

**DEĞİŞİK KİMYASAL KOMPOZİSYONDAKİ
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA KAYNAK (FRICTION STIR WELDING)
YÖNTEMİYLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

İLKER EKER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
HAZİRAN – 2008**

**DEĞİŞİK KİMYASAL KOMPOZİSYONDAKİ ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK (FRICTION STIR
WELDING) YÖNTEMİYLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

İLKER EKER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

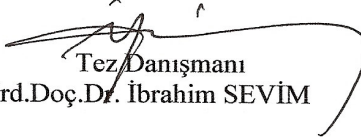
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. İbrahim SEVİM**

**MERSİN
HAZİRAN – 2008**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.


Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. İbrahim SEVİM


Jüri Üyesi
Yrd.Doç.Dr. Aydın ŞİK


Jüri Üyesi
Doç.Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarikh ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr.Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Bu çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle birleştirilen alüminyum döküm levhaların kaynak bölgelerinin değişen parametrelerle mikrosertlik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynak süresince karıştırıcı ucun devir sayısı ve kaynak ilerleme hızı değişken parametreler olarak alınmıştır. Alüminyum alaşımlı levhaların kaynağında SAE 8620 malzeme numaralı sementasyon çeliğinden imal edilmiş batıcı uç kullanılmıştır. Karıştırıcı ucun devir hızı sabitken kaynak ilerleme hızı dört farklı değerde seçilmiştir. Kaynaklı birleştirmelere metalografik ve mekanik testler yapılarak işlem parametrelerinin etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımlar, sürtünme karıştırma kaynağı, bindirme kaynağı.

ABSTRACT

In this study, the microhardness and mechanical properties of welding zones of cast aluminum sheets welded by friction stir welding method have been examined with variable parameters. During welding, rotational speed of the welding stir tool and welding speed were chosen as the variable parameters. A welding tool made of cementation steel (material number being SAE 8620) was employed in the welding of aluminum plates. Four different welding speed is considered at constant rotational speed of the mixer tip. Influence of process parameters were investigated by metallographic and mechanical tests.

Key Words : Aluminum alloys, friction stir welding, overlap welding.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	4
2.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ TANITIMI	4
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRMASI	6
2.3. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ	8
2.4. ÇEŞİTLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ	10
2.4.1. Alüminyum mangan alaşımları	10
2.4.2 Alüminyum magnezyum alaşımları	10
2.4.3 Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları	11
2.4.4 Alüminyum silisyum döküm alaşımları	11
2.4.5. Alüminyum lityum döküm alaşımları	11
2.5 ALÜMİNYUM ve ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ	12
2.5.1. Alüminyum ve alaşımlarının Gaz Kaynağı	15
2.5.2. Alüminyum ve alaşımlarının Örtülü Elektrot Kaynağı	18
2.5.3. Alüminyum ve alaşımlarının MIG Kaynağı	19
2.5.4. Alüminyum ve alaşımlarının TIG Kaynağı	22
2.5.5 Alüminyum ve alaşımlarının Elektrik Direnç Kaynağı	24
2.5.6. Alüminyum ve alaşımlarının Elektro Cüruf Kaynağı	25
2.5.7. Alüminyum ve alaşımlarının Elektrogaz Kaynağı	26

2.5.8 Alüminyum ve alaşımlarının Plazma Kaynağı	26
2.5.9. Alüminyum ve alaşımlarının Ultrasonik Kaynağı	28
2.5.10. Alüminyum ve alaşımlarının Patlama Kaynağı	29
2.5.11. Alüminyum ve alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı	29
2.5.12 Alüminyum ve alaşımlarının Difüzyon Kaynağı	33
2.5.13 Alüminyum ve alaşımlarının Yakma Kaynağı	35
2.5.14 Alüminyum ve alaşımlarının Lazer Işın Kaynağı	35
2.5.15. Alüminyum ve alaşımlarının Manyetik Puls Kaynağı	37
2.5.16 Alüminyum ve alaşımlarının Soğuk Basınç Kaynağı	39
2.5.17. Alüminyum ve alaşımlarının Sürtünme Kaynağı	40
3. MATERYAL ve METOT	43
3.1. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI	43
3.1.1. Kaynak Metalürjisi	44
3.1.2. Kaynak Parametrelerinin Etkileri	47
3.1.2.1. Malzeme kalınlığı	47
3.1.2.2. Karıştırıcı uç malzemesi ve dizaynı	48
3.1.2.2.1. Üç yivli ve helezonik takımlar	49
3.1.2.2.2. Asimetrik ve Eğik pimler (batıcı uçlar)	51
3.1.2.3. Takım ilerleme hızı ve takım devir sayısı	52
3.1.2.4. Kaynak pozisyonu ve birleştirme geometrileri	52
3.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANDIĞI MALZEMELER	55
3.2.1. Bakır alaşımları	55
3.2.2. Titanyum alaşımları	55
3.2.3. Çelikler	56

3.2.4. Magnezyum alaşımları	56
3.2.5. Farklı alaşım ve metalleri	57
3.2.6. Plastikler	57
3.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI	58
3.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	62
3.5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	64
3.5.1. Deney Malzemeleri	64
3.5.1.1. Kaynak yapılacak malzeme	64
3.5.1.2. Karıştırıcı uç ve geometrisi	64
3.5.2. Deneyde Kullanılan Tezgah	65
3.5.3. Mekanik testler ve metalografik muayene için numunelerin hazırlanması	67
3.5.4. Mikrosertlik Ölçümleri	67
3.5.5. Çekme deneyleri	67
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	70
4.1. SERTLİK İNCELEME SONUÇLARI	70
4.2 ÇEKME DENEYİ İNCELEME SONUÇLARI	81
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımları için tanımlama sistemi	6
Çizelge 2.2. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri	9
Çizelge 2.3. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler	22
Çizelge 2.4. Elektron ışın kaynağı yapılmış alüminyumun ile ana metal özelliklerinin karşılaştırılması	33
Çizelge 3.1. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi	64
Çizelge 3.2. Karıştırıcı ucun kimyasal bileşimi	65
Çizelge 3.3. Kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri	66
Çizelge 4.1. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 180 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri	71
Çizelge 4.2. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 125 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri	72
Çizelge 4.3. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 90 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri	73
Çizelge 4.4. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 63 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri	74
Çizelge 4.5. n: 1400 dev/dk devir sayısı, V: 180 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri	75
Çizelge 4.6. n: 1400 dev/dk devir sayısı, V: 125 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri	76

Çizelge 4.7. n: 1400 dev/dk devir sayısı, V: 90 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri	77
Çizelge 4.8. Kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Alüminyum ve alaşımlarının oksii-asetilen ile kaynağında ağız hazırlık şekilleri	17
Şekil 2.2. Alüminyum ve alaşımlarından kalın saçların oksi-asetilen kaynağı	18
Şekil 2.3. MIG yöntemindeki ark bölgesi	21
Şekil 2.4. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi	23
Şekil 2.5. Yüksek güç plazma birleştirme kaynağı prensibi ve kaynak dikişinin alternatif kaynak yöntemleriyle karşılaştırılması	27
Şekil 2.6. Ultrasonik kaynağın şematik olarak gösterilişi	28
Şekil 2.7. Elektron ışını ile kaynak makinesinin şematik yapısı	30
Şekil 2.8. TIG, plazma ve elektron ışını ile yapılan kaynaklarda erime bölgesi formunun karşılaştırılması	31
Şekil 2.9. Difüzyon kaynağının üç aşamalı mekanizması	34
Şekil 2.10. Boru tipi parçaların bindirme kaynağında çeşitli manyetik Puls kaynağı uygulamalarının şematik olarak gösterilmesi	39
Şekil 2.11. Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı	41
Şekil 3.1. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi	44
Şekil 3.2. SKK' da kaynak dikişinde oluşan soğan halkaları	45
Şekil 3.3. Kaynak bölgesinin mikro yapısının şematik olarak gösterilmesi	46
Şekil 3.4. Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde batıcı pimin eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi	48
Şekil 3.5. Helezonik takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri ve bir deniz kabuğu ile benzerliği	50
Şekil 3.6. Yivli takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri	50
Şekil 3.7. Helezonik ve üç yivli takımlarının omuz profilleri	51
Şekil 3.8. Eğik ucunun resmi	51
Şekil 3.9. Asimetrik tip uçların çalışma prensibi	52
Şekil 3.10. Sürtünme karıştırma Kaynak Yönteminde gerçekleştirilen	

birleştirmeler	53
Şekil 3.11. Sürtünme karıştırma bindirme kaynağının şematik gösterimi	53
Şekil 3.12. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin boru kaynaklarında uygulaması	54
Şekil 3.13. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen alüminyum alaşımı prototip otomobil jantı	60
Şekil 3.14. Japonya 'da sürtünme karıştırma kaynağının kullanıldığı hızlı tren ve bu yöntem ile kaynağı yapılan Al-paneller	60
Şekil 3.15. Yüksek hız feribotlarında kullanılan alüminyum ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi	61
Şekil 3.16. Space shuttle external tank projesi ve Marshall Space Flight Center laboratuvarlarındaki sürtünme karıştırma kaynak sistemlerinden görüntüler	62
Şekil 3.17. Karıştırıcı ucun geometrisi	65
Şekil 3.18. Kaynak işleminin gerçekleştirildiği freze tezgahı	66
Şekil 3.19. Çekme deneyi için bağlama aparatı	68
Şekil 3.20. Kaynaklı malzemeden çıkartılan çekme deney numunesi şekli ve ölçüleri	69
Şekil 4.1. n: 1100 dev/ dak ve V:180 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	71
Şekil 4.2. n: 1100 dev/ dak ve V:125 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	72
Şekil 4.3. n: 1100 dev/ dak ve V:90 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	73
Şekil 4.4. n: 1100 dev/ dak ve V:63 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	74
Şekil 4.5. n: 1400 dev/ dak ve V:180 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	75
Şekil 4.6. n: 1400 dev/ dak ve V:125 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	76
Şekil 4.7. n: 1400 dev/ dak ve V:90 mm/dak kaynak parametresinde	

kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	77
Şekil 4.8. n: 1400 dev/ dak 1100 dev/dk ve V:180 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	78
Şekil 4.9. n: 1400 dev/ dak 1100 dev/dk ve V:125 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	78
Şekil 4.10. n: 1400 dev/ dak 1100 dev/dk ve V:90 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı	79
Şekil 4.11. n: 1100 dev/ dak ilerleme hızındaki artışla sertlik değişimi	79
Şekil 4.12. n: 1400 dev/ dak ilerleme hızındaki artışla sertlik değişimi	80
Şekil 4.13. Kaynak bölgesi ortalama sertliği ve ölçüm aralığı arasındaki değişim	80
Şekil 4.14. n: 1400 dev/dk 1100 dev/dk devir sayılarında ilerleme hızı ile akma mukavemetinin değişimi	82
Şekil 4.15. n: 1400 dev/dk 1100 dev/dk devir sayılarında ilerleme hızı ile kesme mukavemetinin değişimi	82

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

n

V

AC

DADK

DATK

DC

IEAB

MIG

NASA

SKK

TIG

TMEB

Açıklama

Devir sayısı (dev/dk)

İlerleme hızı (mm/dk)

Alternatif akım

Doğru akım düz kutup

Doğru akım ters kutup

Doğru akım

Isı etkisi altındaki bölge

Metal Inert Gaz

Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

Sürtünme karıştırma kaynağı

Tungsten Inert Gaz

Termomekanik etkilenen bölge

1. GİRİŞ

1990' lı yılların başında geliştirilen ve bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) (friction stir welding), alışlagelmiş ergitme kaynak işlemleriyle kaynağı güç olan veya mümkün olmayan özelliklerle yaşlandırma sertleştirmesine tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarının kaynağında başarıyla kullanılabilir [13].

Bir malzemenin ekonomik olarak kaynak edilebilirliği, o malzemenin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ve o malzemedeki parça tasarımını ve üretim yönteminin tayin edilmesini belirleyen bir özelliğidir. Lazer teknolojisindeki yeni ilerlemeler birçok malzemenin kaynak edilebilmesine olanak sağlamış ve değişik uygulamalarda bu malzemelerin kullanılmasını mümkün kılmıştır. Fakat bu kaynak yöntemi alüminyum alaşımlarının kaynağında ekonomik olarak kullanılamamaktadır.

İngiliz Kaynak Enstitüsü'nde alüminyum ve alüminyum alaşımları için bu kaynak yöntemi ile oluşturulacak birleştirmeler üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışma sonuçları göstermektedir ki, bu yöntem gerek yaşlandırma sertleşmesi yapılmış gerekse yaşlandırma sertleşmesi yapılmayan (1xxx ve 5xxx serileri gibi) alüminyum ve alaşımlarında başarılı ve güvenli bağlantıların ortaya çıktığını gözlemlenmiştir [6].

Bir malzemenin kaynak konstrüksiyonuna uygun olması diğer bir deyişle bir malzemenin kaynak işleminin kolaylıkla ve ekonomik olarak yapılabilir olması o malzemenin yaygın olarak kullanılabilmesini sağlar. Bazı istisnaları hariç (7075 alaşımı gibi), ticari olarak ark kaynağı gibi ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilebilse de, alüminyum alaşımları kaynak edilmesi güç malzemelerdir. Ergitme kaynak yöntemleri (ark, lazer ve elektron kaynağı) ve bir basınç kaynağı türü olan difüzyon kaynağı gibi bilinen kaynak yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının kaynaklarında çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunlar arasında, vakum ortamında yapılan elektron kaynağı hariç tüm diğer ergitme kaynaklarında porozite (gaz boşluğu) oluşumu, kaynak dikişi ve ısı etkisi altındaki bölgede (IEAB) çatlak oluşumu ve mukavemet düşüşü sayılabilir. Ticari olarak Titanyum alaşımlarına başarıyla uygulanan katı hal kaynak yöntemlerinden difüzyon kaynağı da yüzeylerindeki

kararlı oksit tabakasından dolayı alüminyum alaşımlarına ekonomik olarak uygulanamamaktadır [7].

Ergitme kaynak yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının (özellikle yaşlandırma sertleştirme yapılmış olan alüminyum alaşımlarının) kaynağında aşırı derecede çatlak ve porozite oluşumu gibi problemler mevcuttur. Bu problemlerden çatlak oluşumunun nedeni, alüminyum alaşımlarının katılma sıcaklık aralıklarının geniş olması ve ısıl genleşme katsayılarının yüksek olmasıdır. Ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi, bu malzemelerin ısıl genleşmelerinin yüksek olması ve katılma sıcaklık aralıklarının geniş olması sonucu, özellikle çatlama daha duyarlı yaşlandırma sertleştirme yapılmış alüminyum alaşımlarında birinci problem kaynak dikişinde çatlak oluşumuna neden olur. Ayrıca, ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi, özellikle yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında ısı etkisi altındaki bölge (IEAB)' de tane sınırlarında düşük ergime sıcaklıklı fazların oluşumuna ve dolayısıyla bu bölgede tane sınırlarında katılma esnasında çatlama yol açabilir. İkinci problem olan kaynak dikişinde porozite oluşumunun nedeni ise; alüminyumun sıvı halde hidrojen çözünürlüğünün katı haldekinden çok daha yüksek olmasıdır. Vakum ortamında yapılan elektron kaynağı yöntemi porozite açısından en avantajlı ergime (sıvı hal) kaynak yöntemidir. Fakat yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu elektron kaynağında, vakum ortamında yapıldığı için düşük buharlaşma sıcaklığına sahip alaşım elementleri içeren alüminyum alaşımlarında kaynak dikişinde alaşım elementi kaybı, dolayısıyla mukavemet düşüşü söz konusu olabilmektedir [7].

Ayrıca bakır alaşımları, kurşun, titanyum alaşımları ve magnezyum alaşımları, metal matrisli alüminyum kompozitlerde de bu yöntemin uygulanmasına başlanmıştır [36].

Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminde, maliyet arttırıcı bir faktör olan elektrot ve koruyucu gaz kullanımı söz konusu değildir. İş kazalarına yol açabilecek ark oluşumu, radyasyon, toksit gaz çıkışı veya insan gözüne zararlı lazer ışını gibi olumsuz durumlar bu yöntemde mevcut olmadığı için temiz ve çevreci bir işlemdir. Ayrıca, toplam ısı girdisinin düşük olduğu bir katı hal kaynak yöntemi olduğundan ergitme kaynaklarında karşılaşılan çatlak ve porozite oluşumu söz konusu değildir. Alüminyum alaşımlarının tüm kaynak

yöntemlerinde karşılaşılan kaynak bölgesindeki mukavemet kaybı bu yöntemde düşük ısı girdisinden dolayı daha düşük seviyededir [9].

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ TANITIMI

Alüminyumun endüstri alanına girişi, kurşun ve çinkoya oranla daha sonra olmuş ise de, endüstri alanındaki hızlı gelişme ve mekanik özellikleri iyi olan malzemeye ihtiyaç talebi alüminyumu demir çelik alaşımlarından sonra ikinci sıraya çıkarmıştır.

Alüminyum endüstrisindeki hızlı büyüme bu metalin eşsiz özellik bileşimi atfedilmektedir. Bu özellikler alüminyumu çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve alaşımları, kopma olmaksızın çelikte aynı yükü taşımaları halinde aynı kesit ve boy için çelikten daha hafiftir. Alüminyum iyi elektriksel ve ısı iletkenliğin yanında yüksek ısı ve ışık yansımaları özelliklerine de sahiptir. Pek çok hizmet şartlarında korozyon direnci oldukça iyi ve zehirsizdir. Alüminyuma döküm yöntemiyle değişik şekiller verilebilir ve iyi yüzey kalitesi verir. Alüminyumun bu üstün özellikleriyle mühendislik malzemesi olarak büyük önem kazanmıştır [31].

Alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ olup çelik ($7,83 \text{ g/cm}^3$) ve bakırın ($8,93 \text{ g/cm}^3$) yoğunluğuyla kıyaslandığında, yaklaşık üçte biri kadardır. Mukavemeti çelikten düşük olsa da, kesit artırılarak çeliğe eşdeğer mukavemet sağlanmaktadır. Birçok konstrüksiyonda alüminyum alaşımların kullanılması ağırlıkta düşme yaptığı için avantaj sağlamaktadır. Doğru yapılan bir yapı tasarımında alaşımsız çelik yerine alüminyum kullanmak konstrüksiyon üzerine %50 den fazla hafifleme sağlar [10].

Avrupa Alüminyum Birliği alüminyum üreticileri için en büyük kullanım sektörünün taşımacılık olduğunu bildirmektedir. Burada özellikle otomobiller, hava taşıtları ve gemi sektörü en önemli kullanım alanlarıdır. Bunun yanında ambalaj sektörü, taşımacılık sektörünü büyük bir gelişme hızı ile takip etmektedir [41].

Alüminyum mukavemet, güvenlik ve konfordan vazgeçmeden, boyutları küçültmeden bir otomobil dizayn edilmesinde kullanılabilecek en önemli konstrüksiyon malzemesidir.

Alüminyum ve alaşımları otomobillerde genellikle döküm alaşımı olarak, hareket sistemi, motor bloğu kutusu gibi parçaların üretiminde kullanılırken, döküm alaşımları dışında levha, profil gibi değişik üretim teknikleri ile üretilmiş parçalar kasa ve soğutma sistemi gibi aksamalarda kullanılmaktadır [41]

Korozyon dayanıklılığı ve konstrüksiyona hafiflik kazandırdığı için otomobil, kamyon, tren, deniz taşıtı gibi nakliye araçlarında hem döküm hem de dövme alaşımlar kullanılmaktadır. Alüminyum kullanımının yaklaşık %25 'i taşıt araçlarının üretimine aittir. Taşıt araçları ne kadar hafif olursa olsun, hareket etmeleri için daha az enerjiye ihtiyaç duyulur. Böylece aracın ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini düşürmekte, buna karşın yük kapasitesini artırmaktadır. Günümüzde yaklaşık olarak bir otomobilde 50 kg alüminyum kullanılmaktadır. Bu sayede, yaklaşık 100 kg demir-çelik ve bakırdan tasarruf sağlanmaktadır. Yapılan hesaplar sonucunda, üretiminde alüminyum kullanılan bir otomobilin, yeterince alüminyum kullanılmamış otomobile göre ekonomik ömrü boyunca 1500 Lt daha az yakıt harcadığı tespit edilmiştir. Avrupa'da tüketilen alüminyumun yaklaşık üçte biri ulaşım sektörü tarafından kullanılmaktadır.

Bir uçağın ağırlıkça ortalama %70' i alüminyumdan oluşmaktadır. Alüminyum alaşımlarının hafifliğinin yanı sıra sağlamlığı ile de havacılık sektörünün gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. Alüminyum-lityum alaşımları ile uçakların %15 hafiflemesi mümkündür. Alüminyum olması halinde modern hava taşımacılığında ve uzay sanayinden bahsedilemeyeceği açıktır. Alüminyum hava, su, tuzlu su, petro-kimyasal ve birçok kimyasal sistem ortamlarında yüksek korozyon dirençleri gösterir. Deniz araçlarında, alüminyum süper yapı sistemleri ile ağırlık merkezi daha aşağıya çekilmekte ve böylece araçların dengesi artırılmakta ve daha çok hacim sağlanmaktadır [12].

Diğer taraftan, alüminyum genellikle yorulma zorlanması altında yorulma dayanım sınırı göstermez ve bu nedenle kırılma oldukça düşük gerilmede oluşur. Ergime sıcaklığının düşük olmasından dolayı, alüminyumun yüksek sıcaklıklardaki performansı iyi değildir. Alüminyum düşük sertliğinden dolayı zayıf aşınma direncine sahiptir [4].

2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRMASI

Alüminyum alaşımları üretim metotları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirilen dövme alaşımlar, döküm alaşımlardan oldukça farklı mikro yapı ve bileşimlere sahiptirler. Her ana grup içindeki alaşımlar, ısıtım işlem yapılabilir ve yapılamaz alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılabilirler. Isıtım işlem yapılabilir alaşımlar, yaşlandırma işlemi ile sertleştirilebilirken, ısıtım işlem yapılamayan alaşımlar ise katı eriyik sertleşmesi, pekleşme ve dağılım (dispersiyon) sertleştirilmesi ile mukavemetlendirilirler. Dövme alaşımlarında dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi, alüminyum ve alüminyum alaşımlarını dökülmüş ve dökümhane ingotu şeklinde tanıtmada kullanılır. İlk basamak alaşım grubunu gösterir. Bir kesir işaretiyle diğerlerinden ayrılan son basamak ürünün biçimini, örneğin dökümler veya ingotu gösterir. Esas alaşım sınırlarının tanımlanması sayısal tasarımdan önce bir seri harfle gösterilir. Örneğin, Harf “x” deneysel alaşımlar için kullanılır. Bununla beraber alüminyum döküm alaşımları daha yaygın olarak üç basamakla tanımlanır [32]. Dövme ve döküm alüminyum alaşımları Çizelge 2.1.’ de belirtilen numara sistemi ile tanımlanmaktadır [4].

Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımları için tanımlama sistemi [4].

Dövme alaşımlar	
1XXX	Ticari saflıkta Al (>%99Al) Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Mn Yaşlandırılmaz
4XXX	Al-Si ve Al-Mg-S Eğer magnezyum varsa yaşlandırılabilir
5XXX	Al-Mg Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Mg-Zn Yaşlandırılabilir

Döküm alaşımlar	
1XX.X	Ticari saflıkta Al Yaşlandırılmaz
2XX.X	Al-Cu Yaşlandırılabilir
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si Biraz yaşlandırılabilir
4XX.X	Al-Si Yaşlandırılmaz
5XX.X	Al-Mg Yaşlandırılmaz
7XX.X	Al-Mg-Zn Yaşlandırılabilir
8XX.X	Al-Sn Yaşlandırılabilir

Temper tasarımları; alaşım tasarımlarını takip eder ve bir önek (örneğin 3003-Q) ile ayrılır. Bir temel temperin alt bölümleri tekrar bir veya daha çok ilave basamaklarla (örneğin 3003-H14) takip edilir.

Temel Temper durumları

- F** Üretildiği gibi. Pekleşme üzerine kontrol yok; mekanik özellikler sınırlaması yok
- O** Tavlanmış ve yeniden kristallenmiş. En düşük dayanım ve en yüksek sünekliğe sahip Temper.
- H** Pekleştirilmiş (alt bölümler için aşağıya bakınız). T F ve O' dan başka kararlı temperler üretmek için ısı işlem uygulanmış (alt bölümler için aşağıya bakınız)

Pekleştirilmiş alt bölümler

- H1x** Sadece soğuk şekillendirilmiş (x soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder).
- H12** Soğuk şekillendirme, O ve H14 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.
- H14** Soğuk şekillendirme, O ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar.
- H16** Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar.
- H18** Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar.
- H19** Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 13,789 MPa fazla dayanım sağlar.
- H2x** Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış.
- H3x** düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş [4].

Isıl işlem uygulanmış alt bölümler

- W** Çözündürme uygulanmış.
- T** Yaşlandırılmış.

- T1** Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış.
- T2** Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış.
- T3** Çözündürme uygulanmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış.
- T4** Çözündürme uygulanmış ve doğal olarak yaşlandırılmış
- T5** Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş ve yapay olarak yaşlandırılmış.
- T6** Çözündürme uygulanmış ve yapay olarak yaşlandırılmış.
- T7** Çözündürme uygulanmış ve aşırı yaşlandırma ile kararlı hale getirilmiş.
- T8** Çözündürme uygulanmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış.
- T9** Çözündürme uygulanmış, yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş.
- T10** Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış [31].

2.3. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

Saf alüminyumun özellikleri Çizelge 2.2.' de verilmiştir. Bu özellikler alüminyuma ilave elementlerin etkisi ile değiştirilebilir. Alüminyumun metal olarak özellikleri birçok durumda onun ideal ve ekonomik bir malzeme olmasına sağlar. Bu özellikler aşağıda belirtilmiştir [42];

- Uygun mekanik özelliklerle birlikte düşük ağırlık,
- Koku ve kimyasallara karşı dayanım ve sağlıklı koşullar,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Parlama ve alev almama,
- Manyetik nötralize,
- Kolay şekillendirilebilme kabiliyeti,
- Çok farklı yöntemlerle yüzey işlemleri.

Çizelge 2.2. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri [42].

