbit edilmiştir. Yüzde uzama oranları kaynaklı numunelerde ana metalinkinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kaynak telinin kimyasal bileşiminin sünekliği arttırmasıdır. Numunelerin ortalama çekme dayanımı $\sigma_{ç\ ort}$ = 300.2 MPa dır. Elde edilen dayanım değerleri, ana metal değerlerinden düşüktür.

5083 ana malzemesinin uzaması % 12 dir. Kaynaklı numunelerdeki ortalama kopma toplam uzama yüzdesi At_{ort} = % 15.5 olarak belirlenmiştir. Numunelerin ortalama çekme dayanımı $\sigma_{ç\ ort}$ = 312.4 MPa dir. Yapılmış olan testlerde ulaşılan çekme dayanımı değerleri ana malzeme için belirtilen dayanım değerleri arasındadır. 5083 alaşımı hem daha kolay kaynaklanabilir hem de elde edilen dayanım değerleri imalatta daha güvenilirdir.

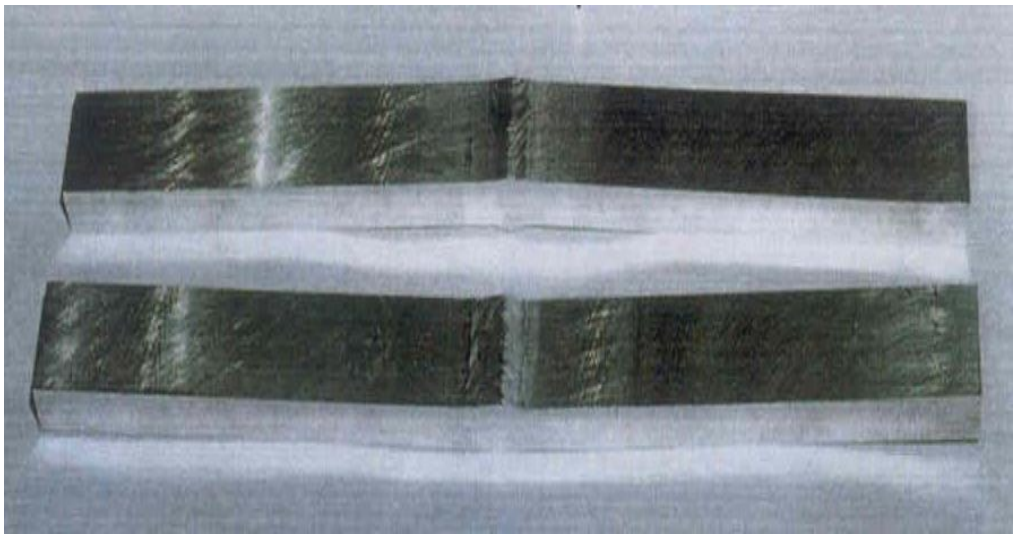
4.1.2. Eğme Testi

Kaynaklı birleştirmelerde eğme testi alın yöntemiyle birleştirilmiş parçalara uygulanmaktadır. Bu test ile kaynağın değişik açılarda şekil değiştirme yeteneği kontrol edilir. Kontrolü yapılan parçaların dış kısmında çatlama oluncaya kadar eğme işlemine devam edilir; çatlaklar oluştuktan sonra uygulanan yük durdurulur ve eğilme açısı ölçülür.



D = 15 mm. A = 12.7 mm. $L_o = D+3A\pm A/2 \cong 59$ mm. (4.1)

Şekil 4.12. Eğme test düzeneği



Şekil 4.13. Eğme test numunesi

Tablo 4.9. 7039 alaşımının eğme test sonuçları

No	Deney	Maksimum kuvvet (KN)	Çatlama açısı (^{o})		Eğme momenti (KN)	Eğme dayanımı (MPa)	Yüzey durumu
			1.açı	2.açı			
1	Üç noktadan eğme	33.735	56.5	123.5	497.592	740.4	Eğme çatlağı oluştu
2	Üç noktadan eğme	34.814	48	132	484.574	721	Eğme çatlağı oluştu
3	Üç noktadan eğme	34.814	53	127	513.503	764	Eğme çatlağı oluştu
4	Üç noktadan eğme	32.362	53	127	477.341	710.3	Eğme çatlağı oluştu

