

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALAŞIMLI ALÜMİNYUM BORULARIN MIG
KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAĞINA KAYNAK
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Ali Ufuk NOYAN**

Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MALZEME

MAYIS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALAŞIMLI ALÜMİNYUM BORULARIN MIG
KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAĞINA KAYNAK
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Ali Ufuk NOYAN
(506991107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Eyüp Sabri KAYALI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, ekstrüzyonla üretilmiş alaşımlı alüminyum boruların alın kaynağında, MIG gaz altı ark kaynak parametrelerinin kaynağın özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Çalışmamda bana hiçbir yardımını esirgemeyen hocam, Prof. Dr. E. Sabri KAYALI ‘ya en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bana her konuda desteğinden dolayı, Araş. Gör. Yük. Müh. Murat BAYDOĞAN ‘a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca her türlü konuda bana yardımcı olan USKON A.Ş. Genel Müd. Süleyman MAZLUM Bey’e, Fabrika Müd. Metin ERDİZ Bey’e, teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım süresince yardımını ve desteğini eksik etmeyen Kaynak Kor. Ersin BICIDI ‘ya ve kaynakçı Mehmet ARSLAN’a en içten şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans yapmamda bana her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, babam İhsan NOYAN’a, her zaman yanımda olan ve sahip olduğum en büyük desteğim olan annem Hafize NOYAN’a, ve kız kardeşim Alev NOYAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2003

Ali Ufuk NOYAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VII
TABLO LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
SEMBOL LİSTESİ	XI
ÖZET	XII
SUMMARY	XIII
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUMUN BAŞLICA ÖZELLİKLERİ	2
2.1. Alüminyumun Dayanımı	3
2.1.1. Fiziksel Özellikler	3
2.2. Korozyon Direnci	4
2.2.1. PH Değerinin Etkisi	4
2.2.1. Alaşım Elementlerinin Etkisi	5
2.3. Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirmesi ve Bağlantı Teknikleri	5
2.4. Geri dönüşüm	6
3. HADDELENMİŞ VE EKSTRÜZYONLA ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	7
3.1. Alüminyum Alaşımların Kısa Gösterilişi	8
3.2. Isıl İşlem Durumlarının Kısa Gösterilişi	9
3.3. Isıl İşlem Uygulanmayan Alaşımlar	10
3.3.1. Pekleşme	10
3.3.2. Tavlama ve Toparlanma ile Yumuşama	10
3.4. Isıl İşlem Uygulanabilen Alaşımlar	12
3.4.1. Çökeltme Sertleşmesi	12
3.4.1.1. Çözeltiye Alma Isıl İşlemi	13
3.4.1.2. Su Verme	14
3.4.1.3. Yapay Yaşlandırma veya Doğal Yaşlandırma	14

3.4.2. 6000 Serisi için Pres Su Verme	15
3.5. Alaşımlar ve Yarı Mamuller İçin Seçme Kriterleri	16
3.5.1 Yarı Mamullerin Bulunabilirliği	16
3.5.2. Alaşımların Özellikleri	16
3.5.3. Mekanik Özellikler	17
3.5.3.1. Düşük Sıcaklıklarda	17
3.5.3.2. 100 °C'nin Üzerindeki Sıcaklıklarda	17
3.5.4. 6000 Serisi Alaşımlar İçin Seçme Kriterleri	18
3.6. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği	18
3.6.1. Kaynak Bölgeleri	20
4. GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ	23
4.1. Tungsten Inert Gaz Kaynağı	24
4.1.1. TIG Kaynağında Kullanılan Ekipman	25
4.1.2. Akım Türü ve Kutuplama Şekli	26
4.2. MIG-MAG Gaz Altı Ark Kaynak Yöntemi	27
4.2.1. MIG-MAG Kaynak Donanımı	29
4.2.1.1. Kaynak Torçları	29
4.2.1.2. Torç Bağlantı Paketi	30
4.2.1.3. Tel Sürme Tertibatı	30
4.2.1.4. Kumanda Tertibatı	30
4.2.1.5. MIG–MAG Kaynağı Akım Üreteçleri	30
4.2.1.6. Koruyucu Gaz Tüpleri	32
4.2.2. MIG-MAG Kaynağında Arkta Kaynak Metali Taşınımı	33
4.2.2.1. Kısa Ark-Orta (Ara) Ark Bölgesi	33
4.2.2.2. Orta (Ara) Ark Bölgesi	34
4.2.2.3. Sprey Ark Sınır Bölgesi	34
4.2.2.4. Uzun Ark Bölgesi	34
4.2.2.5. İmpuls Ark Bölgesi	34
4.2.2.6. Pinch –Effekt	34
5. MIG – MAG GAZ ALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER	36
5.1. Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler	36
5.1.1. Elektrod Çapı	36
5.2. Koruyucu Gaz Türü	36