Kimyasal sembol	Al
Atom numarası	13
Atom Ağırlığı	26.98
Kafes Yapısı	KYM
Yoğunluğu (20°C)	2.6989
Elastik modül, E.	7.2 103kp/mm ²
Kayma modülü, G.	2.7 103kp/mm ²
Ergime sıcaklığı	660.24 °C
Ergime ısısı	94.6 cal/gr
Elektrik iletkenliği	37.74 m/Ohm.mm ²
Isı iletkenliği,a.	0.55 cal/cm.s.°C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150-300°C
Özgül ısısı	0,224 cal/g (100°C)

Ticari saflıktaki alüminyumun bileşimi yaklaşık minimum % 99,3' den % 99,7' ye değişir. Yüksek saflıkta alüminyum elektriksel iletken alaşımlar ve reflektör levhalar gibi uygulamalar için seçilir. Ticari saf alüminyum alaşımı olan 1100 alaşımını üretmek için, demir ve bakır ilaveli düşük saflıkta metal kullanılır. Bu alaşım şekillendirilebilirlik ve kaynaklanabilirlikle beraber nispeten yumuşak ve sünektir. Tavlanmış ve %99,99 alüminyum içeren alaşımın çekme dayanımı yaklaşık 44,815 MPa, akma dayanımı 10,342 MPa ve uzaması %50' dir [31].

Alüminyum soy olmayan metallere olmasına rağmen, yüzeyinde çok ince fakat yoğun bir oksit tabakasının bulunması, onu kimyasal etkenlerden özellikle korozyona karşı çok iyi korumaktadır. Bu tabaka, alkaliler ve klordan kolayca etkilenmektedir. Saf alüminyum; kimyasal maddeler için depo ve alet, beslenme ve gıda maddeleri endüstrisinde, birahane aletleri, ev ve büyük mutfak aletleri imalatı ve paketleme gayesi için çok uygundur. Çeşitli alüminyum alaşımları da, uygun ısıl işlemlerle atmosferik şartlara, deniz suyuna ve diğer etkili maddelere karşı dayanıklılık kazanır.

Saf alüminyumda olduğu gibi, alüminyum alaşımları da, sıvı halde iken oldukça büyük miktarda hidrojeni çözebilir. Katı haldeki alüminyum çok az hidrojeni çözündürürken, ergitme sıcaklığında, sıvı hale geçerken, hidrojen çözündürme miktarı yaklaşık 19 kat artar.

Bu durumun aksine, sıvı haldeki alüminyum katılaştırken, aniden büyük miktarda ayrılan hidrojen gazı, metal içerisinde mekanik olarak tutunarak bazı hasarlara neden olur. Alüminyumun düşük mukavemet değerleri, diğer metallerle alaşımlandırma yapılarak oldukça yükseltilebilmektedir. Alüminyum için en önemli alaşım elementleri Cu, Mg, Si, Mn ve Zn'dur, diğer alaşım elamanları Ni, Co, Cr, Fe, Pb ve Ti etkisi önemsiz olacaktır. Bu elementlerin çoğu Al_2Cu , Al_3Mg ve Mg_2Si gibi sert kimyasal bileşimler oluşturup, alüminyumu alaşımlandırarak mukavemet değerlerini yükseltirler ve ayrışma sertleşmesi yaparlar [12].

2.4. ÇEŞİTLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde; Al-Mn, Al-Mg, Al-Mg-Si alaşımları ile Al-Si döküm alaşımları ve Al-Li döküm alaşımlarının özelliklerine değinilmiştir.

2.4.1. Alüminyum mangan alaşımları

Ticari saf alüminyuma yaklaşık %1,2 Mn ilavesi (%6 Fe ve % 0,2 Si) orta düzeyde dayanımlı ısıtılma işlemi uygulanamayan bir alüminyum alaşımı üretir. Mangan ilavesi alüminyumu ince bir dağılım çökmesi ile mukavemetlendirir. Dayanımda daha fazla artış %1'e kadar magnezyum ilavesi ile elde edilir. Bu alaşımlar genel amaçlar için kullanılır. Burada orta düzeyde dayanım ve iyi şekillendirilebilirlik gereklidir [31].

2.4.2 Alüminyum magnezyum alaşımları

İkili alüminyum magnezyum alaşımları ısıtılma işlemi uygulanamayan 5XXX serileri için esas oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir eriyebilirliğe sahip olmakla beraber (451 °C' de % 14,9) katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe azalır. Alüminyum magnezyum alaşımları %7 Mg'dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer çökme sertleşmesi göstermezler. Buna karşın magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi ile alüminyumu önemli ölçüde mukavemetlendirir ve yüksek çekme özelliği sağlar. Al-Mg alaşımları geniş bir aralıkta dayanım, iyi şekillendirilebilirlik, kaynak özellikleri ve yüksek bir korozyon direncine sahiptir. Argon korumalı ark kaynak işlemi kullanıldığında iyi kaynak tepkisi Al-Mg yüksek dayanım alaşımlarının üstün bir özelliğidir [31].

2.4.3 Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları

Alüminyumda magnezyum (% 0,6-1,2) ve silisyumun (% 0,4-1,3) kombinasyonu dövme, ısıl işlem uygulanabilir 6XXX serileri için temel oluşturur. Çoğu durumda, magnezyum ve silisyum, kombine olarak metaller arası Mg_2Si bileşiğinin kararsız fazlarını oluşturmak için gerekli olandan fazla silisyum kullanılabilir. Magnezyum ve krom, çoğu 6XXX serisi alaşımlarına yükseltilmiş dayanım ve tane boyutu kontrolü için ilave edilir. Bakır da bu alaşımın dayanımını yükseltir ancak % 0,5' den fazla bulunursa korozyona direncini azaltır [31].

2.4.4 Alüminyum silisyum döküm alaşımları

Ana alaşım elementi olarak silisyum içeren alüminyum döküm alaşımları, üstün döküm özelliklerinden dolayı en önemli ticari döküm alaşımlarıdır. Alüminyum silisyum alaşımları ergiyik durumda nispeten yüksek akıcılık, katılaşma sırasında ise mükemmel akıcılığa sahiptirler ve nispeten sıcak yırtılmadan bağımsızdırlar. Silisyum saf alüminyumun korozyon direncini azaltmaz, orta asidik ortamlar gibi bazı durumlarda korozyon direncini artırır. Katı Al-Si alaşımları ısıl işlem uygulanabilir olarak düşünülmez çünkü sadece küçük bir miktar silisyum (maksimum %1,65) alüminyumda çözünebilir ve silisyum katı eriyikte çökmez, çok az sertleşmeye neden olur [31].

2.4.5. Alüminyum lityum döküm alaşımları

Alüminyum lityum alaşımları 1980' li yıllarda öncelikle uzay ve uçak yapılarının ağırlığını azaltmak için üretilmiştir. Bunlar aynı zamanda soğuk uygulamalar için örneğin sıvı oksijen ve uzay araçları için, hidrojen yakıt tankları için araştırılmıştır. Bununla beraber Al-Li alaşımlarının maliyeti, lityumun yüksek bedeli ve işlem için özel donanımlar gerektirmesinden dolayı geleneksel alüminyum alaşımlarından üç-beş kat fazladır. Bu nedenle bu alaşımların uygulanması ağırlığın öncelikli olduğu yerlerde sınırlandırılmıştır. İkili Al-Li alaşımları düşük süneklik ve kırılma tokluğuna sahip olma eğiliminde oldukları için alüminyum-lityum alaşımları, mukavetlenme için daha ince ve daha homojen çözeltiler sağlamak amacıyla bakır veya bakır ve magnezyum içerirler.

2.5 ALÜMİNYUM ve ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları ergitme kaynak yöntemleri ile kaynak yapılabilir. Çeliklere kıyasla alüminyum malzemeleri kaynak yaparken, malzemeye özgü bazı özellikler dikkate alınmalıdır. Alüminyum malzemeler, çeliklere göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan kaynak nüfuziyeti daha düşük ve kaynak banyosunun gazlardan arınması daha geç olur. Sonuç olarak, kaynak dikişinde yetersiz ergime ve gözenekler oluşabilir. Bunu önlemek için parçalara kaynak öncesi ön ısıtma yaparak ve kalın kesitli malzemeleri kaynak esnasında da tavlayarak, bu tür kaynak hataları önlenabilir. Kaynak ağzı yüzeyleri ve kaynağa yakın bölgeler (kaynak ağzının en az 50 mm yakını) temiz, yağsız ve kuru olmalıdır. İyi bir depolama ve mekanik işlemler sonrası kaynak yüzeylerinin özel bir yağ çözücü ile temizlenmesi, bu tür hazırlık işlerini kolaylaştırır. Bunların yanında, alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan el aletleri yalnız bu malzemeler için kullanılmalıdır [26].

Plastik şekillendirme yöntemiyle üretilmiş olan (plaka, levha, ekstrüzyon, dövme, çubuk, bar ve darbeli ekstrüzyon) alüminyum alaşımlar ile olabildiğince iyi kumlanmış kokil döküm alüminyum alaşımlar kaynak edilebilir. Alışlagelmiş kalıp dökümleri kaynak edildiğinde iç gazlar sebebiyle kaynak ve kaynağa bitişik esas metalde aşırı gözenek meydana gelir. Bununla beraber vakum altında kalıp döküm kaynak yapıldığında iyi sonuçlar verir. Toz metalürjisi ile imal edilen parçalarda da kaynak esnasında iç gazdan dolayı gözenek oluşabilir [29].

Dövme alaşımlar arasında gaz korumalı ark süreçleriyle en büyük kolaylıkla kaynak edilebilenler, ısıtma işlemi tabii tutulamayan lxxx, 3xxx ve 5xxx serileridir. 6xxx serilerindeki ısıtma işlemi tabii tutulamayanlar da kolayca kaynak edilebilirler. 4xxx ile yüksek mukavemetli serilerinin ve ısıtma işlemi görebilen 2xxx serilerinin alaşımları da arkla kaynak edilebilirlerse de özel tekniklerin uygulanması gerekebilir ve biraz düşük süneklik elde edilebilir. Yüksek mukavemetli, ısıtma işlemi görebilen 7xxx serilerinden 7075, 7079 ve 7178 alaşımları kaynak edilebilir ama bunların ısı etkisi altındaki bölgeleri (IEAB) gevrek olur; dolayısıyla da bunlara kaynak yapılması tavsiye edilmez. Buna karşılık 7005 ve 7039 alaşımları kaynak için özel olarak geliştirilmiş olup bunların kaynak kabiliyetleri iyidir [27].

Alüminyumun oksijene karşı kuvvetli bir ilgisi olup havaya maruz kaldığında hemen oksitlenir. Isıl işlemler ve nemli depolama şartları oksit kalınlığını artıracaktır. Tabii oksit, asal gaz kaynak arkları veya tozlar vasıtasıyla giderilebilecek inceliktedir. Bununla beraber daha kalın oksit, mekanik veya kimyasal araçlarla kaynak öncesi giderilmelidir.

Alüminyum oksit, esas metal alaşımının ergime sıcaklığından çok daha yüksek olan 2050°C civarında (yaklaşık olarak alüminyum alaşımının kendi ergime sıcaklığının 3 katı sıcaklıkta) ergir. Isıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaşımlarının kaynağında tabii oksitler asal gaz ark vasıtasıyla parçalanabilir. Bununla beraber, ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları belli bir ısıl işlem için yüksek sıcaklığa çıkarıldığından ısıl işlem uygulanamayan alaşımlarda bulunandan daha kalın bir oksit tabakası biçimlenecektir. Oksit giderilmediğinde veya yeri değiştirildiğinde yetersiz ergimeye sebep olacaktır. Oksidi gidermek için klorür ve flüorür ihtiva eden tozların kullanıldığı bazı birleştirme işlemlerinde kullanım sırasında korozyon problemi ihtimalinden kaçınmak için birleştirme işleminden sonra bu tozlardan birleştirme yeri arındırılmalıdır. Alüminyum oksit, bir elektriksel yalıtıcıdır. Yeterince kalın olduğunda, anodik kaplamalarda olduğu gibi ark başlatmayı önleyebilir. Bu durumda, oksit azalması sadece kaynak yapılacak yerde değil aynı zamanda şase bağlantısının yapıldığı yerde de gereklidir.

Ergimiş alüminyumda hidrojen çok hızlı çözünür. Buna karşılık, hidrojen katı alüminyum içinde hemen hemen hiç çözünmez. Bu da alüminyum kaynağında gözenegin birinci sebebi olarak tanımlanır. Yüksek sıcaklıklarda kaynak banyosu çok miktarda hidrojen emilmesine müsaade eder ve katılaşma esnasında hidrojen çözünürlüğü çok miktarda azalır. Etkili çözünebilirlik sınırını aşan hidrojen, katılaşan kaynaktan kaçamadığında gözenek oluşturur.

Kaynak banyosuna atomik hidrojen, kaynak banyosu içerisinde bulunan yağdan ve nemden oluşur. Bunlar ana metal ve kaynak teli üzerinde hatta koruma gazında (nem) olabilir. Özellikle 5xxx serisi Al-Mg alaşımları bu oksitlere karşı çok hassastır. Bu oksitler ısıtılmak suretiyle giderilemez. Bu nedenle kaynak telleri kuru ortamlarda depolanmalıdır.

Sağlam kaynakların yapılabilmesi için esas metal ve ilave metal üzerindeki yağlayıcı, yüzeydeki nem veya hidrojen ihtiva eden oksit, bir su soğutmalı üfleç nozulü içinde nem yoğunlaşması veya su sızıntısı, koruyucu gaz içerisindeki nem uzaklaştırılmalıdır. Alüminyum-magnezyum alaşımları (5xxx serisi), hidrojen ihtiva eden oksit oluşumu yönünden en hassas olan alaşımlardır. Makaralara sarılmış haldeki çıplak tel elektrot, kuru ve ısıtılmış bir bölgede ambarlanmalıdır. Nem, hidrojen ihtiva eden oksitten toz özlü elektrotlarda yapıldığı gibi ısıtılarak uzaklaştırılmaz.

Alüminyumun ısı iletkenliği, çeliğin altı katı civarındadır. Alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığı demir esaslı alaşımların ergime sıcaklığının altında olmasına rağmen özgül ısısının yüksek olması sebebiyle alüminyumun kaynağı için daha yüksek ısı girdisi gerekir. Buna rağmen bir kaynak düşük hızla yapılıyorsa, ısı arkın önünde ilerleyebilir, kaynak parametrelerinin devamlı ayarı gerekir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı esnasında, gerek ısı iletkenliği ve buna bağlı olarak ısı girdisinin, gerekse alüminyumda sıvı halden katı hale geçme sırasında hacim kaybının çeliğe göre daha fazla olması sebebiyle doğal olarak çarpılma daha çok olur. Çarpılmanın azaltılması için yapılacak çalışmalar tasarım sırasında kaynak ağızlarının tespitiyle başlayıp atölye çalışmalarıyla devam eder [29].

Sıcak çatlama, birçok halde alüminyum kaynak metalinde görülen bir kusur olup başta alaşımın buna eğilimi olmak üzere çekme (büzülme) gerilimi, kaynak sırasında birleşme yerinin tespit edilmesi gibi nedenlerden ileri gelir. Normal olarak sıcak çatlama, saf alüminyum veya ötektik bileşimindeki kaynak metalinde olmaz [27].

Her türlü yabancı maddenin kaynak yapılacak yüzeyden kaldırılması ile kaynak esnasında; ısı, üfleme gibi sebeplerle tekrar geri dönme ihtimalini ortadan kaldıracak kadar uzağa götürülmesi gereklidir. Temizlik, hemen kaynak öncesi dikkatli bir şekilde yapılmalı ve kaynak boyunca temizlik konusunda aynı özen gösterilmelidir. Temizlik, ortam şartları (ısı, nem, havadaki parçacık miktarı v.b.) göz önüne alınarak belirli aralıklarla tekrarlanmalıdır. Kullanılabilecek üç çeşit temizleme metodu; mekanik temizleme, çözücü ile temizleme ve kimyasal aşındırma ile temizlemedir. Zaman zaman bu metotlar birlikte kullanılabilir.

Mekanik temizleme özellikle yüzeydeki oksidin ve yüzeye yapışan metal buharlarının giderilmesi için kullanılır. Yüzeyde yağ, gres gibi kirleticiler bulunduğunda ikinci (çözücü ile temizleme) metotla birlikte kullanılması tavsiye edilir. Fırçalama, eğeleme, planyalara, taşlama, zımparalama veya çelik yünle ovalama alüminyum için kullanılacak mekanik temizleme metotlarıdır.

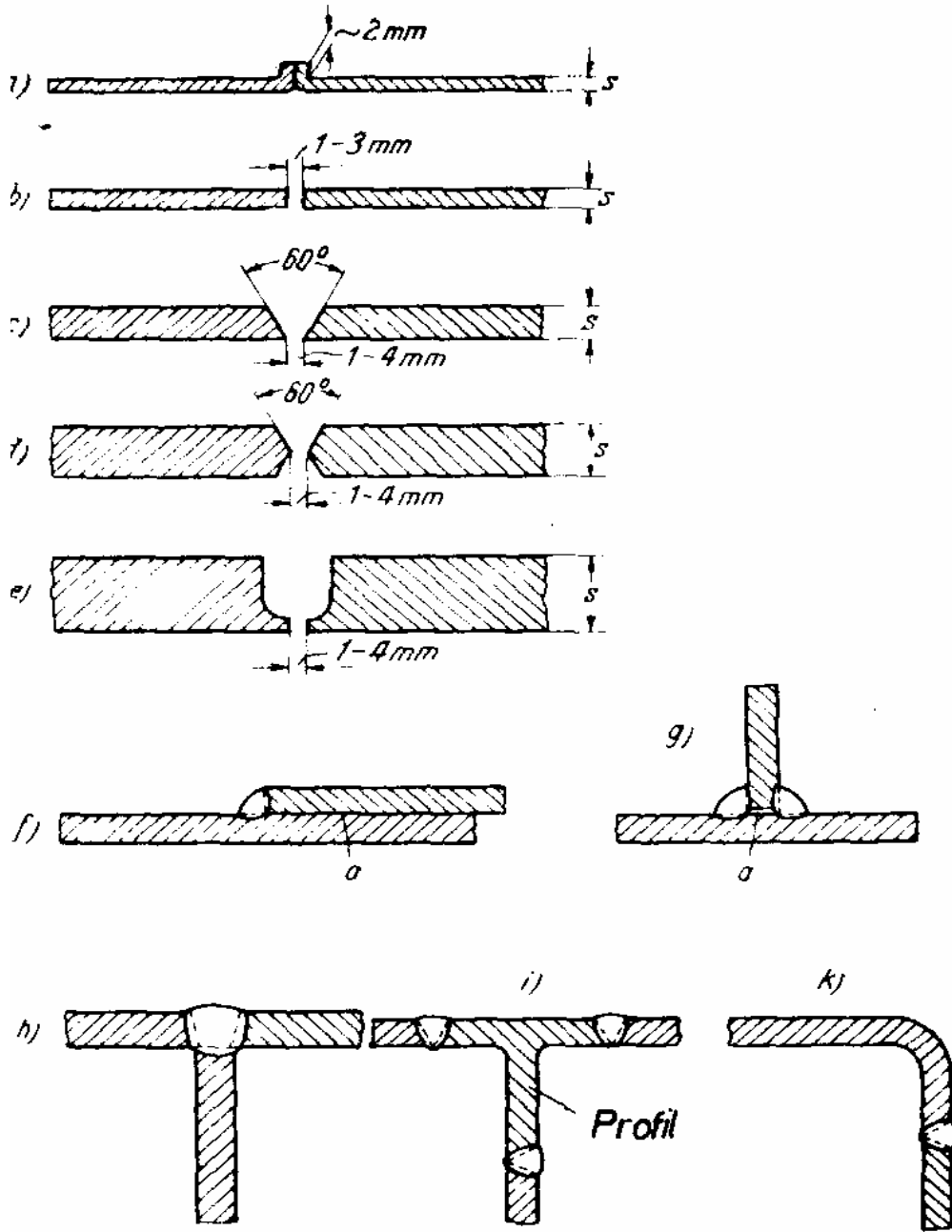
Kimyasal temizlemenin, gerek temizleme ve gerekse kendi basına yeterli yönünden diğer metotlarla karşılaştırıldığında çok daha iyi sonuç verdiği görülür. Ancak gözeneğe sebep olabilecek hidrojen ihtiva eden herhangi bir oksitten kaçınmak için yeterince kurutmaya dikkat edilmelidir. Bu amaçla durulama sonrası parçaların 40°C sıcaklıktaki su banyosuna daldırılması, ilk bakışta masraflı bir işlem gibi görünse de önleyeceği problemler yönünden iyi bir uygulamadır [29].

2.5.1. Alüminyum ve alaşımlarının Gaz Kaynağı

Basit donanıma ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle, bazen saf alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarını kaynak yapmak için gaz (oksi-asetilen) kaynağı kullanılmaktadır [26].

Gaz ergitme kaynağı her tür hafif metale uygulanabilir; bunda oksii-asetilen alevi en iyi sonucu verir. Bununla birlikte hidrojen-oksijen alevi, havagazı oksijeninki gibi, daha düşük alev sıcaklığına haiz olmasıyla, 1 mm' den az kalınlıktaki saçlarda saçların delinme tehlikesini azaltır. Ancak Hidrojen ve Oksijen alevi, Al-Mg gibi alaşımlarda gözeneğe yol açar, magnezyum alaşımlarında da ergime akışını engelleyen kuvvetli bir oksitlenme oluşturur. Oksii-asetilen alevinin bir başka avantajı da, çok hassas ayarlanabilme kabiliyetidir. 6 mm ve daha kalın alüminyum levhaların oksii-asetilen kaynağında tam nüfuziyeti sağlamakla çatlamaya karşı önlem olarak ön ısıtma avantajlı olmaktadır. Ön ısıtma sıcaklığı 150- 200°C arasında olup daha yüksek sıcaklıklar, arandın niteliklerin kaybına ve gereksiz yere genişlemiş bir IEAB' ye yol açar. Çeşitli kalınlıklara göre ağız hazırlıkları, Şekil 2.1. 'de gösterilmiştir. Hafif metallerin oksii-asetilen kaynağında mümkün olduğu kadar küt alın şekillerine yer verilmelidir [27].

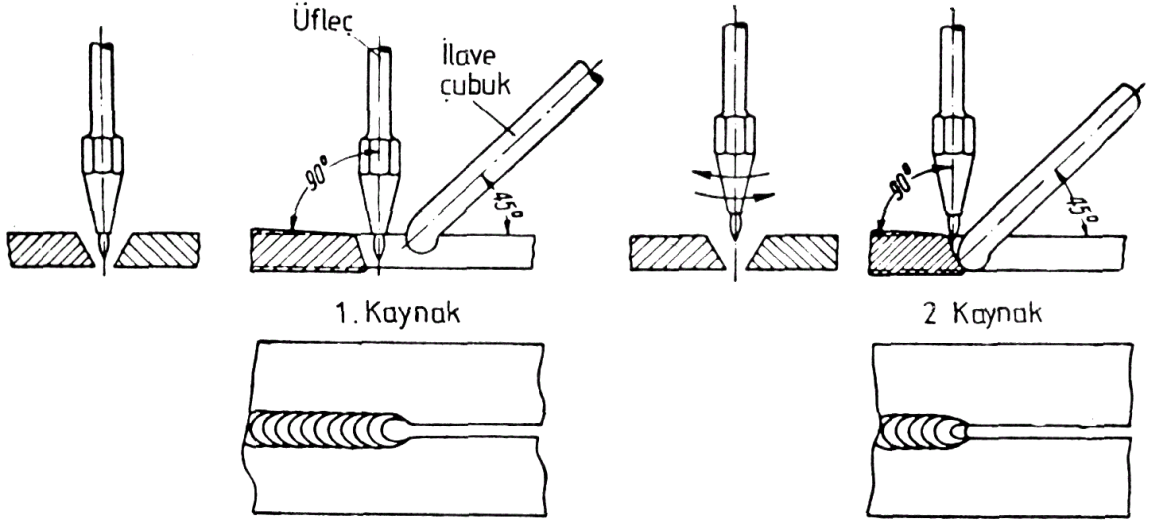
Oksi-asetilen alevinin göreceli olarak düşük ısı yoğunluğu ve alüminyumun yüksek ısı iletkenliği kaynak hızını düşürür ve büyük çekmelere neden olur ki bu kaynaklı birleştirmede gerilimler ve deformasyon oluşturur. Isı etkili bölge çok geniştir, soğuk şekil değiştirme veya yaşlandırarak sertleştirilen is parçalarında ana metal yumuşar ve mekanik mukavemetini kaybeder. Gaz kaynağı için gereken dekapan kaynak ağzının iki yüzeyine ve ilave metale fırça ile uygulanır [26].



Şekil 2.1. Alüminyum ve alaşımlarının oksî-asetilen ile kaynağında ağız hazırlık şekilleri. a) $s < 1.5$ mm, b) $s = 1-3$ mm, c) $s = 3-12$ mm, d) $s > 8$ mm, e) $s > 12$ mm [27].

Kalın saclarda kökte emniyetli bir kaynak elde etmek için Griesheim yöntemi adı verilen sola kaynak süreci (Şekil 2.2) önerilir. Hafif salıntı ile ilerletilen üfleç bu yöntemde

saçın üst yüzeyine dik tutulur, kaynak teli bu yüzeye 45° yapar. Kaynak işlemi birbirini sürekli olarak tekrarlayan iki çalışma aşamasıyla olur. Birinci aşamada üfleç kaynak ağzının içinde tutulur, bu suretle ağız daire şeklinde genişler; kaynak teli bu sırada alev alanı içinde sıcak tutulur. Bundan sonra gelen ikinci aşamada üfleç biraz yukarı çekilir ve kaynak teli ergime banyosuna batırılır ve ergitilir [27].



Şekil 2.2. Alüminyum ve alaşımlarından kalın saçların oksii-asetilen kaynağı [27].

2.5.2. Alüminyum ve alaşımlarının Örtülü Elektrot Kaynağı

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

Alüminyumun bu metal-ark kaynağında dikkate alınacak önemli etkenler nem, ön ısıtma, dekapan ve elektrotla iş parçasının temizliğidir. Elektrot örtüsünde nemin varlığı, gözenekliğin başlıca nedenidir. Sağlam kaynaklar elde etmek için elektrotların kuru, temiz depolanma olanakları bulunacaktır. İş parçasının ön ısıtılması, özellikle kalın parçalarda, gereklidir. Elektrotu kaplayan örtü (dekapan) çok inatçı olup bunun dikiş içinde sıkışıp

kalmaması için oldukça beceri gerekir. Kaynaktan sonra bu dekapanın (cürufun) temizlenmesinde gösterilecek özen de önemlidir. Alüminyum üzerinde kaynaklı birleştirmelerin tasarımında önemli husus, ani kesit ve kaynak yönü değişmelerinden kaçınmaktır. Bunu sağlamak için bazen birleşecek parçalar arasına ara parçalar koymak kolaylık sağlayabilir. Aynı bağlamda, takviye plakaları, kesitleri düzenli olarak azalacak şekilde kesilirler. Alüminyum parçaların 200° C' ye kadar ön ısıtılması istenir ve levha kaynağında bu işlem gereklidir. Ön ısıtma, oksii-asetilen üfleci ya da elektriksel dirençle yapılabilir; bu sonuncusu için, küçük parçalarda, bir tungsten elektrot, kaynak pensesinin ucuna gümüşle lehimlenir. Topraklama mengenesi iş parçasına bağlandıktan sonra tungsten elektrottan parçaya intikal edecek akım, onu ısıtacaktır. Yöntem, büyük parçalara uygulanmaz. Genellikle 5 mm' ye kadar olan saçlara ön ısıtma yapılmaz. Dökümler, kural olarak ön ısıtılır [27]

2.5.3. Alüminyum ve alaşımlarının MIG Kaynağı

Günümüzde alüminyum konstrüksiyonunda en çok kullanılan kaynak metodu, ergiyen elektrotla bir koruyucu gaz veya gaz karışımı atmosferi altında yapılan MIG (Metal Inert Gaz) kaynak tekniğidir. Ergiyen elektrot ile yapılan MIG gaz altı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. MIG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre, mekanize edilebilme, daha hızlı çalışma, robot kullanma imkânı, çok karmaşık kaynak konstrüksiyonlarında kolay bir şekilde uygulanabilme, her pozisyonda kullanılabilme ve karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından birçok avantajlar sağlamaktadır [17].