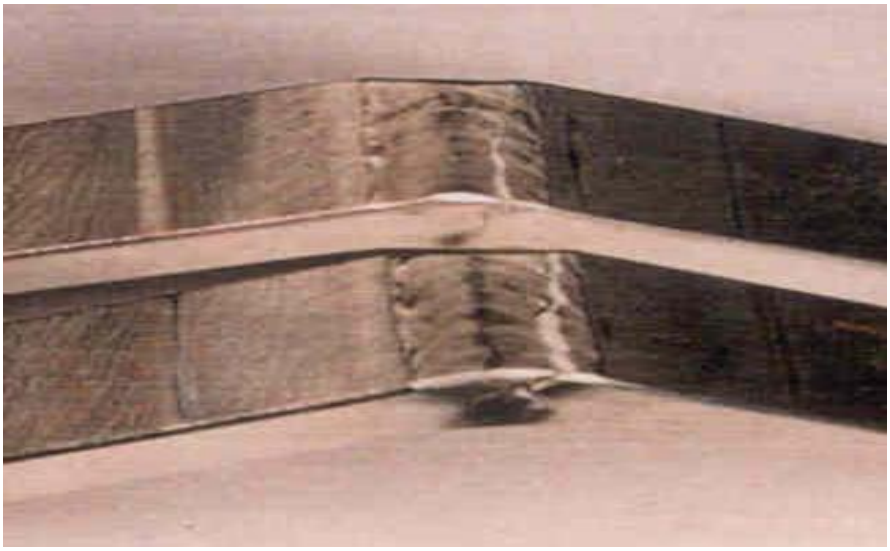
Ortalama eğme dayanımı = 734 MPa

Tablo 4.10. 5083 alaşımının eğme testi sonuçları

No	Deney	Maksimum kuvvet (KN)	Çatlama açısı (^{o})		Eğme momenti (KN)	Eğme dayanımı (MPa)	Yüzey durumu
			1.açı	2.açı			
1	Üç noktadan eğme	31.381	65	115	462.876	688.43	Eğme çatlağı oluştu
2	Üç noktadan eğme	30.107	59	121	444.072	660.77	Eğme çatlağı oluştu
3	Üç noktadan eğme	29.910	80	100	441.174	656.46	Eğme çatlağı oluştu
4	Üç noktadan eğme	29.420	59	121	433.946	645.67	Eğme çatlağı oluştu

Ortalama eğme dayanımı = 662 .83 MPa

Test sonucu parçalarda çatlamalar kaynak metalinde gözlemlenmektedir.