5.3. Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler	38
5.3.1. Kaynak Akım Şiddeti	38
5.3.2. Ark Boyu (Kaynak Gerilimi)	39
5.3.3. Kaynak Hızı	40
5.4. İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler	41
5.4.1. Serbest Tel Uzunluğu	41
5.4.2. Torç Açısı	42
6. KAYNAK HATALARI	44
6.1. Nüfuziyet Azlığı	44
6.2. Birleştirme Azlığı (Yetersiz Erime)	45
6.3. Yanma Olukları veya Çentikleri	45
6.4. Kalıntılar	46
6.5. Kaynak Metalinde ve Esas Metalde Çatlaklar	46
6.6. Gözenekler	48
6.6.1. Azot Nedeniyle Gözenek Oluşumu	48
6.6.2. Hidrojen Nedeniyle Gözenek Oluşumu	49
6.6.3. Karbonmonoksit Nedeniyle Gözenek Oluşumu	49
6.7. Sıçramalar	52
6.8. Alüminyum ve Kaynak Edilebilir Alaşımlarında Kaynak Hataları İçin Kalite Seviyeleri	52
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
7.1. Kullanılan Malzemeler	55
7.2. Yapılan Kaynak İşlemi	56
7.3. Kaynatılmış Alüminyum Boruların Hasarlı ve Hasarsız Muayenesi	57
7.3.1. Hasarsız Muayene	58
7.3.1.1. Görsel Muayene	58
7.3.1.2. Sıvı Penetrant Muayene	58
7.3.1.3. Radrografik Muayene	61
7.3.2. Hasarlı Muayene	64
7.3.2.1. Sertlik Ölçümü	64

7.3.2.2. Çekme Testi	65
7.3.2.3. Metalografik Muayene	67
8. GENEL SONUÇLAR	68
8.1. Görsel ve Sıvı Penetrant Testi Sonuçları	68
8.2. Radyografik Muayene Sonuçları	72
8.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları	72
8.4. Çekme Testi Sonuçları	72
8.5. Metalografik Muayene Sonuçları	75
9. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMESİ	76
10. GENEL SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	81
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	97

KISALTMALAR

ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
MIG	: Metal Inert Gazaltı Kaynağı
MAG	: Metal Aktif Gazaltı Kaynağı
TIG	: Tungsten Inert Gazaltı Kaynağı