MIG yönteminin bir karakteristiği olan enerjinin verimli kullanılışı, çoğu kez ön ısıtmayı gereksiz kılar. Dolayısıyla süreç kalın alüminyum kesitlerinin kaynağında geniş ölçüde uygulanır [27]. Bu teknik her kalınlıktaki alüminyum ve alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm'den daha kalın alüminyum ve alaşımlarının kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Çünkü MIG kaynağında kaynak hızı ve ergime gücü diğer gaz altı kaynak yöntemi olan TIG (tungsten inert gaz) kaynağına göre daha yüksek olduğu için çok ince levhalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynak yapılır.

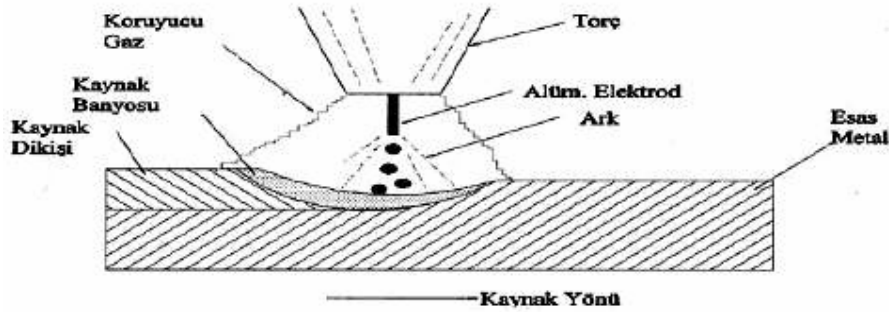
Alüminyum ve alaşımları 550–660 °C arasındaki sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeni ile kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çeliğin kaynağından daha fazla olmak zorundadır. Alüminyum ve alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları şiddetli gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmaların olmasına neden olur. Alüminyum üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyum oksit tabakası, alüminyum ve alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir. Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında, malzemenin kalınlığı göz önüne alınmaksızın sprej ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprej arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısı ile kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir. Yalnız burada oksit tabakasının giderilebilmesi için sola kaynak yöntemi seçilmeli ve dikey pozisyonundaki kaynaklar aşağıdan yukarıya doğru yapılmalıdır. Böylece hem kaynak edilecek bölgelerdeki oksit tabakaları temizlenmiş olur hem de kaynak ağzları iyi bir şekilde ergiyerek uygun bir şekilde kaynak yapılmış olur. Sağa kaynak yöntemi uygulandığında ve dik kaynaklarda yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapıldığında gözenekli, kötü görünümlü ve yetersiz ergimeden dolayı tam kaynamamış bölgeler meydana gelir. Kaynak dikişi düz veya dar zikzaklarla çekilmelidir. Geniş zikzaklar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğundan kullanılmamalıdır. İnce alüminyum levhaların gerek yarı otomatik gerekse de mekanize edilmiş MIG kaynağında genellikle argon gazı kullanılır.

Kalın alüminyum levhaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi nüfuziyeti elde etmek için helyum gazı veya Helyum-Argon gaz karışımı kullanılır. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda kaynak bölgesinin şiddetli soğumasına neden olur. Bu bakımdan kalın ve bilhassa döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi ön ısıtma uygulamak gerekir. Genellikle 15 mm'den daha kalın parçalara uygulanan ön ısıtma sıcaklığı 200 °C' yi geçmemelidir.

Dövme alüminyum alaşımlarında genel olarak ön ısıtma yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlanır. Soğuk şekil değiştirme veya ısı işlem ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan

bu sertlikte bir azalma görülür, bu bakımdan ısıtma işlemi ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi, bir çözeltiye alma tavlama uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısıtma işlemi uygulanarak sertleştirilir.

MIG kaynak yönteminin uygulanması çok basittir. Toprak kablosunu iş parçasına veya kaynak masasına bağlayarak ve üfleç ucundaki tel elektrotu kaynak ağzına geçirilerek ark oluşturulur. Makine telin ilerlemesini ve uygun ark boyunu otomatik olarak sağlar. MIG kaynağı, uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir dışı metal ve alaşımların kaynağında çok tercih edilen ve aranan kaynak yöntemi haline gelmiştir. MIG yöntemindeki ark bölgesi şematik olarak Şekil 2.3.'te gösterilmiştir [17].



Şekil 2.3. MIG yöntemindeki ark bölgesi [17].

Bu yöntemde kaynak arkı Şekil 2.3.'te de görüldüğü gibi iş parçası ile aynı zamanda ilave metal olan, tükenen tel elektrot arasında oluşur. Alüminyumun MIG kaynağı doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılır. Bu kutuplama sprey damla geçişi olarak adlandırılır ve asal gaz atmosferi (Ar veya He veya Ar/He karışımı) altında korunur. MIG kaynak yöntemi kalın çaplı tel elektrot kullanarak daha kararlı hale getirilebilir. Tel elektrotun düzgün olarak kaynak bölgesine iletilebilmesi için teflon spiral kullanılmalı, kılavuzlar ve tel sürme makaralarının yuvaları U biçimli olmalı, kontak meme daha uzun olmalı ve iç çap toleransının daha fazla olması gerekir.

Kaynağa başlamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir. Kaynak ağzı yüzeyleri ve kaynağa yakın bölgeler (kaynak ağzının en az 50 mm yakını) temiz, yağsız ve kuru olmalıdır. İyi bir depolama ve mekanik işlemler sonrası kaynak yüzeylerinin

özel bir yağ çözücü ile temizlenmesi, bu tür hazırlık işlerini kolaylaştırır. Bunların yanında, alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan el aletleri yalnız bu malzemeler için kullanılmalıdır.

MIG yöntemi ile 4 mm'den büyük kesit kalınlığına sahip malzemeleri alın kaynağını veya köşe kaynağını tek pasoda yapmak mümkündür. Yüksek kaynak akımı ve güçlü bir nüfuziyeti nedeniyle 6 mm'ye kadar kalınlığa sahip malzemelerde kaynak banyosunu desteklemek için kaynak altlığı kullanılır. Ayrıca alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı parametreler Çizelge 2.3.' te görülmektedir [17].

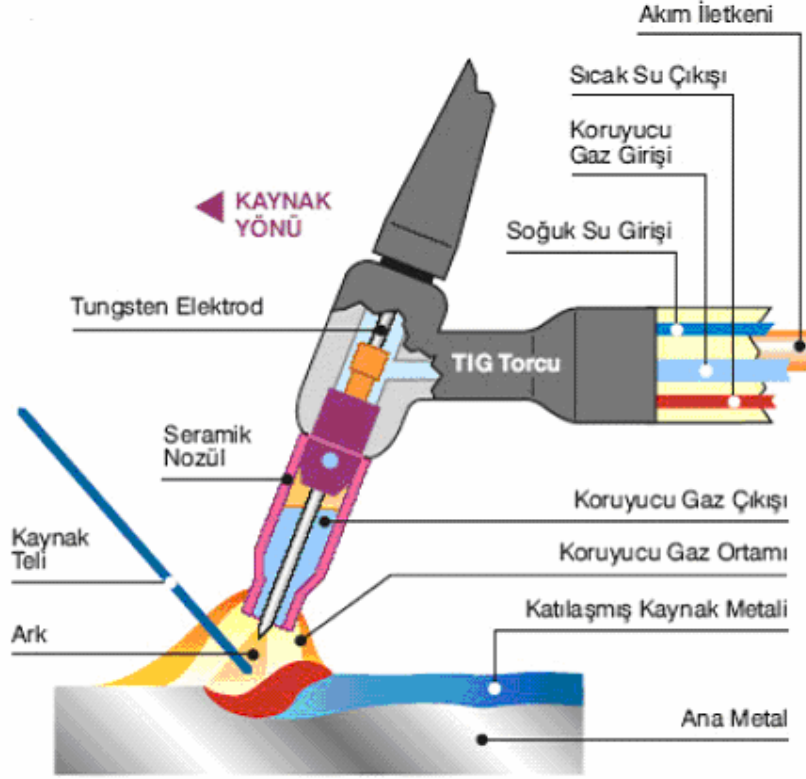
Çizelge 2.3. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının MIG kaynağı için önerilen bazı Parametreler [17].

Malzeme Kalınlığı (mm)	Ağız Türü	Ağız Aralığı (mm)	Kök Alın Yüksekliği (mm)	Paso sayısı	Kaynak Gerilimi (V)	Kaynak Akımı (A)	Tel İlerleme Hızı (m/dak)	Tel Çapı (mm)	Koruyucu Gaz (lt/dak)
4	I-Alın	0	-	1	23	180	3.2	1.2	12
5	I-Alın	0	-	1	25	200	4.3	1.6	18
5	V-Alın (70°)	0	1.5	1	22	160	5.6	1.6	18
6	I-Alın	0	-	1	26	230	7.1	1.6	18
6	V-Alın (70°)	0	1.5	1	22	170	6.0	1.6	18
8	V-Alın (70°)	0	1.5	2	26	220	6.8	1.6	18
10	V-Alın (60°)	0	2	3	26	220	6.2	1.6	20
					24	200	6.0	1.6	20
					26	230	7.2	1.6	20
12	V-Alın (60°)	0	1.5	3	26	240	13.7	1.2	23
					26	220	12.2	1.2	23
					28	250	15.6	1.2	23
12	V-Alın (60°)	0	1.5	2	27	260	3.6	2.4	25
					27	280	3.9	2.4	25

2.5.4. Alüminyum ve alaşımlarının TIG Kaynağı

TIG kaynak yöntemi; ergitme esaslı buna karşın dolgu oranı düşük bir kaynak yöntemi olmasına karşın ısı girdisi yerel olduğundan ısı iletimi yüksek olan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında çarpılmaları en aza indirdiği için tercih edilen bir gaz altı kaynak yöntemidir.

Bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi, bir tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrot ile merkezlenmiş konumda bulunan bir nozülden gönderilen bir koruyucu gaz (He veya Ar veya He+ Ar karışımları) ile korunmaktadır (Şekil 2.4.) [13].



Şekil 2.4. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [13].

TIG kaynağında, doğru ya da alternatif akım kullanılabilir. Fakat alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında alternatif akım kullanılması gerekir [3]. Dövme alüminyum ve alüminyum alaşımlarını kaynak kabiliyetlerine göre şöyle sıralamak mümkündür: çok saf ve saf alüminyum, Al-Mn alaşımları, Al-Mg-Mn alaşımları, Al-Mg alaşımları, Al-Mg-Si alaşımları, Al-Cu-Mg alaşımları, Al-Cu-Ni alaşımları [2].

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında sac kalınlığının 16 mm yi aştığı durumlarda, 150 °C' lik bir ön tavlama faydalı olur. Ark önce başka bir parça üzerinde tutuşturulduktan sonra, esas kaynak edilecek parçalar üzerine getirilmelidir. Parçalarda meydana gelebilecek

çarpılmaları azaltmak için parçaların kaynaktan önce tespiti ya da aksi yönlerde tertiplenmesi gerekir [3].

Alüminyumun TIG kaynağı DADK (doğru akım düz kutup (elektrot -)), DATK (doğru akım ters kutup (elektr. +)) veya alternatif akım (AA) ile yapılabilir. Genellikle DATK çok ince saçlar için, DADK göreceli kalın kesitler ve otomatik üfleç ilerlemesi ve kontrolleri için, AA da ince saç ve hafif levhalar için kullanılır. DADK' ta akım, elektrottan iş parçasına gider; ark ısıyı yoğunlaşması % 70 iş parçasında, % 30 elektrotta olur. Bu yoğunlaşmanın etkileri, daha küçük elektrotlarla daha yüksek akım şiddetleri kullanma olanağı; ark ısısının ana metal içine dar ve derin nüfuziyeti; kaynak hızının dakikada 12.5 cm ile 36 m arasında olabilmesi şeklinde belirir. Ark sabit olur. Ark ve/veya gazın hiçbir temizleme etkisi olmaz; bununla birlikte DADK' la helyum kullanarak memnuniyet verici kaynaklar yapılabilir (akım şiddeti azami 600 A). Otomatik DADK TIG kaynağında bazen argon kullanılır [27].

Yaşlandırma ile sertleştirilmeyen alaşımlar her hangi bir ilave metal kullanmadan da kaynak yapılabilir. Alüminyum malzemelerin TIG kaynağı alternatif akımda ve argon koruyucu gazı kullanarak yapılır. Mekanîğe TIG kaynağı ilave metal kullanarak veya kullanmadan da yapılabilir [26].

2.5.5 Alüminyum ve alaşımlarının Elektrik Direnç Kaynağı

Direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemedен geçen elektrik akımının doğurduğu ısının dışında, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır. Isı, kaynak edilecek kısımlarda oluşur ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar ya da çeneler aracıyla uygulanır. Elektrik direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim ve yüksek akım şiddetindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden, basınç ise hidrolik ya da mekanik donanımlarla sağlanır [3].

Bazı alüminyum alaşımlarının direnç kaynağı diğerlerine göre daha kolaydır. Genelde diğer kaynak işlemleri ile kaynaklanabilen döküm alaşımları direnç kaynağı ile de kaynaklanabilir. Sürekli döküm ve kum döküm alaşımları başarıyla nokta kaynağı yapılabilirken kalıp dökümlerin bu metotla birleştirilmeleri zordur. Döküm alaşımları kendi

kendileriyle, diğerk döküm alaşımlarıyla ve dövme alaşımlarla nokta kaynağı ile kaynaklanabilirler. Bir alüminyum alaşımının temperi onun kaynaklanabilirliğini etkiler. Tavlanmış durumdaki alüminyum alaşımlarının direnç kaynağı derin çentikler, çarpılma ve artan uç ilerlemesi yüzünden işlem sertleşmesi ve çözeltiyeye alma ısıl işlemi uygulananlardan zordur. Elektrot ömrü ve kaynak tutarlılığı daha sert temperler kaynaklandığında düzelir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları yüksek termal ve elektrik iletkenliğe sahiplerdir. Nokta ve dikiş kaynağı yapabilmek için yüksek kaynak akımı değeri ve nispeten kısa kaynak süresi gereklidir. Alüminyum nokta kaynağında teçhizat seçimini etkileyen bir diğerk faktör ise kaynak sıcaklığında malzemenin hızla yumuşamasıdır [38].

Alüminyum levha yapıların imalinde nokta kaynağı pratik bir birleştirme metodudur. Sürekli döküm ve kum döküm alaşımlarda olduğu kadar tüm dövme alaşımlarda da kullanılabilir. Alüminyumun nokta kaynağı için gerekli olan prosedürler ve donanım çelikler için kullanılanlarla aynıdır. Bununla beraber, alüminyum alaşımlarının yüksek termal ve elektrik iletkenliği teçhizat ve kaynak planında bazı değişiklikler yapılmasını gerektirir. Alüminyum AC (alternatif akım) ve DC (doğru akım) kullanılarak kaynaklanabilir. Yüksek kaynak akımı alüminyumun yüksek elektrik iletkenliği yüzünden gereklidir. Sonuç olarak, çelikle aynı kalınlıkta bir malzeme kaynaklandığında gerekli olan birincil enerji miktarı çelik için gerekli olandan daha yüksektir. En yüksek kalite için sürekli veya kesintili DC güç üreten makineler tercih edilmelidir. Genelde tabaka ayrımı eğilimi daha az ve kaynak mukavemeti sabitliği daha iyi olduğu için yüksek mukavemetli 2024 ve 7075 alaşımlarının kaynağı daha kolaydır. Bununla beraber çatlama ve poroziteye karşı düşük mukavemetli alaşımlara nazaran daha fazla eğilim gösterirler. Gerçekte kaynak metalindeki çekme çatlakları neredeyse tamamen bakır ve çinko bazlı alaşımlar (2024 ve 7075 gibi) ile sınırlıdır [39].

2.5.6. Alüminyum ve alaşımlarının Elektro Cüruf Kaynağı

Bu yöntemde kaynak yapılacak bölge, bir döküm kalıbı içine alınır. Ergitilerek dökülen sıvı metal, hem enerji taşıyıcı hem de ilave metal görevi yapar; bu sayede birleşme yüzeyleri gerekli kaynak sıcaklığına ulaşır. Dökülecek malzeme, ergitme ocaklarında veya alümino-termik reaksiyon yardımıyla ergitilir [2].

Elektro cüruf kaynağı taşıyıcı çubuklarda ve uygun duvar kalınlığındaki kazan ve tanklarda alüminyumun kaynağı için kullanılır. Elektro cüruf kaynak yöntemi ile yapılan kaynaklarda porozite yoktur ve tam bir ergime sağlanır. Halojen esaslı flaks kaynak süresince ergimiş metalden oksitleri (özellikle Al_2O_3) temizleyen sürekli bir hareket üretir. Kaynak; elektro cüruf kaynağında tipik olan dendiritik tane büyümesine sahiptir. Bununla beraber artan soğuma hızı sebebiyle taneler küçüktür [39].

2.5.7. Alüminyum ve alaşımlarının Elektrogaz Kaynağı

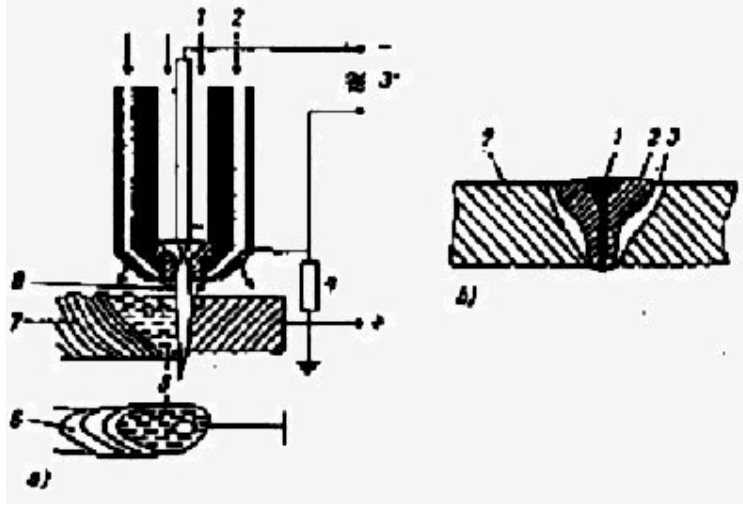
Elektrogaz kaynağında elektro cüruf kaynağında olduğu gibi, ergimiş metal banyosu hareketli (kayar) kalıplar (pabuçlar) tarafından yerinde tutulur. Elektrocüruf da birleşme yerinin kenarları ve elektrot metali yüksek sıcaklığa getirilmiş bir elektriksel iletken cürufun teması ile ergirken, elektrogaz da bu ergime (çeliklerde) CO_2 koruması altında, elektrotla banyo arasında tutuşan ark tarafından sağlanır.

Elektrogaz yönteminin alüminyuma uygulanmasında ilk ve en önemli sorun yukarıda sözü edilen pabuçlar olmuştur. Elektrogaz kaynağının alüminyuma uygulanması, pabuçların katılmış alüminyum üzerindeki kısmen sürükleyici etkisiyle kaynakta meydana gelen yırtılma nedeniyle uzun süre mümkün olamamıştır. Ancak bu engelin üstesinden gelinmiş olup 45 mm kalınlıkta 5083-O alüminyum levha üzerinde 1200 mm uzunlukta kaynaklar, 5356, 5556 ve 5183 ilave metal elektrotlarla gerçekleştirilmiştir [27].

2.5.8 Alüminyum ve alaşımlarının Plazma Kaynağı

Bu kaynak metodunda direk kısa arklı bir plazma üflecinde sıkıştırılmış ve enerji yoğunluğu büyük bir plazma elde edilir. Şekil 2.5.' te prensip şeması verilen plazma üflecinde çift gaz kullanılmaktadır. (İçten) verilen gaz, plazma gazı adını alır. Plazma gazı olarak asal gaz, genellikle argon kullanılır. İkinci gaz koruma gazı olup, daha dıştan iş parçası ile üfleç arasına, plazmayı çepeçevre sarar şekilde verilir. Bu gaz genelde Argon ve moleküler bir gaz (H_2 veya N_2) karışımıdır. Burada şekilde görüldüğü gibi plazma iş parçasını bir çivi gibi delip geçer. Kaynak yerinde ergiyen malzeme (kaynak banyosu) plazma ilerledikçe plazmanın arkasında yüzey gerilimi nedeniyle kolayca katılır ve böylece belirli kalınlıklarda (2.5–8.0 mm arası) parçaları hiç dolgu malzemesi kullanmadan, tek pasoda kaynatmak mümkün olur.

Plazma kaynağına alternatif olabilecek kaynak yöntemi MIG kaynağı olabilir. Şekil 2.5.'te elektron ışını, MIG ve plazma kaynağı dikişleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi MIG kaynağına göre, plazma kaynağında malzeme daha dar bir bölgede ergimeye uğramaktadır. Bu da gerek kaynakta sarf olunan enerji, gerekse kaynatılan malzemelere kaynak esnasında yapılan olumsuz etki yönünden avantajlıdır [15].



Şekil 2.5. Yüksek güç plazma birleştirme kaynağı prensibi ve kaynak dikişinin alternatif kaynak yöntemleriyle karşılaştırılması a) Prensip (1. Plazma gazı, 2. Koruma gazı, 3. Ateşleme cihazı, 4. Ön direnç, 5. Sıvı metal, 6. Kaynak dikişi üstten görünüşü, 7. Kaynak dikişi enine kesiti, 8. Odaklama gazı) b) Plazma kaynağı dikişi ile elektron ışını ve MIG kaynağı dikişinin karşılaştırılması (1. Elektron ışını kaynağı, 2. Plazma kaynağı, 3. MIG kaynağı) [15].

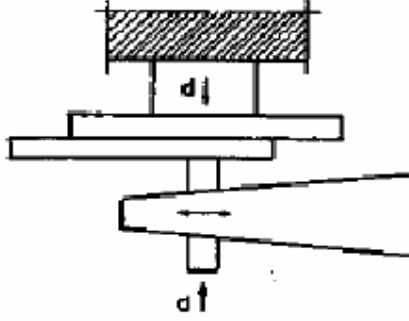
Plazma arkı, metallerin, metal olmayan malzemelerin ve kombinasyonlarının birleştirme ve doldurma kaynağında kullanılır. Plazma ark kaynağı ile alaşımsız, hafif ve yüksek alaşımlı çelikler, nikel ve nikel alaşımları, zirkonyum, bakır ve bakır alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları birleştirilebilir [14].

Plazma ark kaynağı ark boyutunun su soğutmalı üfleyici tarafından sınırlandırılması dışında gaz tungsten ark kaynağına benzer. Kaynaktan önce yüzey temizleme gereklidir. nüfuziyeti derinliğinin yüksek oluşu ve yüksek kaynak hızları plazma ark kaynağının gaz tungsten ark kaynağına üstün yönleridir. Kaynak öncesi ana metalin temizlenmesi, temiz dolgu teli ve kaynağın yeterli inert gaz ile korunması kaynak porozitesinin minimuma

indirilmesi için gereklidir. 5XXX serisi ve Al-Li alaşımları için tüm kaynak yüzeylerinde inert gaz koruması gerekir [40].

2.5.9. Alüminyum ve alaşımlarının Ultrasonik Kaynağı

Ultrasonik kaynakta birleştirilecek parçalar, hareketli ultrasonik frekansla titreşen sonotrot ile sabit duran bir altlık arasına konur ve az bir kuvvetle bastırılır (Şekil 2.6). Sonotrot tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak üstteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak yerinde bağıl bir harekete neden olur. Ultrasonik dikiş kaynağında bindirilen saçlar dönen tekerlek şeklindeki sonotrotlar tarafından senkronize çalıştırılan altlık makaralarına bastırılır. Tekerlek şeklindeki sonotrotların levha titreşimleri üstteki iş parçasına iletilir.



Şekil 2.6. Ultrasonik kaynağın şematik olarak gösterilmesi [3].

Ultrasonik kaynak yöntemi alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, plastik malzemeler, cam ve beton gibi malzemenin kaynağında kullanılmaktadır. Ayrıca, alüminyum ile seramik ya da camın kaynağı gibi farklı malzemelerin birleştirilmesinde başarı ile uygulanmaktadır [3].

İş parçalarına düşük kenetlenme basıncı altında bir arada tutulduklarında yüksek frekanslı, düşük genlikli titreşimli hareketin bölgesel uygulanması ile yapılmaktadır. Yöntem folyo ve levha şeklindeki alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde ve de ince tellerin levha veya folyolara birleştirilmesinde kullanılır. Tüm alüminyum alaşımları ultrasonik kaynakla

kaynaklanabilir fakat kaynaklanabilirliğin derecesi alaşım ve temper durumuna göre değişir. Alüminyum alaşımları diğer metallerle bu yöntem ile birleştirilebilir.

Ultrasonik kaynak direnç kaynağının gerektirdiğinden daha az yüzey hazırlama gerektirir. Uniform bir kaynak elde etmek için ısıl işlem alaşımları ve yüksek oranda magnezyum içeren alaşımların kaynaktan önce yüzey oksitlerinin giderilmesi gerekmektedir [40].