Şekil 4.14. Test sonrası çatlak yüzeyler

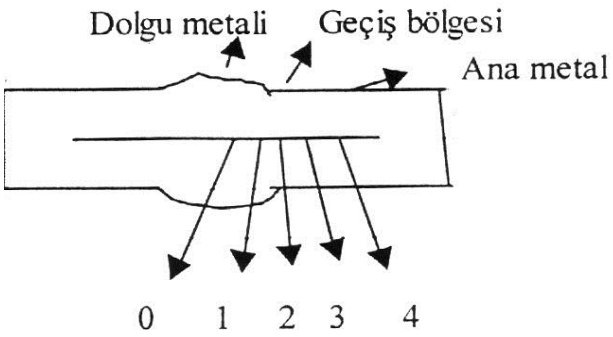
4.1.3. Sertlik Testi

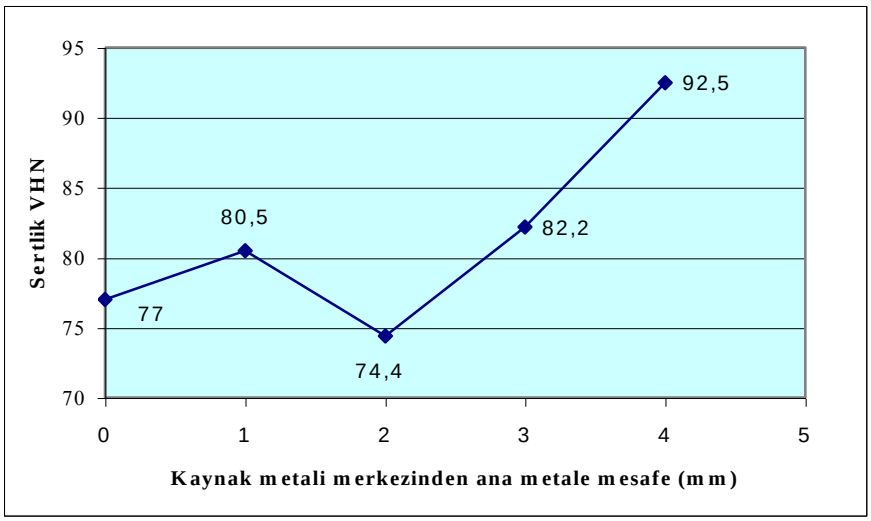
Sertlik testinde, sert bir cismin malzeme yüzeyine batırılması suretiyle malzemenin gösterdiği direnç ölçülür. Vickers sertlik ölçme yönteminde tepe açısı 135^{o} olan elmas piramit belirli yük altında bir süre sertliği ölçülecek malzeme yüzeyine batırılır.Yükün kaldırılmasından sonra malzeme yüzeyinde piramit şeklinde iz kalır; bu izin köşegenleri ölçülerek malzeme yüzeyinin sertliği belirlenir. Vickers sertlik değeri (VHN), kgf cinsinden ifade edilen "F" yükünün piramit şeklindeki izin alanına bölünmesiyle bulunur.

$$VHN = \frac{\text{Deney yükü}}{\text{İz alanı } (mm^2)} \qquad (4.2)$$

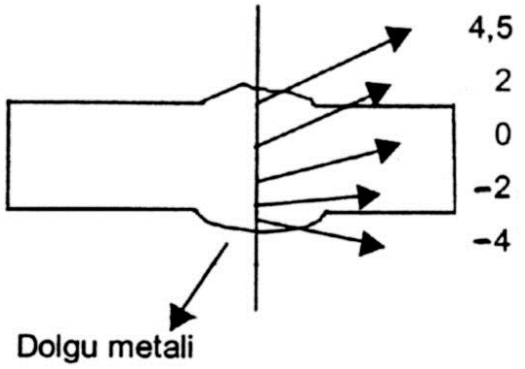
Deney cihazı : ZWICK 3212 Vickers sertlik ölçme cihazı
Uygulanan yük : 0.2 kg.
Batma süresi : 15 sn.
Mercek büyültme : 600X
Ölçülen diagonal adedi : 2 (d_1+d_2)
Batma miktarı : Dolgu metaline 5 , ITAB`a 5