2.5.10. Alüminyum ve alaşımlarının Patlama Kaynağı

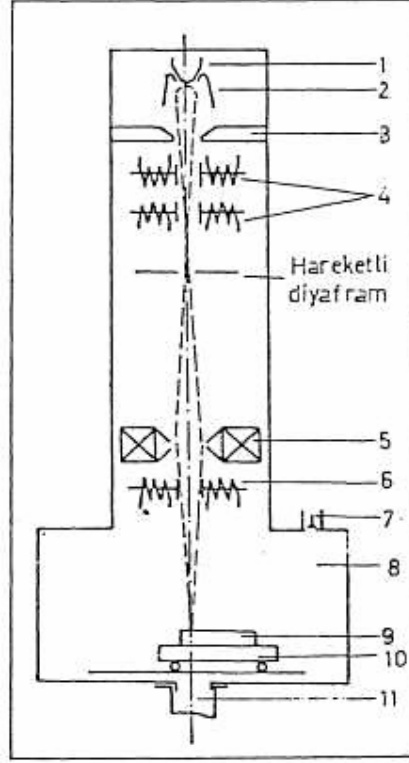
Prensip bakımından soğuk basınç kaynağına benzer. Her iki yöntemde de dikey bir basınç kuvveti, teğetsel bir yükleme ile kombine Şekilde etki eder. Bu, yüzeydeki oksit tabakasının yırtılmasına ve yüzeyin büyümesine neden olur. Temizlenen yüzeyler bir kaç mm gibi yeterli bir aralık bırakılarak karşı karşıya (st üste) getirilir. Aralıklar dalgalı metal Őeritler ya da tellerle sağlanır. Bunlar sonra birlikte kaynak edilir. Birleştirilecek tabakaların üst yüzeyine ince bir koruyucu plastik tabakası ve bunun üzerine de patlayıcı madde yerleştirilir. Patlayıcı tutuşturulunca yüksek basınç ve hızla (1200 ile 7000 m/sn) patlama olur ve üstteki sac alttakine kaynak edilir [3].

Yaygın uygulaması paslanmazelik, bakır veya titanyum alaşımlarının alüminyum ile kaplanmasıdır. Patlama kaynağı uygulanmış bimetalik parçalar aslında geçiş parçaları olarak kullanılırlar. Temas yüzeyleri kaynaktan önce temizlenmelidir. Yüzey oksitleri kaynak süresince kırılıp dağılırlar [40].

2.5.11. Alüminyum ve alaşımlarının Elektron Işın Kaynağı

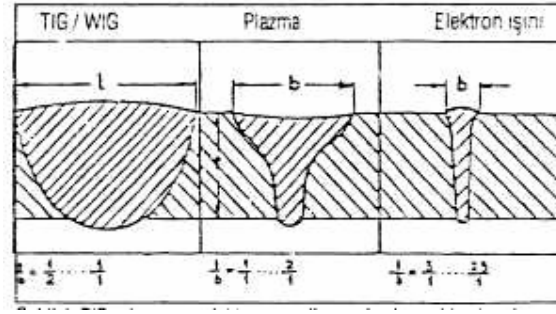
Elektron işını ile sağlanan ısının ya da gücün yoğunluğu, klasik kaynak yöntemlerinden yüksektir. Elektron işınlarının güç yoğunluğu, yaklaşık 108 W/cm^2 dir. Bu güç yoğunluğu ile tabancadan 1 m uzaklıklara kadaralışma mümkündür [3].

Elektrik ark kaynağında yüzeye bırakılan ısı, yarım daire Şeklinde bir bölgeye yayılırken, elektron işınının yüksek ısı yoğunluğu nedeniyle parçanın derinliklerine giren kanal Şeklinde bir ısı dağılımı ortaya çıkar. Elektron işını ile kaynak makinesinin yapısı, Şematik olarak Şekil 2.7.' da görülmektedir.



Şekil 2.7. Elektron ışını ile kaynak makinesinin şematik yapısı 1-Katot, 2- Wehnelt silindiri, 3-Anot, 4-Ayar bobinleri, 5- Magnetik mercek, 6- Saptırma bobinleri, 7- Hava girişi, 8-Kaynak hücresi, 9- İş parçası, 10- Hareketli masa, 11- Vakum flanşı [2].

Arkın, plazma taneciklerinin enerjisi, yalnızca iş parçasının yüzeyinde bıraktığı ve bununla birlikte iç bölgelerin ısıtılmasında her yönden gelişen bir ısı dağılımına ayrıldığı için yarım daire şeklinde bir erime bölgesi oluşur. Elektron bombardımanı altında, kaynak yerinin kuvvetli bir şekilde ısınmasıyla etkili olan yüksek buhar basma, eriyikte, elektronların enerjisini bırakmadan önce, iş parçasının derinliklerine kadar nüfuz edebildikleri bir kanalın oluşumunu sağlar. Oluşan ergime bölgesinin derinliğinin, ortalama genişliğe oranı: 25/1' e kadar olan bir kamanın şekline sahiptir (Şekil 2.8.) [2].



Şekil 2.8. TIG, plazma ve elektron ışını ile yapılan kaynaklarda erime bölgesi formunun karşılaştırılması [2].

Elektron ışını ile yapılan kaynakta, birleştirilecek parçalar kalın ağız formunda hazırlanır ve ek metal kullanmadan kaynak yapılır. Derin giriş nedeniyle altlık kullanılmaz. Fakat akmayı ya da yetersiz birleşmeyi önlemek için kaynak parametreleri çok dikkatli olarak seçilir. Elektron ışınının birleşme yerlerini etkilemeden geçmemesi ve aralığın ergimiş hacimle tamamen doldurulabilmesi için, kaynaklanacak iki parça arasında aralığın 1/100 mm den fazla olmaması gereklidir. Bu dar tolerans, freze ya da taşlama ile ağızların dikkatli bir şekilde hazırlanmasını gerektirir. Diğer kaynak yöntemlerinde bu kadar dar toleranslara gerek yoktur. Bazı durumlarda metalürjik nedenlerden dolayı, birleştirilecek parçaların arasına mekanik olarak ek bir tel ya da bant yerleştirilir. Araya konan bu ek metal elektron ışınının etkisiyle esas metal ile birlikte ergiyerek aralığın tam olarak doldurulmasını sağlar. Diğer yöntemlerde olduğu gibi, elektron ışını ile kaynakta kaynak yerinin kimyasal olarak saflığını bozacak hiçbir işlem oluşmaz. Bu nedenle kaynak metalinin bileşimi esas metalinkiyle aynıdır ve bir homojenlik sağlanmış olur [3].

Elektron ışını ile yapılan bağlantının metalürjik özellikleri üzerinde aşağıdaki faktörlerin etkisi vardır:

- Çok hızlı ısınma ve soğuma çevrimi,
- Metal, ergime bölgesinde kısmen buhar haline geçer,
- Ergimiş banyoda gaz absorpsiyonu ya da etkisi yoktur (oksidasyon gibi).

Elektron ışını ile kaynakta yüksek ısı konsantrasyonu nedeniyle, yüksek ergime noktalı malzemelerin (tungsten gibi) kaynağı kolayca yapılabilir. Hızlı soğuma nedeniyle ergimiş metalde tane irileşmesi önlenmiş olur. Fakat bu durum, dönüşmeyle sertleşen

malzemelerde sertleşmeye neden olur. Elektron ışını ile kaynakta derin bir giriş elde edilebildiğinden T-birleştirmelerde yatay levha tarafından kaynak yapmak mümkündür. Birçok alüminyum alaşımı elektron ışını ile kaynaklanabilir, 2XXX, 6XXX ve 7XXX gibi bazı ısıl işlem görebilen alaşımlarda çatlama görülebilir. Dolgu metali ilavesi kaynak çatlaklarını önleyebilir [3].

Alüminyum alaşımları düşük ya da yüksek voltajlı elektron ışın kaynağı teçhizatları ile kaynaklanabilir. Elektron ışın kaynağı makineleri 60 tan 175 kV' a ve 100 KW değerlerine kadar bulunmaktadır. Teçhizat seçimi ve prosedür alaşıma, malzeme kalınlığına, birleştirme geometrisine ve servis şartlarına bağlıdır. Alaşım elementlerinin kaybı genellikle akma mukavemetinde önemli bir azalmayla sonuçlanmaz fakat bu her uygulama için belirlenmelidir. Isıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaşımlarının (1XXX, 3XXX ve 5XXX) elektron ışın kaynağı tüm gaz tungsten ark kaynaklarının özelliklerine eşit akma mukavemeti verimliliği % 100 dür. Bazı alüminyum alaşımlarının elektron ışın kaynağının tipik özellikleri Çizelge 2.4.' te verilmiştir [40].

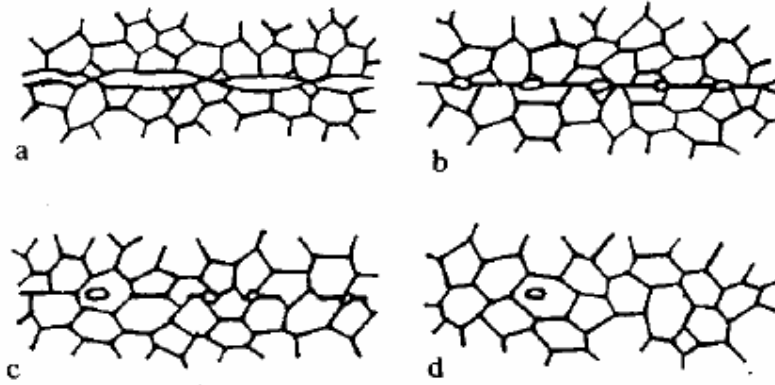
Çizelge 2.4. Elektron ışın kaynağı yapılmış alüminyumun ile ana metal özelliklerinin karşılaştırılması [40].

Ana Metal	Numune	Ortalama Çekme Mukavemeti	Ortalama Akma Mukavemeti
		MPa	MPa
		<u>Isıl işlem görmeven alaşımlar</u>	
5083-O	BM	290	145
	AW	261	149
	AW	252	145
5456-H321	BM	317	228
	AW	310	265
2219-T87	BM	476	379
	AW	317	228
6061-T6	BM	310	276
	AW	238	199
	AW	210	154
7039-T64	BM	418	356
	AW	298	256
	WHT	309	305
7039-O	BM	228	113
	AW	227	116
7075-T6	BM	524	462
	AW	348	299
	WHT	483	416

BM: ana malzeme, AW: kaynaklanmış numune, WHT: Isıl işlem uygulanıp kaynaklandıktan sonra yeniden ısıl işlem uygulanmış numune

2.5.12 Alüminyum ve alaşımlarının Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynak mekanizması ile ilgili günümüze kadar birçok model sunulmakla beraber genelde üç aşamalı mekanizma kabul görmüştür. Bu üç aşamalı mekanizma Şekil 2.9.' da gösterilmiştir [18].



Şekil 2.9. Difüzyon kaynağının üç aşamalı mekanizması a. Yüzey pürüzlerinin başlangıç teması b. Birinci aşama deformasyon ve sınır bağ düzeni c. İkinci aşama tane sınırı göçü ve gözeneklerin yok edilmesi d. Üçüncü aşama hacim difüzyonu ve gözeneklerin elimine edilmesi [18].

Birleştirilecek yüzeylerin birbirine teması sağlanıp kaynak için gerekli sıcaklık ve zamana ulaşılması ile yüzeyler arasında temas alanı artar. Kaynağın birinci aşamasında yüzeydeki pürüzlülüklerde akma ve sürünme mekanizmaları ile ara yüzeyde büyük bir alanda temas sağlanır. Bu aşamanın sonunda birleşme genelde tane sınırlarında oluşur. Basıncın etkisi ile yüzeydeki oksit kırılarak oksitlerin kırılmış olan noktalarından atom akışı başlar. İkinci aşamada difüzyon deformasyondan daha önemlidir. Birçok gözenek bu aşamada tane sınırı difüzyonu neticesinde kaybolur.

Gözenekler tane sınırı göçü ile birleşme yerinden tane içine geçer ve tane içinde oluşur. Bunların tane sınırını hareketsiz hale getirme etkisi azdır. Başlangıçta düz olan birleşme çizgisi üçlü noktalarda bir malzemenin diğerine birkaç mikron kadar nüfuz etmesi ile eğrilir. Birleşme sınırı hareket ederken geride kalan gözenekler tanelerin içerisinde kalır ve burada tane sınırı ile temas alanını kaybederler. Difüzyon işlemleri bu gibi boşlukları küçülterek ortadan kaldırmaya yardımcı olur.

Üçüncü aşama, birleşmenin ve birleştirilecek parçalar arasındaki atomik bağın tamamlandığı aşamadır. İkinci aşama sonunda tane sınırlarından yok edilemeyen tane içine taşınan gözenekler bu aşamada hacim difüzyonu ile büyük oranda yok edilir. Yok, edilemeyen gözenek miktarının oranı kaynak sıcaklığı ile ilişkilidir [18].

Alüminyum alaşımlarının difüzyon kaynağında yüzey oksitlerinin dağıtılması ve çözünmesi sağlanmalıdır. Kaynak mukavemeti ve birleşme kolaylığı (gümüş, bakır veya altın-bakır alaşımı gibi) bir diğer metalden ince ara tabaka ile sağlanır. Sıcaklık, basınç ve zaman geniş aralıklarla kullanılabilir. Kaynak vakumda veya inert gaz atmosferinde gerçekleştirilmelidir ([40]).

2.5.13 Alüminyum ve alaşımlarının Yakma Kaynağı

Yakma alın kaynağında kaynak edilecek parçalar, çeneler aracılığıyla sıkıştırılır. Bu çeneler kaynak makinesinin sekonderiyle bağlantılı olup kaynak akımının sürekliliğini sağlarlar. Kaynak işlemi aşağıdaki şekilde yapılır [3]:

- Parçalar birbiri ile temas etmeden, çeneler arasına sıkıştırılır.
- Transformatöre, dolayısıyla parçalara akım uygulanır.
- Hareketli tabla yavaş yavaş hareket eder.
- Parçaların temas noktalarında kıvılcımlar çıkarak ergitme baslar. Böylece parçaların alınları kaynak sıcaklığına ulaşır.
- Tablanın ani hareketiyle birbirlerine temas eden alınlarda kaynama oluşur.

Tüm alüminyum alaşımları yakma kaynak yöntemi ile birleştirilebilir. Bu yöntem özellikle benzer kesitli iki parçanın alın ve köşe birleştirmelerinin yapılması için tasarlanmıştır. Yakma kaynağı alüminyumla bakırın birleştirilmesinde kullanılabilir [40].

Alüminyum alaşımı çubuk ve borular, bakır çubuk ve borular ile yakma kaynağı ile birleştirilebilirler. Alüminyum alaşımlarının yakma kaynağında kullanılan kaynak makineleri çeliklerin yakma kaynağında kullanılanlara göre daha büyük transformatör kapasitesi gerektirir [23].

2.5.14 Alüminyum ve alaşımlarının Lazer Isın Kaynağı

Lazer sistemi esas olarak optik resonatör (lazer kafası) ve kumanda düzenli enerji kaynağından oluşur. Lazer kafasının içerisine gönderilen enerjinin bir bölümü, lazer aktif madde (ortam) tarafından hacim ve zamana bağlı olarak elektromanyetik bir ışına çevrilir. Aktif madde katı, sıvı ya da gaz şeklinde olabilir. Sıvı hal lazeri, malzeme işlemek üzere

şimdiye kadar hiç kullanılmamıştır. Lazer ışını ile kaynak, bir ergime kaynağıdır. Güç yoğunluğu, malzeme kuvvetle buharlaşmadan ergiyecek şekilde ayarlanmalıdır. Teorik olarak ek metal kullanılmadan kaynak yapıldığı için, parçalar birbirlerine tam olarak yaklaştırılmalıdır. Ağızlar arasındaki açıklık ergimiş banyo genişliğinin 1/5 i kadar olmalıdır. Ergimiş banyo genişliği ise, 100 mikron dolayındadır [23].

Enerji göndermenin ve zamana bağlı kumandanın basitliği nedeniyle hemen hemen bütün malzemelerin birbirleriyle kaynak edilebilmeleri, iyi bir şekilde otomatize edilebilir oluşu, iş parçasının üzerine hiçbir kuvvetin etkisinin olmayışı, atmosferde çalışma olanağı oluşu, hiçbir takım aşınması olmayışı, büyük çalışma aralıkları olanağının varlığı, ısının etkisi altındaki bölgelerin darlığı ve zor ulaşılan yerlerde kaynak yapma olanağı lazer kaynağının üstünlükleridir [3].

Alüminyum alaşımlarının kaynağında toplam ısı girdisinin azalması yararlı etki yapmaktadır. Neredeyse tüm endüstriyel alüminyum alaşımları çökelme sertleşmesi ya da deformasyon sertleşmesi ile sertleştirilmektedir. Ark kaynağı süresince, IEAB de ulaşılan sıcaklık; çökelme sertleşmeli alaşımlarda bölgesel aşırı yaşlanma veya deformasyon sertleşmeli alaşımlarda bölgesel yumuşama olması için yeterlidir. Bu aşırı yaşlanmanın veya yumuşamanın etkisiyle ana metal özelliklerine kıyasla IEAB' nin mekanik özelliklerinin bozulmasına sebep olur. Bu bozulma önemli olabilir. Ark kaynağı uygulanmış yüksek mukavemetli 2XXX serisi alaşımlarda mekanik özelliklerin % 50 ye kadar düşüşü sık görülür.

Ark kaynağıyla kıyaslandığında lazer ısın kaynağında görülen daha dar kaynak ve IEAB daha az yaşlanmış ya da yumuşamış metal hacmiyle sonuçlanır. Bu aynı kalınlıktaki ark kaynağına göre lazer ışın kaynağının enine çekme testlerinde daha yüksek akma ve çekme mukavemeti göstermesiyle sonuçlanır. IEAB' nin çok dar oluşu da bir dezavantajdır, mekanik özelliklerdeki uyumsuzluk (yani, kuvvetli ana metale kıyasla daha zayıf IEAB) aşırı şekilde bölgeseldir. Sonuç olarak, lazer ışın kaynağının enine çekme testi tipik olarak kaynak veya IEAB de sünekliliğin olmamasından değil ama tüm deformasyonların IEAB de meydana gelmesinden dolayı düşük uzama gösterir. Bu; parçalar lazer ışın kaynağı ile birleştirildiğinde problem olur. Kopma IEAB de meydana gelir. Lazer ışın kaynağının darbe ve yorulma özelliklerinde deformasyonun bölgeselleşmesi zıt bir etkiye sebep olur.

Alüminyum alaşımlarının lazer ışın kaynağında temel zorluk Nd: YAG ve CO lazerlerle sırasıyla 1,06 dm veya 10,5 dm dalga boyu ışık yayınımlarında alüminyumun iyi birleşmemesidir. Bir diğer deyişle lazer ışın enerjisi alüminyum tarafından emilmek yerine yansıtılmak eğilimindedir. Bu da metalin ergimesi için gerekli olan enerjiyi sağlamaz. Parlatılmış alüminyum yüzeylerde % 90 kadar çok lazer enerjisi yansıtılır. Ek olarak bir kez kaynak havuzu ve anahtar deliği oluşturulduğunda yansıtıcılık çarpıcı biçimde düşer ve bu güç yoğunluğunun çok yükselmesi ile sonuçlanır. Daha önceki lazer ışın kaynağı kontrol sistemleri yansıtıcılıktaki bu değişimi sağlayamıyorlardı. Kontrol sistemlerinin daha fazla gelişimine ihtiyaç duyulmaktadır.

Alüminyumun yansıtıcılığını azaltmanın bir diğer yolu; yüzeyi mekanik veya kimyasal pürüzlendirmeye değiştirmek, çeşitli emici boya kaplamaları ile kaplamak veya alüminyum yüzeyin anotlaşması ve boyanmasıdır. Bu zorluklar alüminyumun diğer yapısal malzemelere göre lazer ışını ile kaynaklanmasını zorlaştırır. Bu zorluklara rağmen uzay endüstrisinde birçok uygulamada 2XXX ve 6XXX serisi alaşımlar başarıyla kaynaklanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde de ince 2XXX ve 5XXX alaşım serisi levhalar başarıyla kaynaklanmaktadır. Alüminyum alaşımlarının lazer ışın kaynağı uygulamaları daha fazla ekipman ve yöntem gelişimi gerektirmesine rağmen lazer ışın kaynağının alüminyum alaşımları için kullanımı giderek artmaktadır [40].

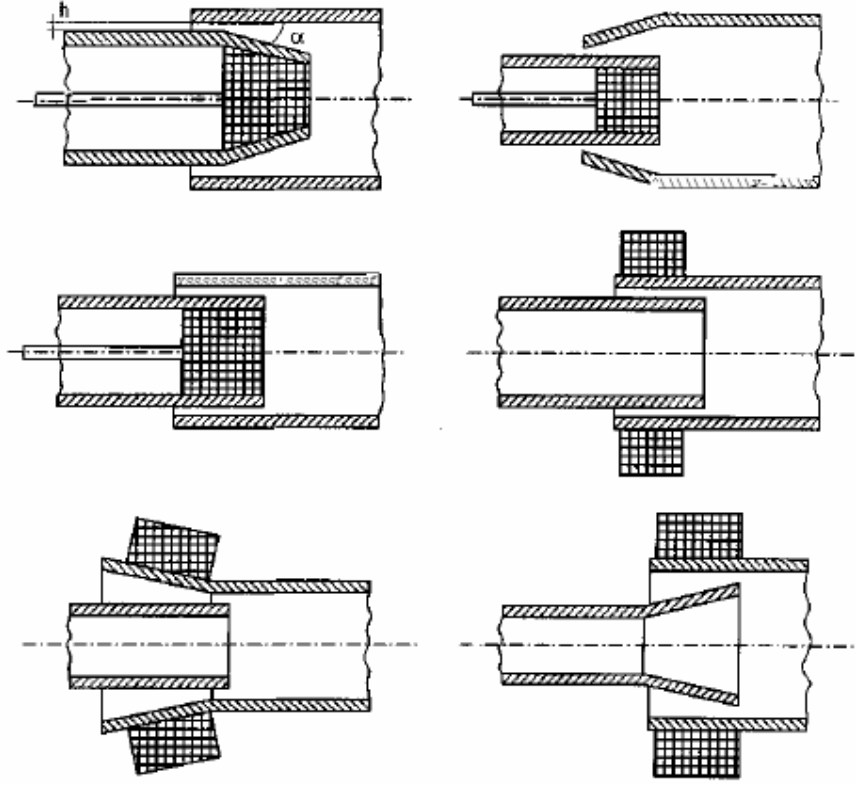
2.5.15. Alüminyum ve alaşımlarının Manyetik Puls Kaynağı

Kesikli manyetik alan metodunun kaynak konstrüksiyonda kullanılan diğer geleneksel yöntemlere avantajları oldukça uzun zamandır bilinmektedir. Fakat yakın zamana kadar bu kaynak cihazlarının ticari olarak üretilmeleri mümkün olamamıştır. Bir katı hal kaynak metodu olan bu yöntem patlamalı kaynak yöntemine benzer bir yöntem olup, günümüzde bu yöntemi kullanan kaynak makineleri ticari olarak üretilmektedir.

Bu yöntemde, paralel veya aralarında belli bir açı olan iki metal sac sargı arasına yerleştirilmektedir. Sargıdan yüksek akım geçirilerek iki manyetik alan oluşturulmaktadır. İki manyetik alanın birbirini itme kuvvetinden dolayı saclar uygulanan akımın karesi ile orantılı yüksek bir hızda birbirlerine çarpmaktadır. Yüksek hızdaki bu çarpma dolayısıyla plastik deformasyona uğrayan saclar kaynak olmaktadır. Bu yöntem ile iki parçanın kaynak

edilebilmesi için, iki parçanın iletken olması ve yüksek hızda birbirine çarpması ve bu çarpma esnasında iki yüzeyin atomik temasının sağlanması gerekmektedir. Bu kaynak yönteminde elde edilen çarpma hızı, manyetik basınca, hızlandırılan malzemenin kütlesine, malzeme özelliklerine ve kaynak yapılacak parçalar arasındaki mesafeye bağlıdır.

Bu yöntem ile boru tipi parçaların bindirme kaynağını yapmak mümkün olup, su anda birleştirilebilen boru geometrileri silindirik, eliptik ve kare kesitlidir (Şekil 2.10.) bu yöntemin farklı uygulamalarını şematik olarak göstermektedir. Bu yöntemin en önemli avantajı, diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri mümkün olmayan alüminyum alaşımı parçaların birbiri ile veya diğer malzemelerden imal edilmiş parçalar ile kaynak edilebilmesidir. Elde edilen kaynak kalitesi oldukça yüksek olup, bu yöntemle elde edilen kaynaklarda kaynak bölgesi kesitinin daha büyük olmasından dolayı hasar kaynak bölgesi dışında olmaktadır. Bu kaynak metodu ile birleştirilmesi mümkün malzeme kombinasyonlarına örnek olarak Al-Al, Al-Mg, Al-paslanmaz çelik, Al-çelik, Al-pirinç ve Al-Cu verilebilir. Bu kombinasyonlara ilaveten diğer bazı malzeme kombinasyonlarında da bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntem ile birleştirilen parçalarda, patlamalı kaynaktakine benzer bir kaynak bölgesi elde edilmektedir [6].



Şekil 2.10. Boru tipi parçaların bindirme kaynağında çeşitli manyetik Puls kaynağı uygulamalarının şematik olarak gösterilmesi. (h: kaynak yapılacak parçalar arası mesafe) [6].

2.5.16 Alüminyum ve alaşımlarının Soğuk Basınç Kaynağı

Soğuk basınç kaynağı, oda sıcaklığında ya da hafif sıcaklık uygulayarak basınç altında katı halde parçaları birbirine birleştirmektir. Parçaların en düşük yeniden kristalleşme sıcaklığı, en yüksek sınır sıcaklık olarak alınır. Metallerin yüzeyi çevre koşullarında her zaman yağ, oksit, sülfür ya da gaz gibi bir tabaka ile kaplandığından, bu tabakanın kaynak işleminden önce temizlenmesi gerekir ve kaynak sırasında uygulanan basınçla şekil değiştirmelidir [3].

Soğuk kaynak ısı girdisi olmadan gerçekleşir. Kaynaklanacak iki parçaya önemli miktarda plastik deformasyonla sonuçlanan bir dış basınç uygulanır. Soğuk kaynak için temel gereksinim metallerden en az birinin sünekliğinin yüksek olması ve soğuk işlem

sertleşmesinin önemli derecede olmamasıdır. Tüm alın ve bindirme birleştirmeler soğuk kaynakla kaynaklanabilir [40].

Her bir metalin soğuk basınç kaynağında bağ oluşumu için minimum bir deformasyon yüzey yayılması veya redüksiyon değeri bulunmaktadır. Al-Al birleştirmelerinde bu esik deformasyon değeri %40-%55-60 kabul edilmekte, alüminyumun kaynak öncesi gördüğü işlem, kalınlık, birleştirmenin şekli ve yüzey hazırlanmasında bu esik değerini doğrudan etkilemektedir [37]. Isıdan etkili bölge olmadığı için alın birleştirme kaynak ana malzemeyle aynı ya da yakın derecede sağlamdır. Birçok alüminyum alaşımı çatlak hassasiyetleri yüzünden ark kaynağı ile kaynaklanamazken soğuk kaynak ile başarıyla kaynaklanabilir. Örneğin, alın kaynaklı 2024 ve 7075 alaşımları başarıyla soğuk kaynak yapılabilir fakat bindirme kaynağı yapılamaz.

Alın ve köşe birleştirmeler tel, çubuk, boru ve basit ekstrüzyon şekillerindeki alüminyum malzemelere yapılabilirken; bindirme birleştirmelerin kaynağı levha malzemelere yapılabilir. Bindirme birleştirmelerin kaynağında kaynak bölgesinde kalınlıkta yaklaşık %70 azalma gerektirir ve sadece düşük mukavemetli 1XXX ve 3XXX serisi alaşımlar için pratiktir. Bu kaynak iyi kayma mukavemeti sağlar fakat eğme tipi bir yüklemeye maruz kalındığında iyi bir performans göstermez [40].

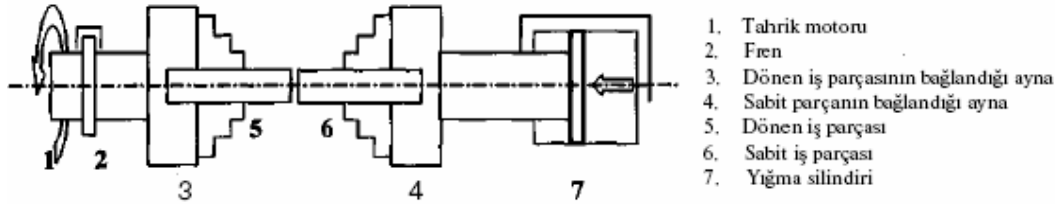
2.5.17. Alüminyum ve alaşımlarının Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynak yöntemi, özellikle malzeme ve enerji tasarrufu sağlaması bakımından 1950 yılından sonra kendisine özel kaynak yöntemleri içerisinde yer bulmuştur. Sürtünme kaynağı, dışarıdan hiçbir mekanik enerji veya ısı kullanılmadan parçaların sürtünmesi sonucu oluşan mekanik enerjiyi, termal enerjiye dönüştürmesiyle parçaların birleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Sürtünme kaynağında parametrelerin belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu kaynak türündeki en önemli parametreler; sürtünme süresi, sürtünme basıncı, yığma süresi, yığma basıncı ve devir sayısı olarak sayılabilir. Parçalar kaynak edilirken birleştirilecek parçaların yüzeylerinin de yağ ve oksitten arındırılması kaynak yapılırken olumlu bir işlem olacaktır.

Sürtünme kaynak yöntemi genel olarak;

- Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı
- Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı şeklinde ikiye ayrılabilir.

Klasik (Sürekli Tahrikli) sürtünme kaynağında (Şekil 2.11.); birleştirilecek parçalardan biri eksenini etrafında döndürülmekte diğeri ise eksensel yönden hareketli olarak dönen parçaya belirli bir süre bastırılmaktadır. Sürtünen yüzeylerde yeterli sıcaklığa erişilince dönme işlemi ani olarak durdurulurken basınç artırılmakta ve yumuşak malzeme bu yüksek basınç altında soğumaya bırakılmaktadır. Açıklamadan da anlaşılacağı gibi basınç iki kademeli olarak uygulanmaktadır. Basıncın birinci kademesine "Isınma veya Sürtünme Basıncı" ve ikinci kademesine de "Yığılma veya Dövme Basıncı" denir [1].



Şekil 2.11. Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı [1].

Birçok metelsel malzeme ve kombinasyonunun sürtünme kaynağı için, uygulamalar ve deneylerden elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme kaynağının özelliği, ergitme kaynağı yöntemlerinin uygulanmadığı malzeme ve malzeme kombinasyonlarında da başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için kaynağa uygunluğu belirleyen kriterler, sürtünme kaynağı için her zaman kullanılamaz. Bunun nedeni, birleştirme sıcaklığının düşük, kaynak süresinin kısa ve birleştirmenin bir kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeliğin (alaşımli veya alaşımsız) alüminyum ve bakır ile toz metalürjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin (Al_2O_3 , ZrO_2) alüminyum ile sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme kaynağı gösterilebilir [2].

Çatlak hassasiyeti yüzünden ark kaynağı ile kaynaklanamayan 7XXX serisi alaşımlar da dâhil olmak üzere neredeyse tüm alüminyum alaşımları sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilir. Sürtünme ısısı ile yumuşayan metal kaynak bölgesinden uzaklaştırılır ve yüksek mukavemetli ısıl işlem görebilen alüminyum alaşımlarında bile birleşmenin

mukavemeti esas metalinkine yaklaşır. Temas yüzeyindeki alüminyum oksit kırılır ve birleşmeden uzaklaşır. Kaynak öncesi temizleme diğer kaynak işlemlerinde olduğu kadar kritik değildir.

Tüm malzeme kombinasyonları için mümkün olmamasına rağmen alüminyum alaşımları birçok başka metal ile sürtünme kaynağı ile kolayca birleştirilebilir. Elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyumun bakır alaşımları ile kaynağı ve boru sistemleri ve basınçlı kapların geçiş bağlantılarında kullanılan alüminyumun paslanmaz çeliklerle kaynağı en yaygın iki kaynak birleştirme işlemdir [40].

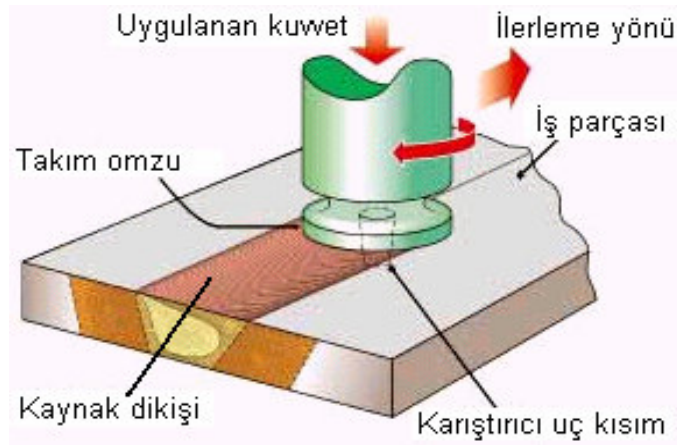
3.MATERYAL ve METOT

3.1. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

Son yıllarda geliştirilen sürtünme kaynağının değişik bir şekli olan bir katı hal kaynak yöntemi ile alüminyum alaşımı levhaların alın kaynağında sıvı hal kaynak metotlarından çok daha iyi sonuçlar alınmıştır. Bu yöntemin adı, sürtünme-karıştırma kaynağıdır (friction stir welding). Bu yöntemde, maliyet artırıcı bir faktör olan elektrot ve koruyucu gaz kullanımı söz konusu değildir. İş kazalarına yol açabilecek ark oluşumu, radyasyon, zehirli gaz çıkışı veya insan gözüne zararlı lazer ışını gibi olumsuz hususlar bu yöntemde mevcut olmadığı için temiz ve çevreci bir kaynak yöntemidir. Ayrıca, toplam ısı girdisinin düşük olduğu bir katı hal kaynak yöntemi olduğundan ergitme kaynaklarında karşılaşılan çatlak ve porozite oluşumu söz konusu değildir. Alaşımlarının tüm kaynak yöntemlerinde karşılaşılan kaynak bölgesindeki mukavemet kaybı bu yöntemde düşük ısı girdisinden dolayı daha düşük seviyelerdedir [35].

İşlem, kaynak yapılacak parçadan daha sert bir malzemedan üretilmiş sürtünme aparatının dönen ucu ile kaynaklanacak parçaların birleşme bölgesinde ısı meydana getirilmesi prensibine dayanır. Karıştırıcı uç, daha geniş çaplı bir metal gövdeye bağlı, daha küçük çaplı bir sonda olarak şekillenmiştir. Karıştırıcı uç birleşme bölgesi içine daldırıldığında geniş çaplı omuz diye tarif edilen metal kısım birleştirilecek yüzeylere önce bir temas yapar. Karıştırıcı ucun dalma derinliği kaynak nüfuziyeti olarak da söylenebilir. Omzun malzemeye teması kaynak bölgesine ilave bir ısı sağlamanın yanı sıra, yumuşayan bölgeye karıştırıcı ucun kesik koni şeklindeki ucu daldırılır. Isıl olarak yumuşayan metal karıştırıcı uca doğru giderek daralan ancak üst yüzeyde omuz ile temas eden daha geniş bir görünüm arz eder. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği temas yüzeyinde yumuşamış bir metal oluşturur. Karıştırıcı uç çevresinde malzeme akışı, karıştırıcı uç arkasında ise malzeme ile dönen uç arasında izafi bir dönüş meydana gelmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı, kendi kendine oluşan bir birleştirme tekniğidir. Birleşen malzeme doğal katı faz haldedir ve ergime kaynağı hataları içermez. Bu yöntemde tüketilen bir dolgu malzemesi, koruyucu gaz ve kenarların hazırlanması gerekmez [19].

Kaynak bölgesi üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) termomekanik olarak etkilenen bölge (TMEB) ve sıvı hal kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ısı etkisi altındaki bölge (IEAB) olarak adlandırılmaktadır [30]. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi Şekil 3.1.' de verilmiştir. Yöntem, 1970'li yıllarda İngiltere'de Kaynak Enstitüsünde geliştirilip 1990'lı yıllarda patentleşmiştir. Bu katı hal kaynak yönteminde birleştirme, sürtünme ile açığa çıkan ısının hamur kıvamına getirdiği malzemenin plastik akışı sayesinde gerçekleşmektedir [6].



Şekil 3.1. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi [10].

3.1.1. Kaynak Metalürjisi

SKK kaynak bağlantılarında oluşan kaynak bölgesinde tipik bir soğan halkaları biçimine rastlanmaktadır ve kaynak metalinin biçimi çok değişken olarak oluşmaktadır. Bu biçim kaynak edilen alaşım türüne, kaynak işlem parametrelerine bağlıdır [28].

Sürtünme karıştırma kaynağının yatay kesitine bakıldığında göze çarpan ilk oluşumlardan biri muhtemelen soğan halkalarıdır. SKK' da kaynak dikişinde oluşan soğan halkaları Şekil 3.2.' de verilmiştir. Soğan halkalarının varlığına dair bazı mekanizmalar ortaya atılmıştır. Biallas ve diğer bilim araştırmacılar ısı etkisi altındaki bölgenin soğuk duvarlarından malzeme akışının yansması yüzünden soğan halkalarının oluştuğunu açıklamışlardır [16]. Threadgill[16] ise soğan halkalarının oluşumunun aletin bir devirdeki ileri hareketi ile ilgili olduğunu savunmuştur.

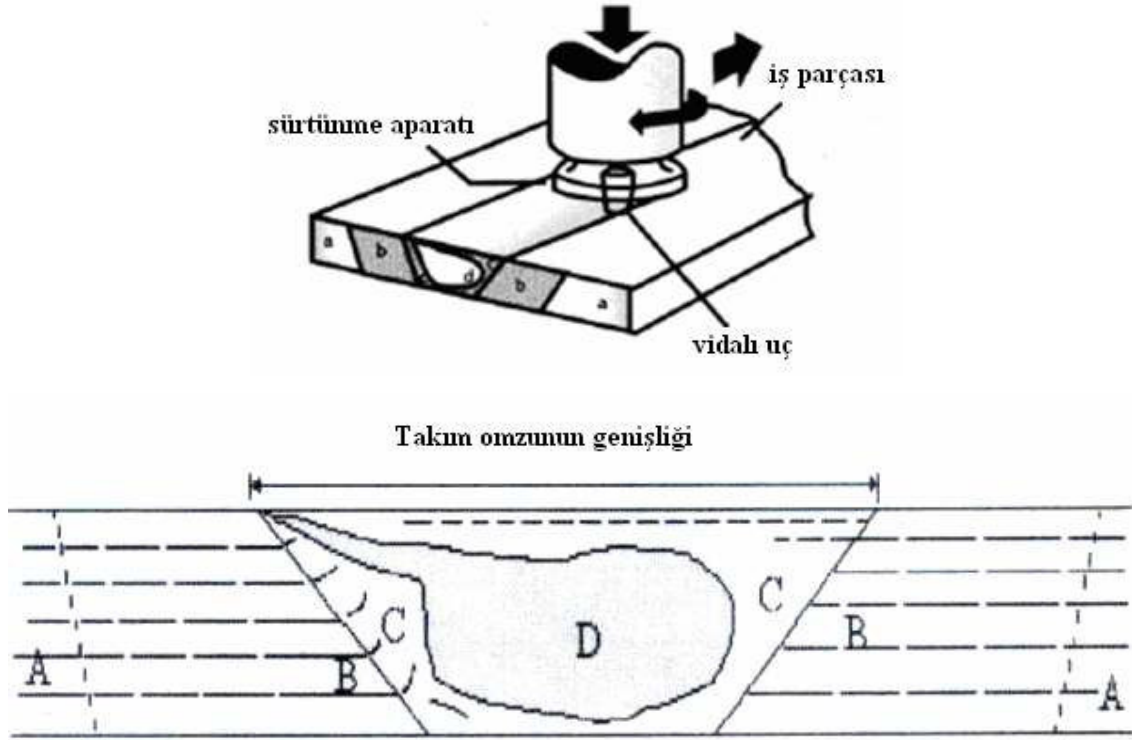


Şekil 3.2. SKK' da kaynak dikişinde oluşan soğan halkaları [16].

Yüzeydeki yarım dairelerin duruşu, aletin dönmesi ve ileri doğru hareketi sırasında kaynak için gerekli ısıyı sağlayıp, sıcak metali iterken kısa bir süre yüzeyde beklemiş gibi görünür. Bu yöntemin sürekli oluşu, yarım daire halkalarının devamlılığını sağlar. İki halka arasındaki mesafe, aletin bir dönme sırasında aldığı yola eşittir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemindeki oluşum Colligan ve Reynolds[24] tarafından ekstrüzyon yöntemindeki oluşuma benzetilir . Aletin her bir dönmesi sırasında malzeme yarım daire halka parçaları şeklinde aletin arkasına ve yan taraflara doğru itilir. Üste yakın kısımlarda karışma daha fazladır. Tüm bu sonuçlar, araştırmacıları, buradaki işlemin bir ekstrüzyon işlemi olduğu fikrine yönlendirir [24].

Bu kaynak yönteminde kaynak bölgesi dört farklı bölgeden (Şekil 3.3.) oluşmaktadır [20];

- A: Kaynaktan etkilenmeyen ana malzeme
- B: Isı etkisi altındaki bölge (IEAB)
- C: Alüminyum alaşımlarında bulunan yeniden kristalleşmemiş bölge
- D: Alüminyum alaşımlarında bulunan yeniden kristalleşen kaynak çekirdeği
- C+D: Termomekanik olarak etkilenen bölge



Şekil 3.3. Kaynak bölgesinin mikro yapısının şematik olarak gösterilmesi [5]. A: Kaynaktan etkilenmeyen ana malzeme; B: Isı etkisi altındaki bölge (IEAB); C: Alüminyum alaşımlarında bulunan yeniden kristalleşmemiş bölge; D:Alüminyum alaşımlarında bulunan yeniden kristalleşen kaynak çekirdeği; C+D: Termomekanik olarak etkilenen bölge.

Ana malzeme veya ısıdan etkilenmeyen malzeme her ne kadar kaynak bölgesinden uzak ise de işlem ısısal çevrimden etkilenir. Fakat bu mikro yapısal ya da mekanik özellikleri etkilemez. Isı etkili bölge kaynak merkezine yakındır ve ısısal çevrim mikro yapısını ve/veya mekanik özelliklerini değiştirir. Termomekanik etkilenen bölgeden farklı olarak bu bölge plastik deformasyona uğramaz ve ısı etkili bölgenin özelliklerindeki değişiklikler diğer ısısal işlemlerde gözlenenlerle kıyaslanabilir. Termomekanik etkilenen bölge hem plastik deformasyonun hem de ısısal etkinin sonucudur. Alüminyumda yüksek sıcaklıkta yeniden kristalleşme meydana gelmeden önemli plastik deformasyon oluşumu mümkündür. Bu konuda çalışan araştırmacıların çoğu termomekanik etkilenen bölgenin bir bölümünde dinamik olarak yeniden kristalleşen kısmın (kaynak çekirdeği) kalan bölümde ise plastik deformasyona uğramış fakat yeniden kristalleşmemiş kısmın olduğunu belirtmektedirler.

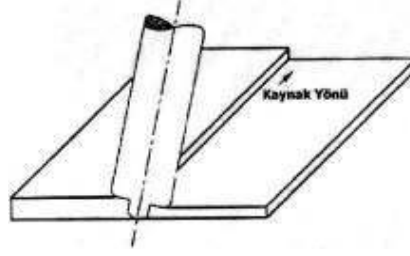
Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile kaynaklanmış diğer malzemelerde tipik olarak kaynak çekirdeği bulunmaz, termomekanik etkilenen bölge tamamen yeniden kristalleşmiş olarak görülür. Kaynak metalinin şekli alaşıma, yöntemin şartlarına ve omuz çapına bağlıdır. Kaynak metalindeki tane boyutu ana malzemeninkinden önemli ölçüde küçüktür. Bu çeşitli mekanik özellikler açısından (eğer çatlak başlangıcı ve büyümesi bu bölgede meydana geliyorsa yorulma mukavemeti de dâhil olmak üzere) yararlıdır. Termomekanik etkilenen bölgenin yeniden kristalleşmeyen kısmı kaynak metalindeki tanelerden farklı olarak plastik deformasyona ve termal etkiye uğramış tanelerden oluşur. Taneler ana malzemeninkine benzer boyutlardadır. Isı etkili bölge işlem parametrelerinden etkilenir, tek pasolu kaynak için Şekil 3.3’de gösterildiği gibi ikizkenar yamuk seklindedir. En geniş kısım iş parçası ve takım omzu arasındaki sürtünme ile üretilen ısı yüzünden takım omzunun altında yer alır. Isı etkili bölgenin uzunluğu mikro yapısal ölçümler ve sertlik ölçümleriyle belirlenebilir. 0,8 Tm’e kadar olan sıcaklıklar pim yakınında ve takım omzunun altında meydana gelir, fakat alüminyumun yüksek termal iletkenliği takım omzundan uzakta da mikro yapısal ve mekanik değişimlere sebep olabilecek sıcaklıkları sağlar. Threadgil’ e göre yaşlandırılabilen ve deformasyon sertleşmesi uygulanabilen alaşımlarda ısı etkili bölgede sertlik aşırı yaşanma ve/veya dislokasyon yoğunluğundaki azalma yüzünden düşmektedir [5].

3.1.2. Kaynak Parametrelerinin Etkileri

SKK’ da etkin olan parametreler; malzeme kalınlığı, karıştırıcı uç malzemesi ve tasarımı, takım ilerleme hızı ve takım devir sayısı, kaynak pozisyonu ve birleştirme geometrileridir.

3.1.2.1. Malzeme kalınlığı

Bu kaynak yöntemi ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirme işlemi pimin eğik konumda levhalara daldırılması ile yapılabilmektedir (Şekil 3.4.). Ayrıca çift taraftan kaynak yaparak kalın parçalarında birleştirilmeleri mümkündür [7].



Şekil 3.4. Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde batıcı pimin eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi [28].

Bu kaynak yöntemi, büyük uzunluktaki kaynakların ergime olmaksızın yapılmasını sağlamaktadır. Bu ergitme kaynakları ile karşılaştırıldığında önemli bazı metalürjik avantajlar sağlar. İlk olarak; ergime olmaması katılma çatlaklarının giderilmesini sağlar. İkinci olarak ergitme kaynağı ile bir araya getirilemeyen farklı ve uyumsuz alaşımlar başarıyla birleştirilebilir. Üçüncü olarak, karıştırma ve dövme hareketi ergime kaynağı ile elde edilebilenden daha iyi özelliklere sahip ince taneli yapı üretir ve son olarak; düşük kaynama noktasına sahip alaşım elementleri buharlaşma yoluyla kaybolmazlar. Diğer avantajları; düşük çarpılma, kenar hazırlanmasına ihtiyaç duyulmaması, porozite olmaması, koruyucu gaz ve dolgu metali gibi kaynak sırasında kullanılan malzemelere ihtiyaç duyulmaması ve oksit tabakasına tolerans gösterilebilir olmasıdır [22].

3.1.2.2. Karıştırıcı uç malzemesi ve dizaynı

Yöntemde, yüksek sıcaklıklarda aşınma direncine sahip malzemelerden üretilen, değişik tasarımlardaki, tükenmeyen döner takımlar kullanılır. Örneğin, Amerikan Deniz Kuvvetleri'nde ani saldırı ve hücum amaçlı ileri amfibik (hem karada hem suda hareket edebilen) aracın kaynak bağlantılarında H13 (X40CrMoV51) takım çeliğinden tek parça takımlar ve karıştırıcı uç kısmın malzeme olarak sıcakta yüksek mukavemete sahip olan MP 159 malzemesinden ve omuz kısmı ise H13 takım çeliğinden imal edilmiş ve iki parçalı olan takımlar kullanılmıştır. Bu konudaki gelişmeler hızla devam etmektedir ve geliştirilen takım malzemeleri ile ilgili bilgilere ulaşmak oldukça zordur [24].

Bu kaynak yöntemi geliştirildiğinde ilk kullanılan batıcı uçlar; yüzeyine helisel diş açılmış, uzunluğu kaynak edilecek levha kalınlığından biraz kısa silindirik pimlerdi. Fakat son

yıllarda sürtünmeden açığa çıkan ısı ile akıcı kıvama gelen malzemenin kaynak bölgesinde kalmasını geliştirmek için çok değişik pim tasarımları geliştirilmiştir [9].

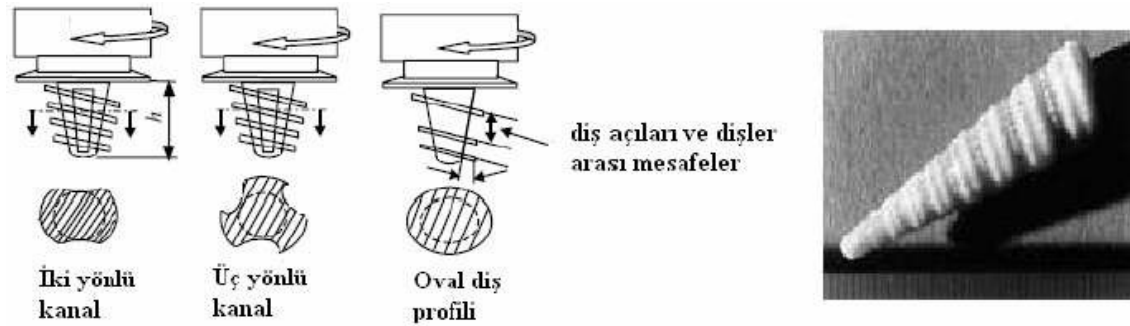
Kaynağı zor veya daha kalın malzemelerde, plastik şekil değiştiren kısmın, karıştırıcı uç kısım etrafındaki akışı, göz önünde tutulması gereken önemli bir noktadır. Eğer, oldukça geniş çapta karıştırıcı uç kısımlar gerekli ise çok geniş hacimli malzeme hareketi olacaktır. Takımlar, plastik şekil değiştirebilen malzemenin, karıştırıcı uç kısım etrafındaki akışını artıracak şekilde geliştirilmelidir. Oldukça geniş hacimli karıştırıcı uç kısımlar, içi boş olarak tasarlanmıştır. Kullanılan karıştırıcı uç kısım profilleri, sürtünme karıştırma kaynak yönteminin kalitesini artırmak için vidaya benzer yivli veya sarmal yivli, mikser veya pervane şekilli olarak geliştirilmiştir. Mikser tip içi boş karıştırıcı uç kısma sahip takım, plastik şekil değiştiren malzemenin, karıştırıcı uç kısmın içinden geçmesine olanak sağlar. Benzer çaptaki dolu takımlar ile karşılaştırıldığında, daha az miktarda malzeme yer değiştirir [24].

3.1.2.2.1. Üç yivli ve helezonik takımlar

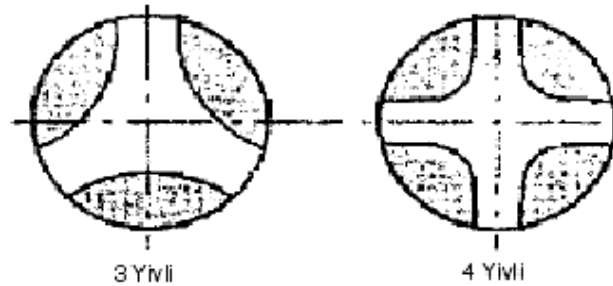
Son yıllarda, üç oluklu veya üç yivli (MX Triflute) ve helezonik (Whorl) takımlar geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan takım genel olarak omuz ve karıştırıcı uç kısım olmak üzere iki önemli bölümü içerir. Takımın omuz kısmı, plastik şekil değiştiren kaynak bölgesinin diğer bir deyişle iş parçasının yüzeyi üzerinden sıkıştırarak (baskı uygulayarak) hareket eder. Isı, ince parçaların kaynağında dönen takımın omuz kısmı ile iş parçasının yüzeyi üzerindeki sürtünmeden oluşur, bu kaynak işlemi için gerekli ısının ana kaynağıdır. Bununla beraber, iş parçasının kalınlığı arttıkça, takımın omuz kısmı ile iş parçası yüzeyleri arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan ısıya ek olarak, iş parçası ile takımın karıştırıcı ucu arasındaki dönme sırasında sürtünmeden elde edilen ısı daha da artar. Bunlara ek olarak, takımın karıştırıcı ucunun ana işlevi, kaynak hattındaki işlenen malzemenin yeterliliğini sağlamak ve doyurucu bir kaynak dikişini, takımın etrafındaki malzemenin akışı ile kontrol etmektir. 1 mm ila 50 mm arasındaki kalınlıklara sahip alüminyum alaşımlı levhalar, bir pasoda, sürtünme karıştırma kaynak yöntemi sayesinde başarıyla kaynak edilir. MX üç yivli takım kullanılarak, 6 mm'den 50 mm'ye kadar olan kalınlıklardaki malzemelerin tek pasoda kaynaklarını yapmak oldukça iyi sonuçlar verir. Esas itibarıyla, her iki takımında da karıştırıcı uç, kesik koni biçiminde ve çapı eşit silindir biçimli malzemelerden işlenerek

şekillendirilmiştir. Helezonik takımın karıştırıcı ucunun hacminin yaklaşık %60'ı boşaltılmış iken, üç yivli takımın karıştırıcı ucunun hacminin yaklaşık %70'i boşaltılmış durumdadır.