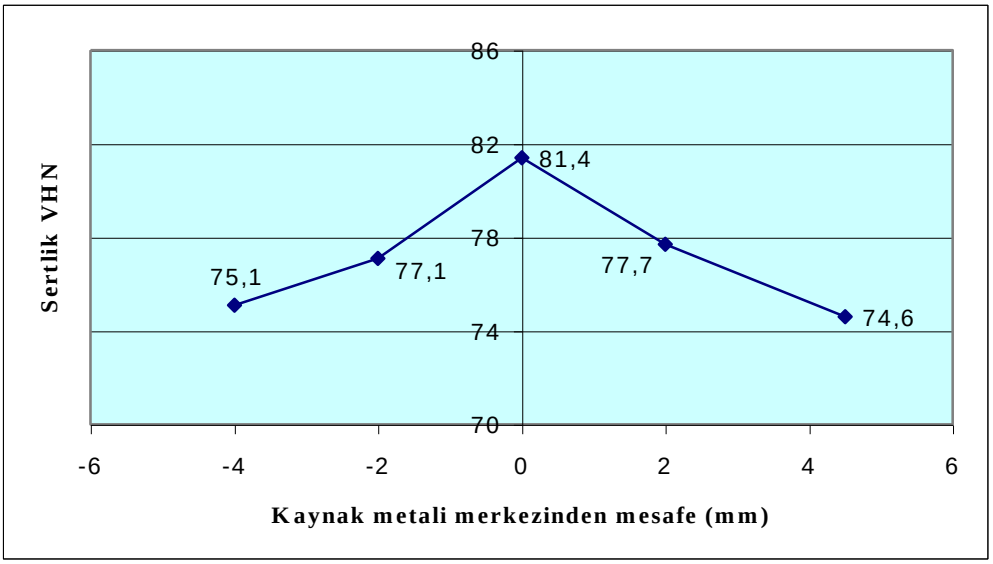
Malzemelerin kaynaklanması sürecinde ısı girdisinden dolayı tane yapısında irileşme ve bunun sonucunda sertliklerinde azalmalar olur. Meydana gelen sertlik azalmasında, uygulanan ısı miktarı ve kaynak parametreleri belirleyici faktörlerdir.





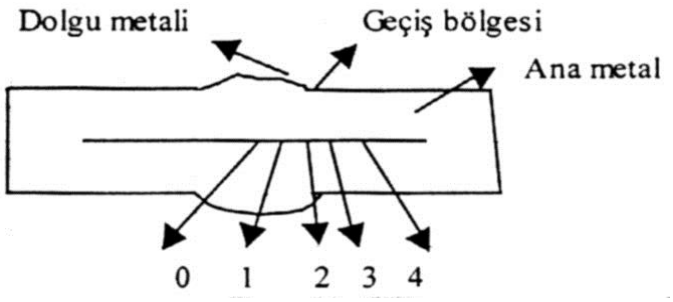
Şekil 4.15. 5083 alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği

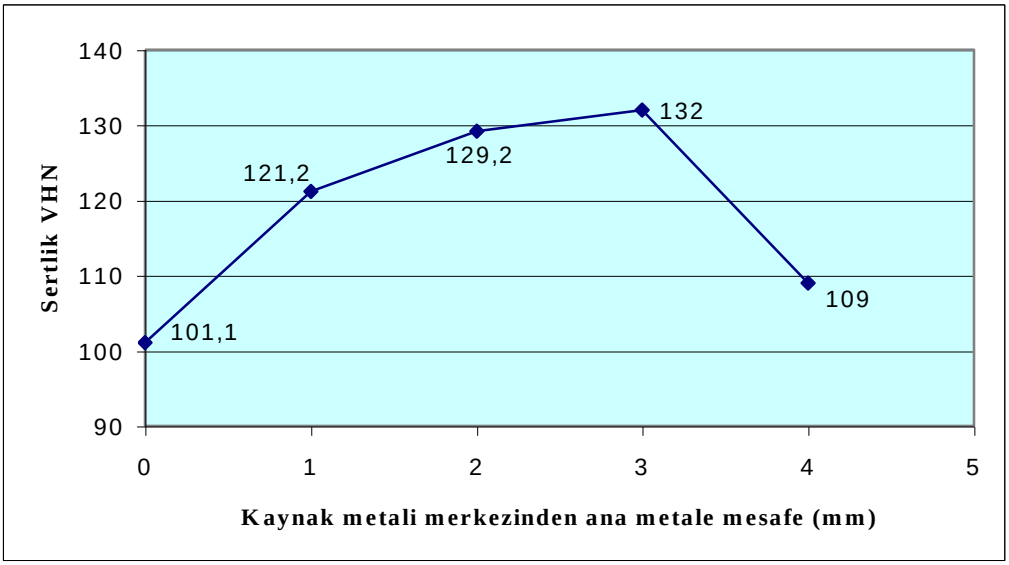




Şekil 4.16. 5083 alaşımının kaynak dolgu metali sertlik grafiği

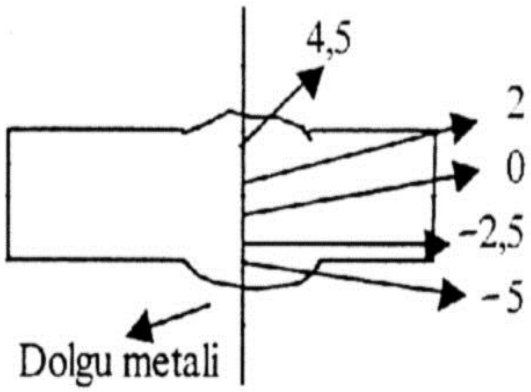
Sertlik değerleri arasındaki küçük farklılıklar çekilen pasoların birbiri üzerindeki tavlama etkisinden kaynaklanmaktadır. Sonraki paso öncekisine tavlama, öncekisi ise sonrakisine ön ısıtma yapmaktadır.

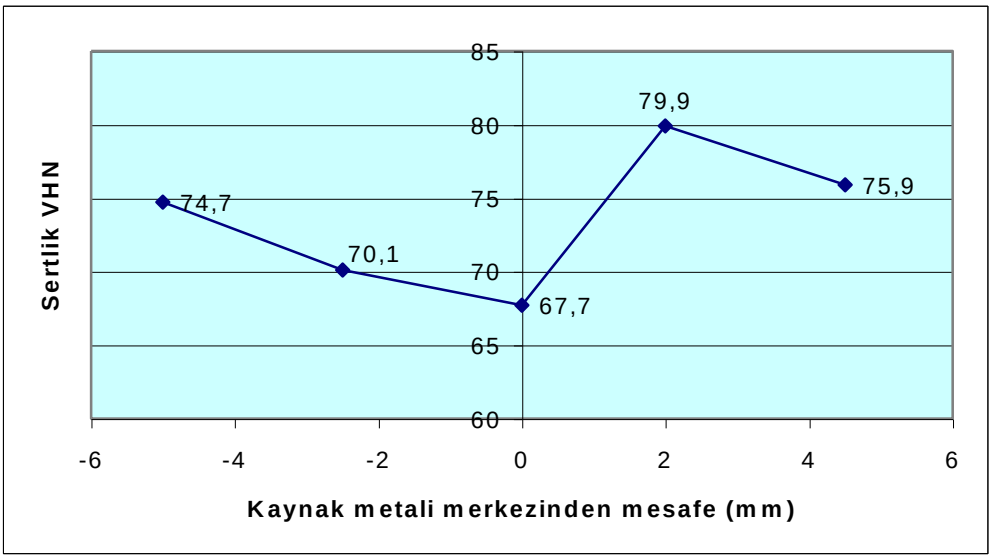




Şekil 4.17. 7039 alaşımının kaynak bölgesi sertlik grafiği

Sertlik değerlerinin kaynak metaline doğru artmasının sebebi kaynaktan sonra test edilen parçaların bekletilmesinden ötürü yaşlanma etkisidir.





Şekil 4.18. 7039 alaşımının kaynak dolgu metali sertlik grafiği [4]

5. SONUÇ

5083 ve 7039 alüminyum alaşımları hafiflikleri, St 37 ve 42 yapı çeliklerine yakın mukavemet değerlerine sahip olmaları, tokluğu ve yüksek seviyede korozyon dirençleri sebebiyle zırhlı muharebe aracı imalatında kullanılmaktadırlar.

İstenilen tasarım kriterlerinin sağlanabilmesi için kaynaklı birleştirmede alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliğini güçleştiren özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu özellikler yüzeyinde oluşan oksit tabakası, yüksek ısıl iletkenliği, ısıl genleşme katsayısı ve düşük ergime sıcaklığıdır. Uygulanacak kaynak yönteminin özellikleri kullanılan alaşımların kaynak edilebilirliği ve birleştirmenin mekanik özellikleri üzerinde son derece etkilidir. Bu sebeple 5083 ve 7039 alaşımlarının, kutuplama etkisiyle oksit tabakasının kırılması, koruyucu gaz kullanımından ötürü korozyona sebep olan dekapan kalıntılarının olmaması, yüksek kaynak hızından ötürü çarpılma riskinin az olması, ısı tesiri altındaki bölgenin dar olması, kalınlık sınırlaması olmamasından ötürü en uygun olarak MIG yöntemiyle birleştirilmeleridir.