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde kullanılan takımların karıştırıcı uçları dairesel etkiler ve burulma yüklerinin etkisi altındadır. Her iki karıştırıcı uçta, kaynak işlemi sırasında geleneksel pim türü karıştırıcı uçlardan daha fazla etkili olacak şekilde akışa neden olur. Şekil 3.5.' te helezonik takımların, Şekil 3.6.' da ise yivli takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri görülmektedir [24].



Şekil 3.5. Helezonik takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri ve bir deniz kabuğu ile benzerliği ([24]).

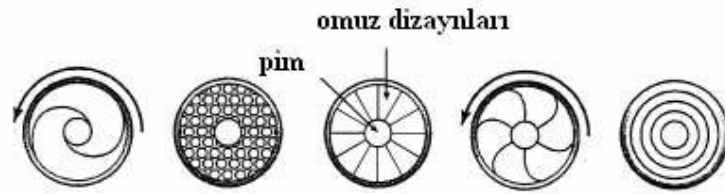


Şekil 3.6. Yivli takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri [24].

Üç yivli takımlarla yapılan bindirme kaynağında uç, daha geniş kaynak bölgesi sağlamak ve kaynak yapılan ara yüzeylerde daha büyük levha kalınlıklarından dolayı oluşabilecek problemleri önlemek amacıyla daha farklı dizayn edilmiştir. Bindirme kaynağında pim yüzeyi kaynak ara yüzeyine zorunlu olarak diktir ve alttaki levhaya yeteri

kadar nüfuz edebilmesi ana amaçtır. Kaynak ara yüzeyinin üst yüzeyden mesafesi ve ucun girintilerinin kaynağın kenarıyla kesiştiği açı çok önemlidir. Bu özellik, yorulma ile doğrudan bağlantılıdır.

Yeni nesil helezonik ve üç yivli takımlarının omuzları (shoulder) da özel profillere sahiptir (Şekil 3.7.). Omuz profilleri, omuz ile iş parçası arasında daha iyi bir temas yüzeyi sağlamak amacıyla kullanılır. Sürtünme teması ile akan malzemenin kaynak bölgesinden ayrılması önlenmektedir [9].

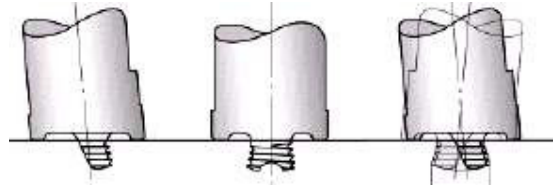


Şekil 3.7. Helezonik ve üç yivli takımlarının omuz profilleri [9].

3.1.2.2.2. Asimetrik ve Eğik pimler (batıcı uçlar)

SKK için geliştirilen eğik biçimli pimler Şekil3.8.' de gösterildiği gibi makine miline biraz eğik olarak verilen takım eksenine geleneksel metottan farklıdır [35].

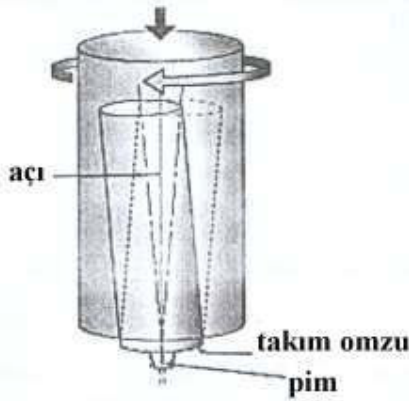
Asimetrik tür pimler, dinamik süpürme hacmi ile statik hacim arasındaki oranı pimin eğik hareketi ile artırabilmektedirler. Bu oran, boşluk oluşumunu gidermede veya azaltmada ve işlem verimliliğini yükseltmede önemli bir faktördür [9].



Şekil 3.8. Eğik ucunun resmi [35].

Şekil 3.9.' da görüleceği üzere, omuz yüzeyi, eğik takım eksenine belirli bir eğim oluşturmaktadır. Omuz yüzeyi, plakanın üst kısmına bağlı olarak sabit durmaktadır. Omuz, iş parçası üzerinde iken dairesel hareket yapar. Takımın odak noktası, iş parçası yüzeyine veya

iş parçasının herhangi bir noktası üzerine geldiğinde, omuzun temas yüzeyi eksen dışı bir yörüngede hareket eder. Ayrıca, omuzun bu yörünge hareketi, omuzun eğrilik açısına ve odak noktası ile levhanın üst yüzeyi arasındaki mesafeye bağlıdır. Eğrilik açısı ve aradaki mesafe arttıkça, omuzun hareket sahası da artacaktır [9].



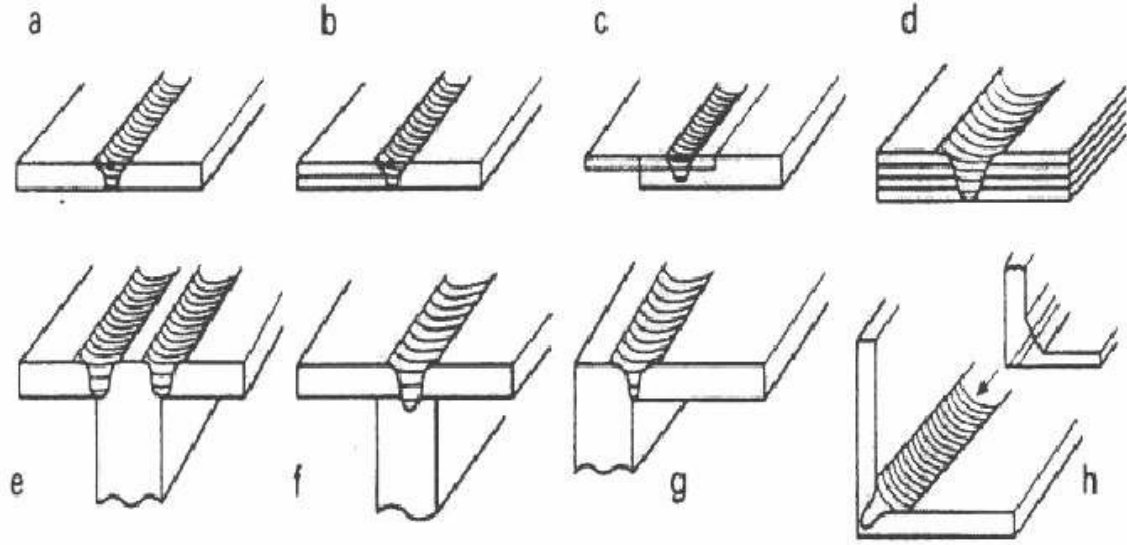
Şekil 3.9. Asimetrik tip uçların çalışma prensibi [9].

3.1.2.3. Takım ilerleme hızı ve takım devir sayısı

Sürtünme karıştırma kaynağında iki parametre çok önemlidir. Bunlar saat yönünde veya saat yönünün tersi yönde takımın devir sayısı (n , dev/dk) ve kaynak hattı boyunca takımın ilerleme hızıdır (V , mm/dk). Takımın dönmesi dönen pim etrafındaki malzemenin karışmasına sebep olur, takımın dönmesi karışan malzemeyi pimin önünden arkasına taşır ve kaynak işlemi sonlanır. Yüksek kaynak hızlarında asıl problem yeterli birleşmenin olmadığı soğuk kaynaktan kaçınmanın sağlanmasıdır [11]. Takımın yüksek devir sayılarında sürtünmenin fazla olması sebebiyle yüksek ısılar üretilir ve malzemenin daha kuvvetli karışmasına sebep olur [25]. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynaklanma hızının değişmesi malzeme sertliğini de değiştirmektedir. Artan kaynak ilerleme hızlarında sertlik değerleri de artmaktadır. Bunun nedeni yüksek kaynak hızlarında malzemeye aktarılan ısı girdisinin azalmasıdır [19].

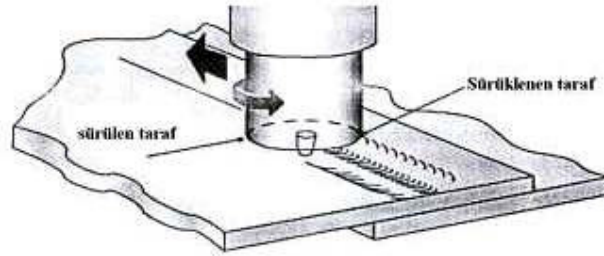
3.1.2.4. Kaynak pozisyonu ve birleştirme geometrileri

Sürtünme karıştırma kaynağında uygulanabilir birleştirme türleri; küt alın, bindirme, T-köşe, dış ve iç köşe, boyuna ve çevresel birleştirmelerdir (Şekil 3.10.). Ayrıca bu yöntem yerçekiminin etkisi olmadığından tüm pozisyonlarda rahatlıkla uygulanabilir [28].

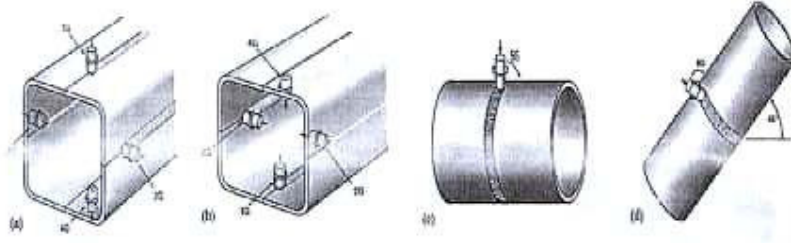


Şekil 3.10. Sürtünme karıştırma Kaynak Yönteminde gerçekleştirilen birleştirmeler.
a) Küt alın birleştirme b) Birleştirilmiş ek ve bindirme birleştirme c) Bindirme d) Çoklu bindirme e) İki pasolu T- köşe birleştirme f) Tek pasolu T- köşe birleştirme g) Dış köşe birleştirme h) İç köşe birleştirme [28].

Bu kaynak yöntemi ile düz ve çeşitli profillerdeki sac ve levhaların alın ve bindirme kaynağı yapılabilmektedir. Şekil 3.11. sürtünme karıştırma bindirme kaynağının yapılışını şematik olarak göstermektedir. Alüminyum alaşımı veya mukavemeti düşük diğer malzemelerden T ve L profillerin üretiminde ve boru bağlantı kaynaklarında da bu yöntem kullanılabilmektedir (Şekil 3.12.) [9].



Şekil 3.11. Sürtünme karıştırma bindirme kaynağının şematik gösterimi [9].



Şekil 3.12. Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin boru kaynaklarında uygulaması [9].

Belirli bir pim yüzey geometrisi kullanılarak yapılan sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen birleştirme karakteristiklerini belirleyen üç faktör vardır. Bunlar sırasıyla pimin devir sayısı, pimin ilerleme hızı ve pimin batma derinliğidir. Bunlardan ilk ikisi rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Fakat pimin batma derinliği kritik bir faktör olup, kontrol edilmesi güçtür [8].

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde birleştirilecek levha kalınlığı değiştiğinde, sürtünme aparatı boyutu da değişmektedir. Tek taraflı alın kaynaklarında aparatın malzeme içerisinde kalan uç kısmının uzunluğu, kaynak edilecek levhaların kalınlığına yakındır. Çift taraflı alın kaynaklarında ise uç kısmının uzunluğu, malzeme kalınlığının yaklaşık yarısı kadar alınmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde tek parça takım kullanılması güven açısından önemli bir sınırlamadır. Yüksek hızda dönen ve iki malzeme arasında kaynak işlemini gerçekleştiren takım ucu, yavaş bir şekilde birleştirilecek bölgeye daldırılır. Kaynağın sonunda tek parça takım ucu geri çekilir; ancak, bir anahtar deliği bırakılmış olur. Bu durum, depolama tankları, borular, davul biçimindeki ve silindir biçimli parçaların kaynağı gibi 360° lik çevresel kaynaklar yapılacağı zaman kabul edilemez bir hatadır. Diğer sınırlama ise, değişik kalınlıklardaki malzemelerin kaynağı yapılacağı zaman, farklı uzunluklardaki takım uçları gerekmesidir. Bu sınırlamaları önlemek için otomatik olarak çalışan, bilgisayar ile kontrol edilen ve geri çekilebilen bir takım ucu tasarlanmıştır. Geri çekilebilir takım ile başlangıç noktasına tekrar geldiğinde, motor, karıştırıcı uç kısmı yavaş yavaş omuzun içine otomatik olarak çekilmeye başlar. Bu sırada karıştırıcı uç kısmı daha az olan nüfuziyetteki kaynağı, anahtar deliği kapanana kadar kaynak eder. Omuz da bu sırada dönmeye devam ettiği için anahtar deliği oluşumu engellenir. Bu durum iki parçalı takımın önemli bir üstünlüğüdür. Ayrıca, bu takım tasarımı değişik malzeme kalınlıkları için takım

ucunun ayarlanmasına olanak sağlar. Malzemenin çarpılmasını en aza indirmede önemli bir üstünlük sağlamıştır [24].Baticı uçlar takım çeliği veya yüksek hız çeliklerinden imal edilmektedir [10].

3.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANDIĞI MALZEMELER

SKK; Alüminyum alaşımları, Bakır alaşımları, Titanyum alaşımları, Magnezyum alaşımları, çelikler, farklı alaşım ve metaller, plastiklerin kaynağında kullanılmaktadır.

3.2.1. Bakır alaşımları

Çelik ve nikel alaşımlarına göre 10–100 kez daha yüksek ısı yayılma gücü sebebiyle bakırın geleneksel kaynak yöntemleriyle kaynaklanması zordur. Bu yüzden kaynak için gerekli olan ısı girdisi çok yüksektir bu da oldukça düşük kaynak hızlarıyla sonuçlanır. 1.5–50 mm kalınlıktaki bakır plakaların sürtünme karıştırma kaynağı başarıyla yapılmaktadır. SKK yapılmış bakır alaşımlarının çekme mukavemetleri ana malzeme ile benzer değerler vermektedir. SKK ile tungsten ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerde elde edilen bazı özellikler benzerdir. Örneğin çözülmüş gaz (H_2 ve O_2) miktarları her ikisinde de benzer olmasına rağmen gaz tungsten ark kaynağında koruyucu gaz (helyum) kullanılırken SKK’ da koruyucu gaz kullanılmamaktadır. SKK yapılmış bakır malzeme termal kararlılığı ile bakırın ve gaz tungsten ark kaynağı yapılmış bakırın termal kararlılığı benzerdir [25].

3.2.2. Titanyum alaşımları

Her ne kadar birçok titanyum alaşımları gaz tungsten ark kaynağı gibi geleneksel ergitme işlemleri ile kaynak yapılabilse de kaynak sonrası ısı işlem gerektirebilmektedir. Bu ilave işlem üretim maliyetini arttırmaktadır. Bir katı hal kaynak işlemi olan SKK’ nın kaynak sonrası ısıleme olan ihtiyacı ortadan kaldırması beklenmektedir. Ne yazık ki titanyum alaşımlarının SKK ile ilgili bilgiler şu an için yetersizdir. İlk araştırmalar SKK’ nın titanyum alaşımlarının birleştirilmesinde etkili bir kaynak yöntemi olduğunu gösterse de SKK sırasında mikro yapısal gelişimin anlaşılabilmesi için daha çok araştırma yapılması gerekmektedir [25].

3.2.3. Çelikler

Ergitme kaynağı işlemine göre SKK' da ki düşük ısı girdisinin IEAB' de daha az metalürjik değişiklik yapması ve kalın kesitli birleşmelerin kaynağında çok önemli olan çeliklerdeki çarpılma ve kalıntı gerilmeyi minimize etmesi beklenmektedir.

Ayrıca çeliklerdeki hidrojen çatlağı problemine sürtünme karışıma kaynak işleminin katı hal kaynağı oluşu sebebiyle karşılaşılmaz. Ek olarak katı hal sürtünme karıştırma kaynağı işleminde, kaynakla ortaya çıkan kokulu gazlar da oluşmaz. Bu avantajlar sürtünme karışıma kaynağını çeliğin birleştirilmesinde birçok uygulama için avantajlı hale getirmektedir.

SKK' nın çeliklerde uygulanabilirliği üzerine yapılan araştırmalar SKK' nın farklı çelik tiplerinin birleştirilmesi uygulamalarında kullanılabilirliği açısından ümit vericidir. Bunların yanında çeliklerin SKK' sında kullanılan uygun takım malzemelerinin seçimi kritik bir konudur. SKK için temel gereksinim takım ve iş parçası malzemesi arasında sertlik ve yüksek sıcaklık özellikleri arasındaki uygun farkı korumaktır. Çünkü çelikler çok yüksek sertliğe ve yüksek sıcaklık özelliklerine sahiptir. Takım malzemesinin 1000°C ve üzerindeki sıcaklıklarda iyi aşınma direnci ve tokluk göstermesi önemlidir [25].

3.2.4. Magnezyum alaşımları

Magnezyum alaşımlarının SKK' nın kalitesi, devir sayısı ve ilerleme hızı ile ilgilidir. Genellikle bir sıvı faz oluşumuyla sonuçlanmaz. Alüminyum alaşımlarının SKK' da olduğu gibi Mg alaşımlarının SKK' da da üç mikro yapısal bölge bulunmaktadır. Bunlar karıştırma bölgesi (kaynak metali), ısı etkisi altındaki bölge ve termomekanik etkilenen bölgedir. Magnezyum alaşımlarının SKK' da karıştırma bölgesinde ince yeniden kristalleşmiş taneler meydana gelmektedir. Dökülmüş magnezyum alaşımlarında ise kaba α -Mg fazı ve β Al₁₂Mg₁₇ intermetalik bileşiği SKK dan sonra kaybolmaktadır.

Karıştırma bölgesinin sertliği genellikle bu bölgedeki ince tane yapısı yüzünden ana metalden daha serttir. Dövme magnezyum alaşımları AZ31B-H24 ve AZ61' de çekme değerlerinde azalma gözlenirken AZ91 gibi döküm magnezyum alaşımlarında çekme değerlerinde iyileşme vardır [25].

3.2.5. Farklı alaşım ve metaller

SKK farklı alaşım ve metallerin kaynaklanmasında kullanılan yeni bir kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir. Farklı alüminyum alaşımlarının ya da bakır alaşımlarının birbirleriyle veya alüminyum alaşımlarının diğer metallerle kaynaklanması konularında çalışmalar yapılmaktadır. Çok sert bir alüminyum alaşımının çok yumuşak bir alüminyum alaşımıyla karıştırılması durumunda kaynak verimliliğinin azaldığı gözlenmektedir.

Önceki çalışmalar göstermiştir ki; farklı metallerin (alüminyumun bakıra kaynağı gibi) SKK kusursuz bir kaynak ile sonuçlanmamaktadır. Fakat son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda alüminyumla çelik ve alüminyumla magnezyum gibi farklı metallerin SKK ile birleştirilmelerinde başarılı sonuçlar alınmıştır. Alüminyum - Çelik SKK birleştirmelerinde alüminyum ve demir arasında çelik parçalar ve intermetalikler bulunmuştur [25].

3.2.6. Plastikler

Plastikler birçok uygulamada kullanılmakta ve verimli bir şekilde birleştirilmeleri önemlidir. Plastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı basit birkaç adımda yapılmaktadır. Dönen bir takım sıkıca bağlanmış iki iş parçasının arasına dalmaktadır.

Pim ve iş parçası arasındaki sürtünme malzemenin ısısının yükselmesine sebep olur ve takım birleşme hattı boyunca hareket eder. Malzeme takım etrafında hareket ederken kaynak bölgesinde karışır. İşlem süresince birincil ısı üretimi takım ve iş parçası arasındaki sürtünme ile olur. Bununla beraber polimerler, artan sıcaklıkla kendiliğinden yağlanma eğilimindedir. Bu nedenle sık sık dış ısı ilavesi gerekir [33].

Kaynaklı parça soğurken tüm kaynak boyunca uniform soğuma hızının yükseltilmesi çok önemlidir. Eğer dışarıdaki malzeme içeridekine göre daha hızlı soğursa katı bir kabuk oluşur. İçerdeki tabakalar daha geç soğuduğu için malzeme büzülür ve kabuktan ayrılır [33].

3.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin alüminyum alaşımlarında uygulanabilirliği üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonuçları göstermektedir ki, bu yöntem gerek yaşlandırma sertleştirilmesi yapılan gerekse yaşlandırma sertleştirilmesi yapılamayan (1xxx ve 5xxx serileri gibi ısı işleme duyarlı olmayan) alüminyum alaşımlarında başarı ile kullanılabilir. Bu yöntem ile elde edilen birleştirmelerin yüzey kalitesi ark kaynağı ile elde edilen birleştirmelerden çok daha yüksektir. Bu yöntem ile elde edilen birleştirmelerin kaynak performansı, klasik kaynak yöntemleri ile yapılan kaynaklara nazaran daha iyidir. Ayrıca, sürtünme karıştırma kaynağında pimin ilerleme hızını artırarak bu mukavemet düşüşünün daha da azaltılması ve pimin çapının küçük seçilmesi ile mekanik özelliklerin etkilendiği bölgenin eninin küçültülmesi mümkündür. Buna ilaveten, bu yöntem ile kaynak edilen 5457 alaşımının korozyon performansının da oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir. Hatta geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağı çok güç olan 7075 alaşımı bile bu yöntem ile başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve elde edilen birleştirmeler oldukça iyi mekanik özellikler göstermiştir [36].

Bilindiği üzere alüminyum alaşımlarının oldukça hafif olmasına karşılık, mukavemet özelliklerinin oldukça yüksek olması nedeniyle günümüzde savunma sanayi, otomotiv, demiryolu vagonları imalatı, uçak sanayi ve makine imalat sanayisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu alaşımlarda karşılaşılan en önemli problem, alaşımların kaynaklı birleştirmelerinde karşılaşılan sorunlardır. Bu malzemelerin geleneksel kaynak yöntemleriyle kaynaklı birleştirilmeleri oldukça zor olmanın yanı sıra elde edilen mekanik özellikler istenilen değerlerden uzaktır. Sıvı hal kaynak yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının kaynağında yüksek miktarda çatlak ve gözenek (porozite) oluşumu söz konusudur. Alüminyum alaşımlarında meydana gelen çatlak oluşumunun nedeni, bu alaşımların katılma sıcaklık aralıklarının geniş olması ve ısı genleşme katsayılarının yüksek olmasıdır. Bir katı hal kaynağı olan sürtünme karıştırma kaynağında ise bu olumsuzluklar önemli ölçüde giderilebilmektedir [21].

Ulaşım sektöründe alüminyum ekstrüzyonlarının birleştirilmesinde vidalama, perçinleme, yapıştırma, bağlama ve kaynak gibi birçok birleştirme metodu kullanılmaktadır. Bunlardan kaynak metodu ürünün yüksek mukavemetli olması istendiği durumlarda kullanılır [8].

Sürtünme karıştırma kaynağının otomotiv endüstrisine getireceği bazı faydalar şunlardır.

- Kaynak bölgesinde nispeten yüksek mukavemet
- Minimum çarpılma ve kalıntı gerilmeler
- Kaynak dumanını olmayışı, dolayısıyla çevreci bir kaynak tekniği olması
- İlave tel ve koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaması
- Hassas kaynak ağzı hazırlığına gerek olmaması
- Otomasyona çok uygun oluşu
- Çeşitli metaller ve alüminyumların (Al-ekstrüzyon ve Al-döküm) birçok pozisyonda birleştirilebilmesi

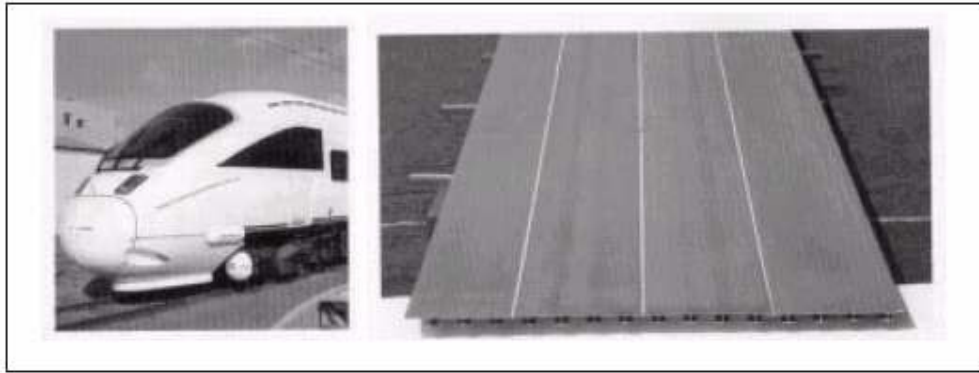
Halen, otomotiv endüstrisindeki yüksek üretim oranları, rekabetçi üretim ortamları ve düşük maliyet gereksinimleri geleneksel olan diğer birleştirme tekniklerinin uygulanmasına neden olmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı otomotiv parçalarında, alüminyum birleştirmelerde kayda değer bir potansiyel artışı sağlamakla beraber otomotiv sektöründe kullanılabilirliği sınırlıdır. Otomotiv endüstrisindeki yoğun üretim nedeniyle, bu yeni teknolojiyi uygulamaya geçirmek için bir hayli zamana ihtiyaç duyulması beklenmektedir. Kaynak teknolojisindeki gelişme hızlandığında artırılmış üretim için büyük potansiyel, özel parçaların büyük oranda üretiminin sağlanması sonucunda açığa çıkacaktır. Yüksek kalite ve yükseltilmiş kaynak mukavemeti, ağırlık azaltımını mümkün hale getirecektir. Özellikle, Mg alaşımlarının otomotiv sektöründe bu yeni kaynak teknolojisi sayesinde kullanımı ile ağırlıktan tasarruf daha da artırılabilir [8].

Otomotiv sektöründe alüminyum kullanımının hızla artması yakıt ve ağırlık tasarrufunda daha etkili araçların üretilmesine yol açmıştır. Süspansiyon kolları gibi küçük çaptaki parçalar bu yöntem ile Japonya'da üretilmektedir. Bunun yanı sıra Norveç'te tekerlek jantlarının bu yöntem kullanılarak yapımı da gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.13.) [20].



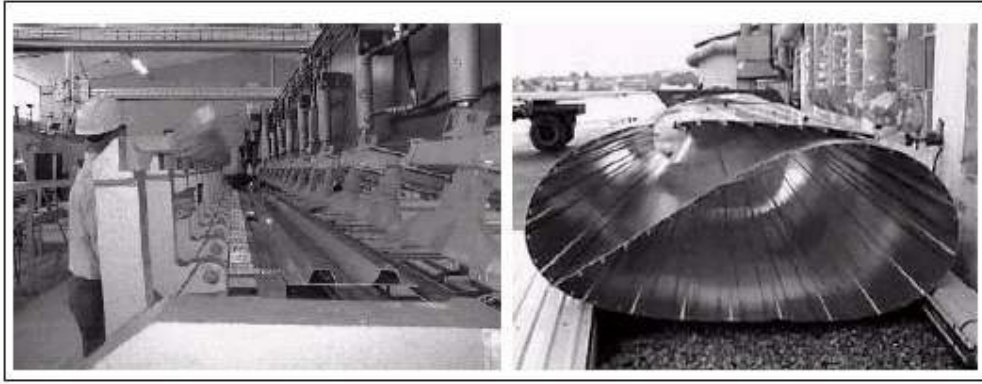
Şekil 3.13. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen alüminyum alaşımı prototip otomobil jantı [9].