Alaşımların kaynak edilebilirliği sıcak çatlak ve gözenek oluşturmama özellikleri ile tanımlanır. Sıcak çatlak alaşımın kimyasal bileşimi, kaynak hızı ve kullanılan kaynak telinin bir fonksiyonudur. Gözenek ise kaynak bölgesinin ve telin kirliliği ve erimiş metalin hava ile teması sonucu hidrojen çözünümü ile oluşur. Zırhlı araç imalatında en sık karşılaşılan hata gözenekliliktir.

5083 ve 7039 alaşımlarının kaliteli kaynak bağlantısı için laboratuvarlarda tespit edilmiş ve çeşitli tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilmiş kaynak parametreleri, kaynak teli cinsi ve ağız şekillerine mutlak surette riayet edilmelidir.

Yapılmış olan testlerde 5083 alaşımının çekme dayanımı belirtilen limit değerlerinde fakat 7039`un daha düşük seviyede, eğme testi sonucunda ise 7039 alaşımının daha yüksek dayanıma, sertlik testi sonuçlarında ise 5083 alaşımının kaynak bölgesinde

sertlik değerinin ana metalden düşük seviyede, 7039 `un ise kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin ana metale göre yaşlanma etkisiyle daha yüksek olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] YÜKLER, İ., 2002, M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, kişisel görüşme

[2] TÜLBENTÇİ, K., 1990, Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, Böhler Yayını İstanbul

[3] TEKİN, E., 1982, Demir Dışı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi, Segem, Ankara

[4] ERDEM, M., 2001, Alüminyum alaşımlarının (5083 ve 7039) kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özelliklerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

[5] OĞUZ, B., 1990, Demirdışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon Yayını, İstanbul

[6] ERDOĞAN, M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt 1, Nobel Yayın Dağıtım Ltd.Şti.

[7] Welding Aluminum Theory and Practice, Alüminum Association, 1991

[8] ÇELİK, U., 1998, Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyeti, Bitirme Tezi O.G.Ü. Eskişehir

[9] TÜLBENTÇİ, K.,1998, MIG/ MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arctech Yayını İstanbul

[10] ÇALIŞKAN, Ö., 1994, Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği ve Bunlara Uygulanan Kaynak Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, M.Ü. İstanbul

[11] Metals Handbook Vol. 6, Welding and Brazing, ASM , 8 th Edition

[12] Welding Kaiser Aluminum, 1969, Kaiser Aluminum and Chemical Sales Inc. California

[13] Welding Handbook, Vol. 3, Materials and Applications Part 1, 8 th Edition, AWS

[14] GÜRDAŞ, M., 1999, Kaynaklı konstrüksiyonlarda alüminyum ve alaşımlarının kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ TÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[15] Savunma Sanayiindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, 1997, KHO., Ankara

[16] **OGORKIEWICZ, R.M.,** 1991, Technology of Tanks, Jane`s Information Group, United Kingdom

[17] **www.army-technology.com/contractors / armoured/fmc_nurol/index.html, 4 Nisan 2002**

[18] ASM Speciality Handbook Aluminum and Aluminum Alloys

ÖZGEÇMİŞ

1971 İstanbul doğumlu olan Cengiz SEVİNÇ, 1993 yılında Kara Harp Okulu`ndan Ulaştırma Teğmen olarak mezun olmuş, Kara Kuvvetlerinin çeşitli kademelerinde görev yapmış, 2000 yılında Savunma Teknolojileri Programında yüksek lisans eğitimine başlamış olup Ankara da görev yapmaktadır.