Modern yolcu treni vagonlarının imalatında, alüminyum ekstrüzyonlardan üretilen petek paneller daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu panellerde, uzun alekstrüzyonlar aralarına sıklık artırıcı destekler yerleştirilerek birleştirilmektedir. Bu sayede, hem çarpışmalarda emniyet hem de bükme kuvvetlerine dayanım artırılmaktadır. Klasik ergitme kaynağı, özellikle yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında aşırı mukavemet kaybına sebep olduğu için, son yıllarda Almanya ve İngiltere'de meydana gelen hızlı tren kazalarında daha dayanıklı kaynaklara ihtiyaç duyulduğu gerçeği ortaya çıktı. Sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak bölgesinde daha düşük seviyelerde mukavemet kaybına neden olduğundan cazip bir alternatif oluşturduğu için son yıllarda Avrupa ve Japonya 'da hızlı tren vagonlarının üretiminde bu kaynak teknolojisi ile imal edilen alüminyum alaşımı petek paneller kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 3.14.) [8].



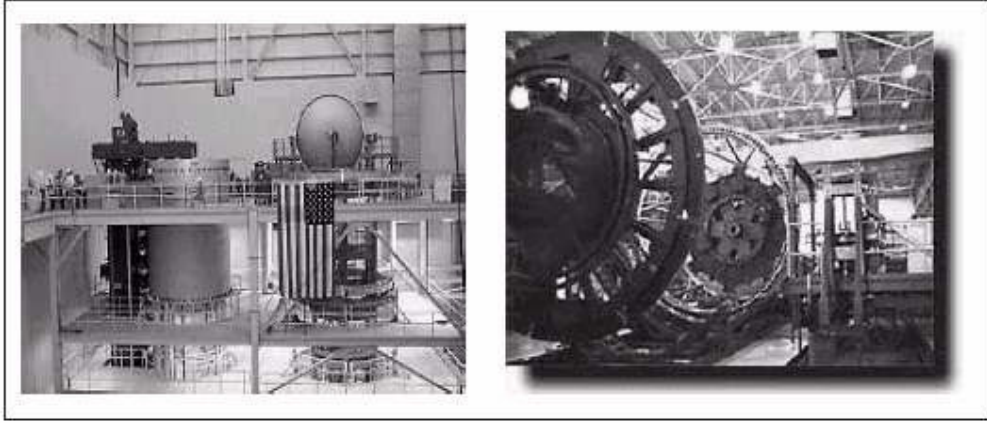
Şekil 3.14. Japonya 'da sürtünme karıştırma kaynağının kullanıldığı hızlı tren ve bu yöntem ile kaynağı yapılan Al-paneller [10].

Yüksek hızlı trenler, tren yolunun mevcut yokuşlu yerleri, pis altyapı, tramvaylar, demiryolu tankerleri ve vagonlar, taşımalık grupları[21], yüksek hız feribotlarında kullanılan standart boydaki alüminyum ekstrüzyon panelleri sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmektedir. Ergitme kaynaklarına kıyasla ısı girdisinin düşük olması panellerdeki çarpılmanın ve kalıntı gerilmelerin minimum düzeyde olmasını sağlamaktadır. Norveç' te bulunan Hydro Marine Aluminum firmasında son üç yılda 70 kilometre uzunluğunda alüminyum ekstrüzyon paneli sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiştir (Şekil 3.15.) [9].



Şekil 3.15. Yüksek hız feribotlarında kullanılan alüminyum ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi [10].

1993 yılında NASA, Lockheed Martin Laboratuvarlarından, Space Shuttle External Tank projesinde (uzay mekiklerinin yakıt tanklarında) AA 2219 alüminyum alaşımı yerine kullanılmak üzere daha yüksek mukavemetli, düşük yoğunluk ve hafiflikte bir malzeme geliştirilmesi için talepte bulunmuştur. Bunun üzerine Al-Li 2195 olarak bilinen çok daha hafif yeni bir alüminyum alaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu alaşım sayesinde External Tank projesinin (yakıt tankı) ağırlığı yaklaşık 3500 kg azaltılmıştır. Yeni düşük ağırlıklı Al-Li 2195 alaşımının ergitme kaynağı çok zor olmakta ve kaynak bölgesinin mukavemeti göz ardı edilemeyecek kadar düşmektedir. Dolayısıyla, bu uygulama için mukavemet düşüşünün daha düşük seviyede olduğu bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı ideal bir birleştirme yöntemidir. Günümüzde, Al-Li 2195 alaşımından üretilen uzay mekiklerinin yakıt Tanklarının son kubbe kısımlarının kaynağında bu yöntem başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Şekil 3.16) [10].



Şekil 3.16. Space shuttle external tank projesi ve Marshall Space Flight Center laboratuvarlarındaki sürtünme karıştırma kaynak sistemlerinden görüntüler [10].

Buzdolabı panelleri, pişirme ekipmanları ve mutfaklar, beyaz eşyalar, gaz tankları ve gaz merdivenleri, motor ve şasi kızakları, hidrofora olan tüplerin bağlanan parçaları, kamyon gövdesi, mobil vinçler, zırhlı taşıtlar, yakıt tankları, karavanlar, otobüs ve hava taşımacılığı taşıtları, motosiklet ve bisiklet yapıları, asansörler, alüminyum arabaların tamiri, magnezyum ve magnezyum/alüminyum eklemleri [20].

3.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Mevcut uygulamaları oldukça yaygınlaşan bu yöntemin çeşitli avantajları vardır. Bu avantajlar aşağıda sıralanmaktadır;

1. Ergitme kaynağı zor olan 2XXX ve 7XXX serisi Al-alaşımları ve Al-Li alaşımları kaynak edilebilir.
2. Kaynak esnasındaki toplam ısı girdisi düşüktür, dolayısıyla mekanik özelliklerdeki kayıp minimumdur.
3. Özellikle ince levhalarda büzülme, çarpılma ve kalıntı gerilmeler çok düşüktür.
4. Kaynak öncesi yüzey hazırlama aşırı kritik değildir, yüzeyde ince oksit filmleri göz ardı edilebilir.
5. Katı hal kaynağı olduğu için çatlak ve porozite oluşumu gibi ergitme kaynaklarında karşılaşılan problemler söz konusu değildir.

6. Kaynak sonrası kaynak yüzeyi talaş alınmış gibi düzgündür ve yüzey işleme gerektirmez.
7. Alın ve bindirme kaynağı yapılabilir.
8. Aynı karıştırıcı uç ile tipik olarak 1000 m kaynak yapılabilir.
9. Yöntemin doğası gereği ark, kıvılcım, gaz ve toz söz konusu olmadığından çok temiz ve çevreci bir kaynak yöntemidir.
10. Enerji verimliliği yüksek bir kaynak yöntemidir.
11. Otomasyona ve robotik uygulamaya çok uygundur [10].
12. Kaynak bölgesinde mukavemet nispeten yüksektir (yüksek kaynak performansı).
13. İlave tel ve koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaz.
14. Hassas kaynak ağız hazırlığına gerek yoktur.
15. Çeşitli metaller ve alüminyumların (Al-ekstrüzyon ve Al-döküm) birçok pozisyonda birleştirilebilmesi mümkündür [8].
16. Yatırım maliyeti lazer ve elektron kaynağı cihazlarından düşüktür [7].
17. Kaynaktan hemen sonra oksit tabakasının kaldırılmasına gerek yoktur.

Yöntemin dezavantajları ise;

1. Kaynaklanacak parçaların çok sıkı bağlanmaları şarttır.
2. Tek parçalı karıştırıcı uç kullanıldığında kaynak sonunda delik kalır.
3. Özellikle kalın levhaların kaynağı için çok güçlü tezgâhlara ihtiyaç vardır [10].
4. Kaynaklama hızı malzeme cinsi ve levha kalınlığına bağlı olarak 50-1000 mm/dk arasındadır. (Bu değerler, perçinleme gibi mukavemetsiz birleştirme yöntemlerine göre oldukça düşük, benzer mukavemetli ark kaynağı ile eş değerdir) Pim dizaynındaki hızlı gelişmeler ile kaynak hızının daha da artırılması beklenmektedir [8].
5. Her kaynak sonunda takımın piminin girdiği delik kapatılmalıdır[28].

3.5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Çizelge 3.1.' de kimyasal bileşimi verilen ingot döküm halindeki alüminyum alaşımları kaynak edilerek; kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan alüminyum alaşımı malzemeye, sürtünme karıştırma kaynağı uygulanarak farklı devirler ve ilerleme hızlarında bindirme kaynakları yapılmıştır. Elde edilen kaynaklı birleştirmelerde, kaynak kalitesini belirlemek amacıyla mikrosertlik ölçümleri ve çekme deneyleri yapılmış ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3.5.1. Deney malzemeleri

Bu deneyde kullanılacak karıştırıcı uç ve kaynak malzemesi kaynak öncesi işlemlerle aşağıda tanıtılmıştır.

3.5.1.1. Kaynak yapılacak malzeme

Bu çalışmada, alüminyum ingot dökümden aşağıda kimyasal bileşimi verilen alüminyum alaşımı deney numunesinden 3 mm kalınlığında plakalar kesilerek kaynak malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal analizi KOSGEB laboratuvarında SPECTROLAB marka M5 model analiz cihazında yapılmış ve Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi

Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	Cu	Al
0,556	1,03	0,104	0,593	0,140	0,0329	0,249	97,12

3.5.1.2. Karıştırıcı uç ve geometrisi

Çizelge 3.2.' de kimyasal analizi verilen SAE 8620 sementasyon çeliği karıştırıcı uç malzemesi olarak seçilmiş ve tornada Şekil 3.17.'de gösterilen ölçülerde işlenmiştir. Isıl işlem uygulanmış ve sertliği 56 HRC'dir.

Çizelge 3.2. Karıştırıcı ucun kimyasal bileşimi

MALZEME	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni
SAE 8620	0,2	0,3	0,8	0,03	0,03	0,5	0,2	0,55

Şekil 3.17 Karıştırıcı ucun geometrisi.

3.5.2. Deneyde kullanılan tezgah

Kaynak işlemi, maksimum devir sayısı 1400 dev/dk olan yarı otomatik freze tezgahında yapılmıştır (Şekil 3.18.). Kaynak yapılacak malzemeler frezenin tablası üzerine bağlama pabuçlarıyla sabitlenerek kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak yönü, parçanın uzun kenarı kaynak ilerleme yönü doğrultusunda olacak şekilde seçilmiştir.

Şekil 3.18. Kaynak işleminin gerçekleştirildiği freze tezgahı

Sürtünme karıştırma kaynak işleminde alüminyum alaşımı malzemeye kaynak işlemi öncesinde herhangi bir yüzey işleme, ısıl işlem ve oksit giderme işlemleri yapılmamış, kaynak ağzı açılmamıştır. Kaynağa tabi tutulacak parçalar, uzun kenarları üst üste (bindirme) gelecek şekilde freze tezgahı tablasına bağlama pabuçları yardımıyla bağlanmıştır. Karıştırıcı uç frezenin düşey miline monte edilerek Çizelge 3.3.' te verilen kaynak parametreleri kullanılarak levhalar tek yönlü kaynak edilmiştir.

Çizelge 3.3. Kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri

Devir sayısı, n (dev/dk)	İlerleme Hızı, V (mm/dk)
1100	180
1100	125
1100	90
1100	63
1400	180
1400	125
1400	90

Karıştırıcı ucun omuz kısmı kaynak edilecek parçalar ile temas edinceye kadar düşey yönde ilerleme sağlanmıştır. Karıştırıcı ucun yatay yöndeki ilerleme hareketine başlamasından önce her bir kaynak işleminde yeterli ısı girdisinin sağlanması için karıştırıcı ucun omuz kısmı ile parçalar arasında 50-60 saniye sürtünme uygulanmıştır. Daha sonra karıştırıcı uca Çizelge 3.3.' teki parametrelere uygun olarak devir sayısı ve ilerleme hızı uygulanmıştır. Kaynak edilecek levha ile temasa geçen karıştırıcı ucun omuz kısmının yüzeyden bir miktar içeriye dalması sebebiyle karıştırıcının dişli ucunun freze tablasına temas etmemesi için 6,00 mm. kalınlığındaki deney numunelerinde 5,80 mm uzunluğunda karıştırıcı dişli ucu kullanılmıştır.

3.5.3. Mekanik testler ve metalografik muayene için numunelerin hazırlanması

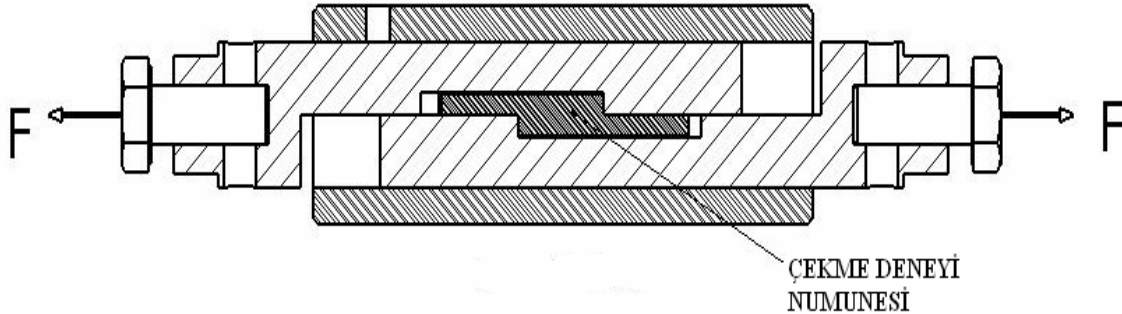
Yapılacak deney planına göre deney numuneleri freze tezgahı kullanılarak, kenarlar standartlara (ANSI/AWS D9.1-90) göre üst üste binecek kısmın uzunluğu; parça kalınlığının 4 katı olması gerektiğinden 12 mm alınmış ve hazırlanmıştır.

3.5.4. Mikrosertlik Ölçümleri

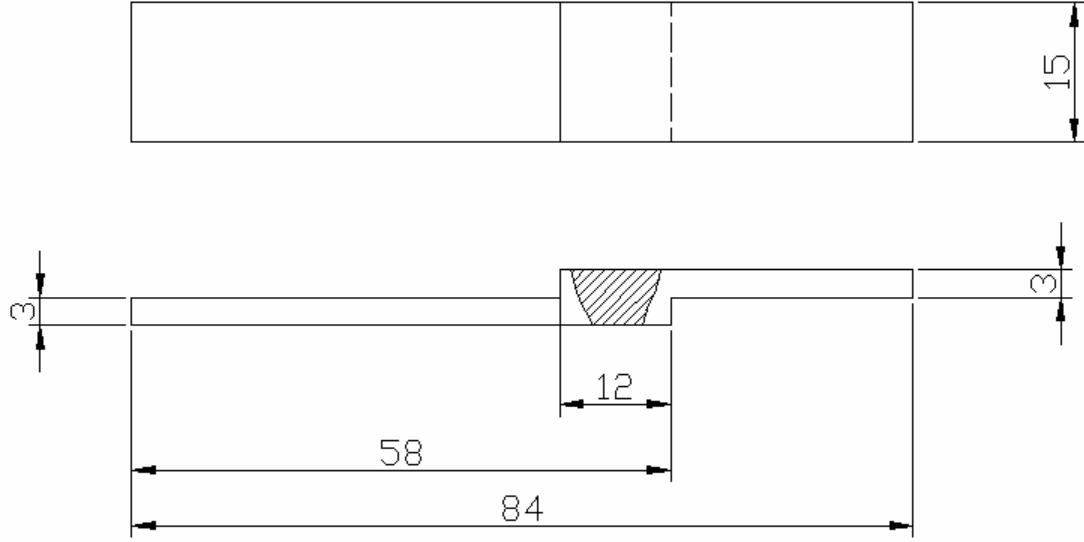
Sertlik ölçümleri için 6,00 mm kalınlığındaki kaynaklı parçanın yüzeyleri önce 400-600 mikro su zımparası ile zımparalanmış ve daha sonrada parlatılmıştır. Kaynaklı parçaların sertlik ölçümleri için Mersin Üniversitesi MMF Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarındaki DHV-1000 model mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri için 2,942 N yük ve 15 sn bekleme süresi uygulanmıştır. Sertlik ölçüm işleminde kaynak ilerleme yönüne dik doğrultularda sertik ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler, merkezde bir adet olmak üzere birer mm aralıklarla ölçülmüştür. .

3.5.5. Çekme deneyleri

Bölümümüz atelyesinde mevcut ALAŞ marka 60 ton kapasiteli çekme deney cihazı kullanılmıştır. Çekme deneyinde Şekil 3.19.' de verilen aparat kullanılmıştır. Çekme deneyi için Şekil 3.20.' de gösterilen ölçülerde numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.19. Çekme deneyi için bağlama aparatı



Şekil 3.20. Kaynaklı malzemedan çıkartılan çekme deney numunesi şekli ve ölçüleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

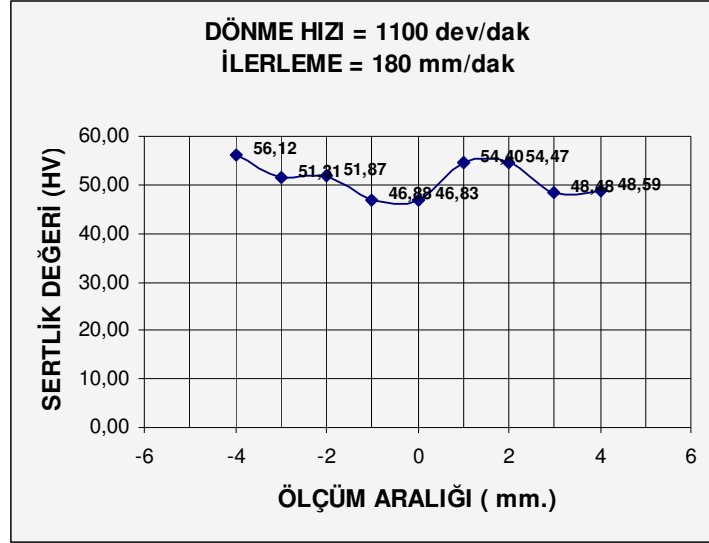
Bu çalışmada sertlik ölçümleri ve çekme test sonuçlarında elde edilen değerler aşağıdaki gibidir;

4.1. SERTLİK İNCELEME SONUÇLARI

Bu çalışmada ana malzemenin sertliği 70 HV ölçülmüştür. Kaynak bölgesindeki sertlikler ise, ölçüm aralığı, İlerleme hızı ve dönme hızına bağlı değerler Çizelge 4.1., 4-2. – 4.7.' de verilmiştir. Bularla ilgili grafikler ise de Şekil 4.1.,4.2. – 4.7.' de verilmiştir. Sabit dönme hızı ve değişen ilerleme hızlarına bağlı olarak sertliğin ölçüm aralığına göre değişim grafikleri Şekil 4.8. – 4.10.' da verilmiştir.

Çizelge 4.1. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 180 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri

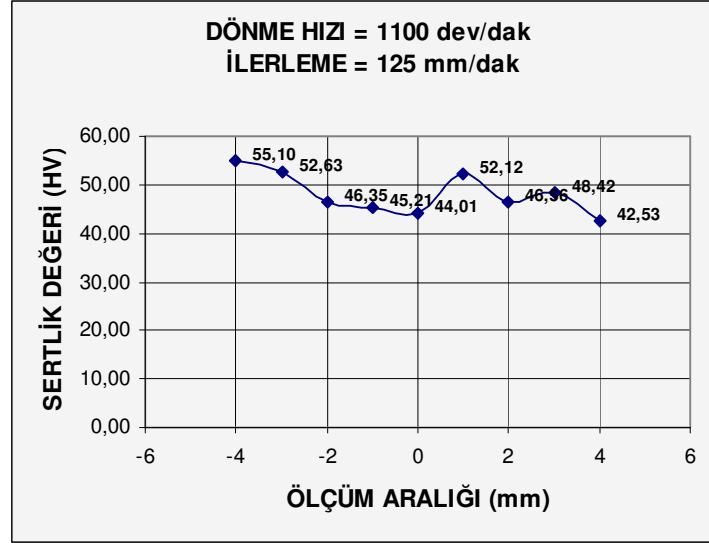
KAYNAK MERKEZİNDEN MESAFE (mm)	SERTLİK DEĞERLERİ (HV)
-4	56,12
-3	51,31
-2	51,87
-1	46,88
0	46,83
1	54,40
2	54,47
3	48,48
4	48,59



Şekil 4.1. n: 1100 dev/ dak ve V:180 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı

Çizelge 4.2. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 125 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri

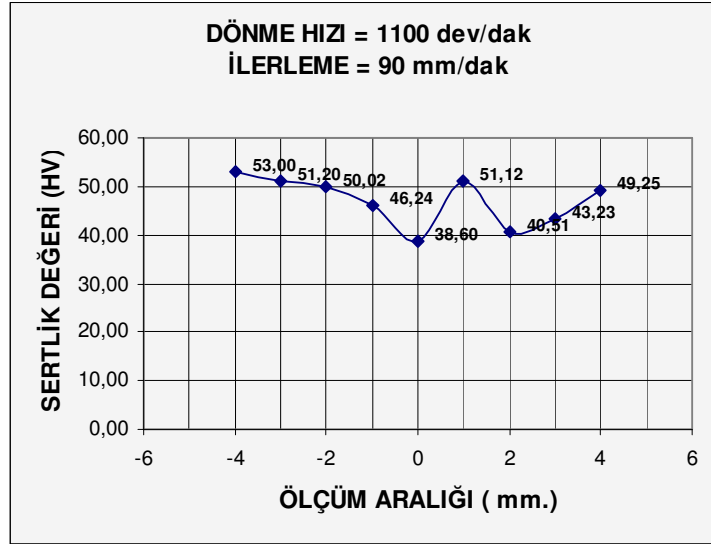
KAYNAK MERKEZİNDEN MESAFE (mm)	SERTLİK DEĞERLERİ (HV)
-4	55,10
-3	52,63
-2	46,35
-1	45,21
0	44,01
1	52,12
2	46,56
3	48,42
4	42,53



Şekil 4.2. n: 1100 dev/ dak ve V:125 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı

Çizelge 4.3. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 90 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri

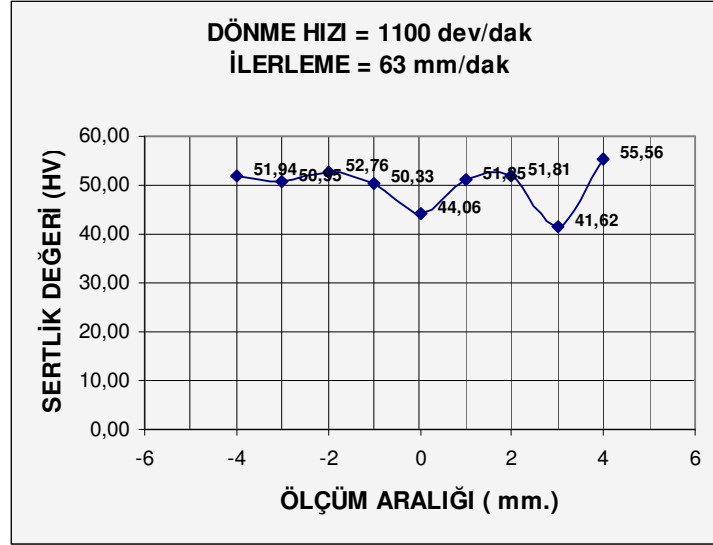
KAYNAK MERKEZİNDEN MESAFE (mm)	SERTLİK DEĞERLERİ (HV)
-4	53,00
-3	51,20
-2	50,02
-1	46,24
0	38,60
1	51,12
2	40,51
3	43,23
4	49,25



Şekil 4.3. n: 1100 dev/ dak ve V:90 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı

Çizelge 4.4. n: 1100 dev/dk devir sayısı, V: 63 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri

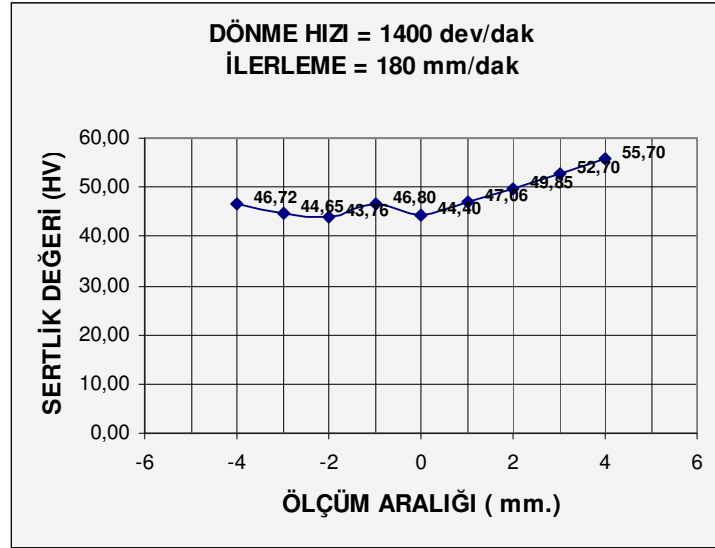
KAYNAK MERKEZİNDEN MESAFE (mm)	SERTLİK DEĞERLERİ (HV)
-4	51,94
-3	50,95
-2	52,76
-1	50,33
0	44,06
1	51,25
2	51,81
3	41,62
4	55,56



Şekil 4.4. n: 1100 dev/ dak ve V:63 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı

Çizelge 4.5. n: 1400 dev/dk devir sayısı, V: 180 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri

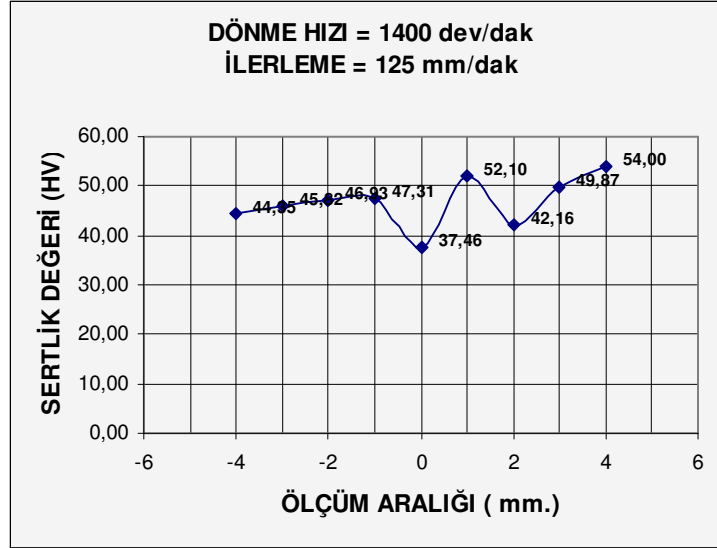
KAYNAK MERKEZİNDEN MESAFE (mm)	SERTLİK DEĞERLERİ (HV)
-4	46,72
-3	44,65
-2	43,76
-1	46,80
0	44,40
1	47,06
2	49,85
3	52,70
4	55,70



Şekil 4.5. n: 1400 dev/ dak ve V:180 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı

Çizelge 4.6. n: 1400 dev/dk devir sayısı, V: 125 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri

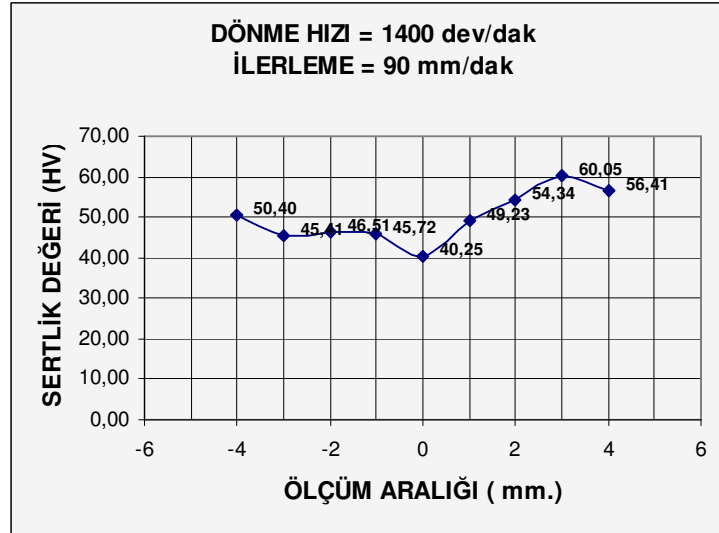
KAYNAK MERKEZİNDEN MESAFE (mm)	SERTLİK DEĞERLERİ (HV)
-4	44,35
-3	45,82
-2	46,93
-1	47,31
0	37,46
1	52,10
2	42,16
3	49,87
4	54,00



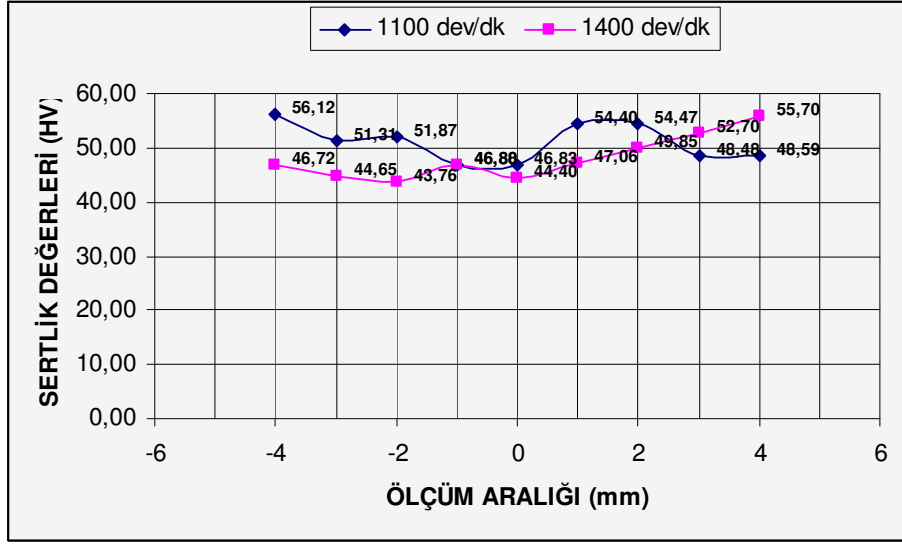
Şekil 4.6. n: 1400 dev/ dak ve V:125 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı

Çizelge 4.7. n: 1400 dev/dk devir sayısı, V: 90 mm/dk ilerleme hızında kaynak edilen numunenin kaynak kesitinde ölçülen sertlik değerleri

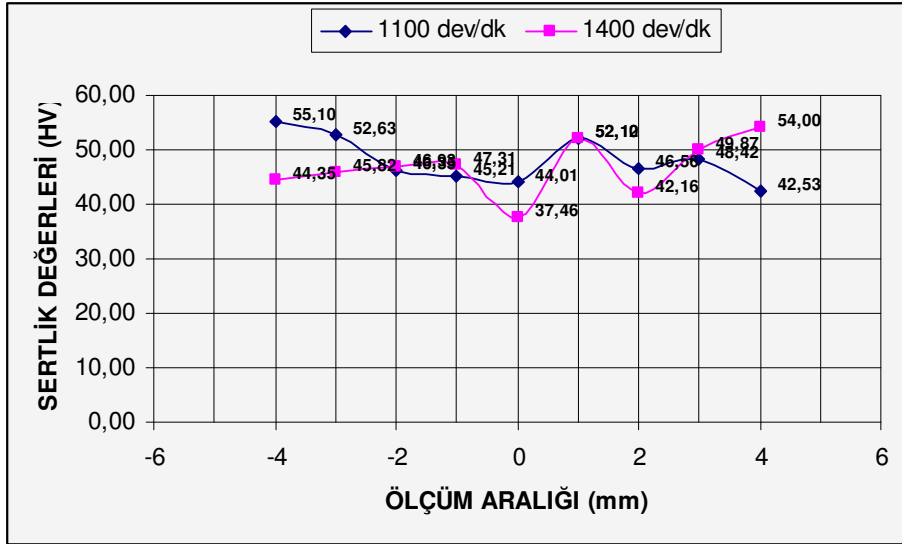
KAYNAK MERKEZİNDEN MESAFE (mm)	SERTLİK DEĞERLERİ (HV)
-4	50,40
-3	45,41
-2	46,51
-1	45,72
0	40,25
1	49,23
2	54,34
3	60,05
4	56,41



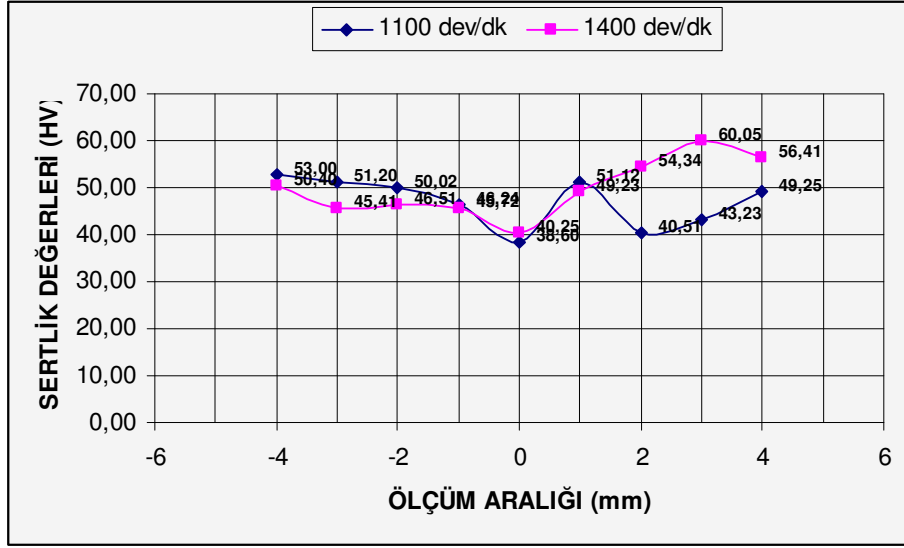
Şekil 4.7. n: 1400 dev/ dak ve V:90 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı



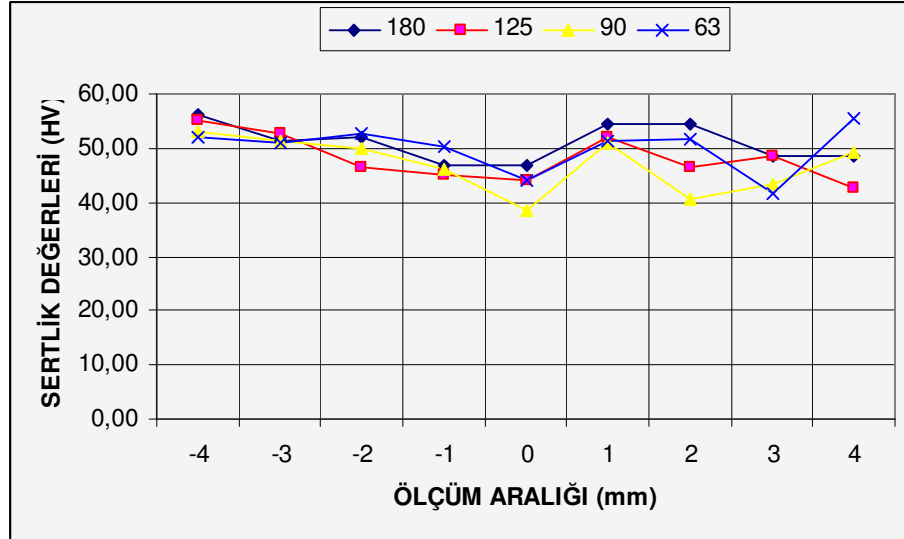
Şekil 4.8. n: 1400 dev/ dak 1100 dev/dk ve V:180 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı



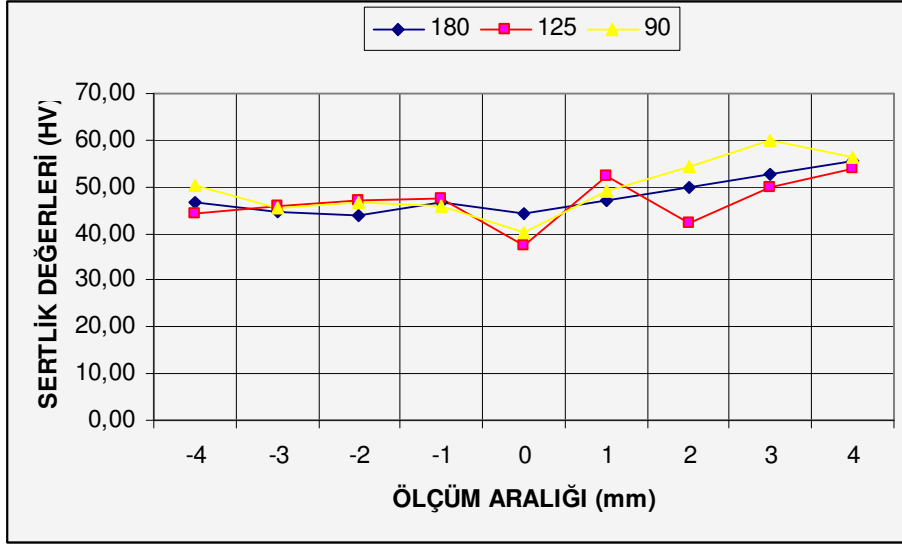
Şekil 4.9. n: 1400 dev/ dak 1100 dev/dk ve V:125 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı



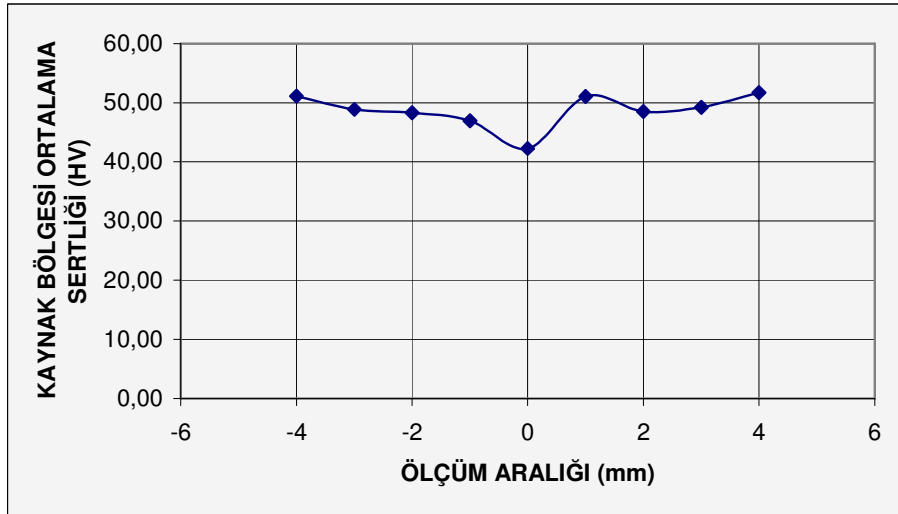
Şekil 4.10. n: 1400 dev/ dak 1100 dev/dk ve V:90 mm/dak kaynak parametresinde kaynaklanan numunenin sertlik dağılımı



Şekil 4.11. n: 1100 dev/ dak ilerleme hızındaki artışla sertlik değişimi



Şekil 4.12. n: 1400 dev/ dak ilerleme hızındaki artışla sertlik değişimi



Şekil 4.13. Kaynak bölgesi ortalama sertliği ve ölçüm aralığı arasındaki değişim

4.2 ÇEKME DENEYİ İNCELEME SONUÇLARI

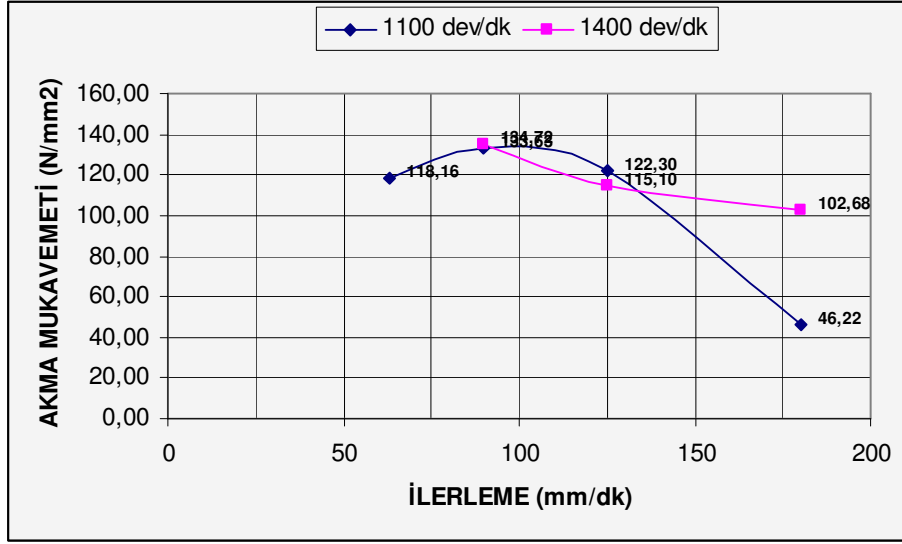
Deneyde kullanılan alüminyum alaşımının belli bir standardı literatürlerde rastlanılmamıştır. Bundan dolayı literatürde [23] alüminyum için verilen aşağıdaki denklemden faydalanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{kesme}} = 0,189 \text{ HV} - 1,38 \text{ Ton / in}^2$$
$$\%0,2 \sigma_{\text{akma}} = 0,148 \text{ HV} - 1,59 \text{ Ton / in}^2$$

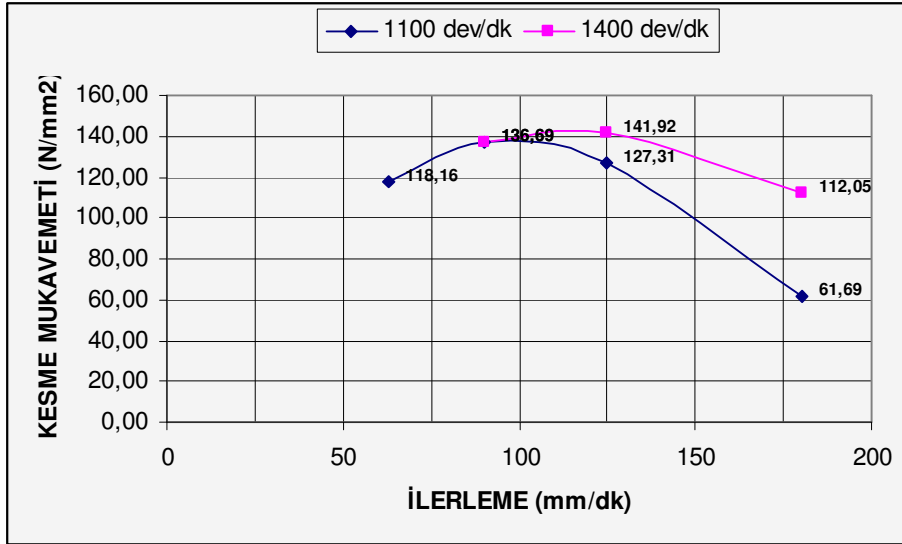
Ana malzemenin kesme mukavemeti ve akma sınırı hesaplamalara göre $\sigma_{\text{kesme}} = 18,35 \text{ kg/mm}^2$ ve $\sigma_{\text{akma}} = 13,58 \text{ kg/mm}^2$ bulunmuştur. Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile bindirme kaynağı yapılan parçaların kaynak edilebilme kabiliyetini belirlemek amacıyla her bir numuneden alınan çekme numuneleri çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Çekme deney sonuçları Çizelge 4.8.' de verilmiştir. Devir sayısı sabit tutularak ilerleme hızının değişmesiyle elde edilen kaynaklı numunelerin kesme mukavemeti ve akma mukavemeti değerleri Şekil 4.14. – 4.15. 'te verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları

Devir sayısı, n (dev/dk)	İlerleme Hızı, V (mm/dk)	V / n	Çekme Kuvveti (kgf)	Akma Kuvveti (kgf)	Kesit Alanı (mm ²)	Kesme Mukavemeti (N/ mm ²)	Akma Mukavemeti (N/ mm ²)
1100	180	0,16	283	212	45	61,69	46,22
1100	125	0,11	584	561	45	127,31	122,30
1100	90	0,08	627	613	45	136,69	133,63
1100	63	0,06	542	542	45	118,16	118,16
1400	180	0,13	514	471	45	112,05	102,68
1400	125	0,09	651	528	45	141,92	115,10
1400	90	0,06	627	618	45	136,69	134,72



Şekil 4.14. n: 1400 dev/dk 1100 dev/dk devir sayılarında ilerleme hızı ile akma mukavemetinin değişimi



Şekil 4.15. n: 1400 dev/dk 1100 dev/dk devir sayılarında ilerleme hızı ile kesme mukavemetinin değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Yapılan sürtünme karıştırma kaynaklarında değişen dönme hızı ve ilerleme hızı parametrelerine bakıldığında Şekil 4.1. – 4.7.’ de görüldüğü gibi kaynak merkezinde en düşük sertlik değerleri kaynak merkezinden uzaklaştıkça ise sertlik değerlerinde belirli bir artma ve daha sonra ana metalin sertliğine ulaşmakta olduğu gözlemlenmiştir.
2. Ortalama sertlik değerleri alındığında ölçüm aralığına bağlı olarak değişim grafiği (Şekil 4.13.) incelendiğinde de yukarıda belirtildiği gibi kaynak merkezinin sertliğinde bir azalma ana metale doğru alınan ölçümlere bakıldığında ise sertlikte artış olduğu görülmüştür.
3. Çekme deneylerinin sonuçlarından görüldüğü gibi hem 1100 dev/dk.’ da hem de 1400 dev/dk.’ da ilerlemeye bağlı olarak hem akma mukavemetinde hem de kesme mukavemetinde 90 mm/dk ilerleme hızına kadar bir artış ilerleme hızı arttıkçada bir azalma olduğu gözlenmiştir.
4. 1100 dev/dk ve 1400 dev/dk dönme hızlarında çekme mukavemetleri birlikte incelendiğinde (Şekil 4.15.) İki farklı devir hızlarında en iyi mukavemet değeri 90 mm/dk ilerleme hızında elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise 1400 dev/dk’ daki kesme mukavemeti 1100 dev/dk’ dakine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu da 1400 dev/dk’ da yapılan kaynak işleminde kaynak bölgesindeki tane yapısının 1100 dev/dk’da yapılan kaynak işlemine göre daha ince taneli olduğunu göstermektedir.
5. Yukarıdaki madde de belirtildiği gibi her iki devir hızlarında akma mukavemetine bakıldığında (Şekil 4.14), aynı şekilde en iyi mukavemet değeri 90 mm/dk’ da elde edilmiş olup 1400 dev/dk’ da yapılan kaynak işleminde mukavemet daha iyi olduğu görülmüştür.
6. Bu deney sonuçlarına göre 1400 dev/dk dönme hızı ve 90 mm/dk ilerleme hızında yapılan sürtünme karıştırma kaynağının uygun bir kaynak olduğu kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Akata, E., Şahin, M. Ve İpekçi, M., TMMOB Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 18–26, (2003).
- [2] Anık, S. ve Vural, M., İTÜ Makine Fakültesi, (1993b).
- [3] Anık, S., “Makine mühendisliği el kitabı üretim ve tasarım”, Kaynak Teknolojisi, A. Cerit (Der.), TMMOB Makine Mühendisleri Odası, (1996).
- [4] Askeland, D.R., “Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri”, (Çev. M. Erdoğan), Nobel Yayın Dağıtım, (1998).
- [5] Bradley, G.R and Jones M.N., “Geometry and Microstructure of metal inert gas and friction stir welded Aluminium alloy”, 5383-H321, 86p, (2000).
- [6] Çam, G., “Al-alaşımaları için geliştirilen yeni kaynak yöntemleri”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 3–13, (2001).
- [7] Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağı ve uygulamaları”, PAÜ Mühendislik Fakültesi 9. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 450–458, (2002).
- [8] Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağı ve uygulama alanları”, 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 3, 113–124, (2003a).
- [9] Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağı gelişmeler”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve sergisi Bildiriler Kitabı, 4-21, (2003b).
- [10] Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): Al-alaşımaları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi”, TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi, 46, 541, 30–39, (2005).
- [11] Ericsson, M. and Sandström, R., ” Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds and comparision with MIG and TIG”, International Journal of Fatigue 25, 137–138, (2003).
- [12] Gürleyik, Y., “Alüminyum ve Alaşımaları-I”, TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi,401, 27–34, (1993).
- [13] Kaluç, E. ve Taban, E., (2006). Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının TIG kaynağı, Makine Tek, 102.
- [14] Kaluç, E., “Plazma ile kaynak ve kesme”, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 185s, (1993).

- [15] Karadeniz, S., “Plazma tekniği”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 123s, (1990).
- [16] Krishnan, K.N., “On the formation of onion rings in friction stir welds”, Material Science and Engineering, 246–251, (2002).
- [17] Kurşun, T., “Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağı”, Metal Makine Dergisi, 158, (2006).
- [18] Kurt, A., “Kati hal birleştirmeler için difüzyon kaynağı”, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 42–54, (1997).
- [19] Kurt A., Özdemir M., Boz M., “Alüminyum Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi”, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Sayfa 89–99, (2003).
- [20] Külekçi, M.K. ve Şık, A., “Sürtünme karıştırma kaynağı ile Alüminyum alaşımı levhaların birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri”, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 70–75, (2003a).
- [21] Külekçi, M.K. ve Şık, A., “Sürtünme karıştırma kaynağı ile Alüminyum alaşımı levhaların birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 34–44, (2003a).
- [22] Mathers, G., “The welding of aluminium and its alloys”, Woodhead Publishing, Limited, (2002).
- [23] Metals Handbook ,Vol:6 Welding and Brazzing, (1971).
- [24] Mert, S. ve Kaluç, E., “Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki Gelişmeler”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 103–115, (2003).
- [25] Mishra, R.S. and Ma, Z.Y., “Friction stir welding”, Materials Science and Engineering, 78p, (2005).”
- [26] Oerlikon “Alüminyum ve alaşımlarının kaynağı”, Oerlikon, (2006).
- [27] Oğuz, B. “Demir dışı metallerin kaynağı”, Oerlikon yayını, (1990).
- [28] Özsoy, M. ve Kaluç, E., Sürtünen eleman ile birleştirme kaynağının esasları”, Mühendis ve Makine Dergisi, 13, (2002).”
- [29] Senyen, C., “Alüminyum alaşımlarının kaynağında dikkat edilecek hususlar”, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV: Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 42–54, (2001).

- [30] Seidel, T.U and Reynolds, A.P., “Visualization of The Material Flow in AA2195 Friction-Stir Welds Using a Marker Insert Technique”, Metallurgical and Material Transactions A, cilt 32A, sayfa 2879-2884, (2001).
- [31] Smith, W.F., “Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri demir dışı alaşımlar”, (Çev. M. Erdoğan), Nobel Yayın Dağıtım, 2 ,602s, (2001).
- [32] Smith, W.F., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği”, (Çev. N.G. Kınıkoğlu), Literatür Yayınları, 499-500s. (Çev. M. Erdoğan), Nobel Yayın Dağıtım, 2 ,602s, (2001).
- [33] Strand, S., “Joining plastics- can friction stir welding compete”, Electrical sulation Conference and Electirical Manufacturing&Coil Winding Technology Conferance, 321-326s, (2003).
- [34] Şık, A. ve Kayabaş, Ö., “ Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan alüminyumun kaynağında kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 12, 30–43, (2003).
- [35] Thomas, W.M., Johnson, K.I and Wiesner, C.S., “Friction stir weldingrecent developments in tool and process Technologies”, Advanced Engineering materials, 5, 7, 485-490, (2003).
- [36] Thomas, W.M and Nicholas, E.D., “Friction stir welding for the transportation Industries”, Materials&Design, 18, 269–273, (1997).
- [37] Ünal, A. ve Altan, E., “Alüminyumun soğuk basınç kaynağında işlem parametrelerinin kaynak dayancına etkileri”, DTÜ Makine Fakültesi Malzeme ve İmal Usulleri Birimi II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 337–343, (1989).
- [38] Welding Handbook, “Section Two Welding Process: Gas, Arc and Resistance”, (1970).
- [39] Welding Handbook, “Section Four Metals and Their Weldability”, (1972).
- [40] Welding Handbook, “Materials and Applications Part II”, American Welding Society, (1996),
- [41] Zeytin, H.K., “Otomotiv endüstrisinde alüminyum kullanımı”, 10. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, 77–84, (2000a).
- [42] Zeytin, H.K., “Alüminyum alaşımları otomotiv endüstrisinde uygulamaları ve Geleceği”, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 91, (2000b).

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Tarsus'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Tarsus'da tamamladı. 2004 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2004–2005 yılları arasında yedek subay olarak askerlik görevini tamamladı. 2005 yılında Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen özel bir şirkette “Makine Mühendisi” olarak görev yapmaktadır. Yabancı dili İngilizcedir.