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1.	Güncel kullanımda metallerin ve alaşımların fiziksel özellikleri.....	3
Tablo 2.2.	% 0,15 C'lu Çelik ile alüminyum ve alaşımlarının fiziksel özellikleri.....	3
Tablo 2.3.	Farklı metallerin yeniden kristalleşme sıcaklıkları.....	4
Tablo 3.1.	Alüminyum alaşım serilerinin gösterilmesi.....	8
Tablo 3.2.	Alüminyum alaşımları için ısıtım işlem sembollerinin gösterilmesi.....	9
Tablo 4.1.	Gaz altı ark kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması	24
Tablo 6.1.	Hata seviye sınırları ve sınıfları.....	54
Tablo 7.1.	Ekstrüzyonla imal edilmiş 6082 alaşımlı alüminyum boruların TS EN 573-3 standardında belirtilen kimyasal birleşimi.....	55
Tablo 7.2.	Ekstrüzyonla imal edilmiş 6082 alaşımlı alüminyum boruların TS EN 755-2 standardında belirtilen mekanik özellikleri.....	55
Tablo 7.3.	MIG kaynağında kullanılan elektrod tellerinin kimyasal birleşimi ve mekanik özellikleri.....	56
Tablo 7.4.	Ticari filmlerin firma bazında sınıflandırılması	64
Tablo 8.1.	Çekme testi sonuçları.....	74
Tablo A.1.	Tungsten elektrodların gösterilişleri ve uygulama alanları	83
Tablo D.1.	Yapılan kaynak işlemlerinin parametreleri.....	87
Tablo E.1.	Kaynatılmış boruların radyografik muayene sonuçları.....	90
Tablo E.2.	Şekil E.2'de gösterilen ölçüm yerlerine göre kaynak dikişlerinin mikro sertliği.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1	: Alüminyumun tavlama sırasında sertliğinin değişimi..... 11
Şekil 3.2	: Alüminyum alaşımlarının çökeltme sertleşmesi ısıtma işlemi..... 12
Şekil 3.3	: Denge diyagramı Al-Mg ₂ Si..... 13
Şekil 3.4	: Ekstrüzyon ve pres su verme..... 15
Şekil 3.5	: T5 ısıtma işlemindeki 6000 serisi alaşımlarının kopma dayanımları için ISO eğrileri..... 18
Şekil 3.6	: Allotropik dönüşüm göstermeyen malzemeler (Nikel, alüminyum, bakır gibi.)..... 21
Şekil 3.7	: Soğuk şekil değiştirilmiş malzeme (Soğuk çekilmiş alüminyum gibi)..... 22
Şekil 3.8	: Çökelme ile sertleştirilmiş malzeme..... 22
Şekil 4.1	: TIG kaynağının şematik gösterimi..... 25
Şekil 4.2	: MIG-MAG kaynağının prensip şeması..... 28
Şekil 4.3	: MIG kaynak yönteminde ark bölgesi..... 28
Şekil 4.4	: Hava soğutmalı torç kesitinin gösterimi..... 29
Şekil 4.5	: MIG-MAG akım üreticisinin şematik gösterimi..... 32
Şekil 4.6	: Basınç düşürme ventilinin şematik gösterimi..... 33
Şekil 4.7	: A) Elektrodun ucunda damla oluşumu, B) Elektrodun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri..... 35
Şekil 5.1	: Çeşitli koruyucu gaz türlerinden elde edilen kaynak dikişi profilinin şematik gösterimi..... 37
Şekil 5.2	: MIG-MAG kaynağında gaz sarfıyatı tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı..... 38
Şekil 5.3	: Alüminyum MIG kaynağında çalışma bölgeleri..... 40
Şekil 5.4	: Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi..... 41
Şekil 5.5	: Kaynak yönünün eğimine göre dikiş biçiminin değişimi..... 43
Şekil 6.1	: Nüfuziyet azlığının şematik gösterimi..... 44
Şekil 6.2	: Yanma oluklarının şematik gösterimi..... 46
Şekil 6.3	: Çeşitli tip çatlaklar..... 47
Şekil 6.4	: Ortam koşullarının ve yanlış kaynak parametrelerinin neden olduğu gözenekler..... 50
Şekil 6.5	: Yanlış kaynak parametrelerinin ve kaynak işleminde meydana gelen etkiler nedeniyle gözenek oluşumu..... 51
Şekil 7.1	: Sıvı penetrant yöntemi ile yüzey çatlaklarının belirlenmesi..... 59
Şekil 7.2	: Radyografik muayenenin prensibi..... 63
Şekil 7.3	: Vickers sertlik testinin şematik gösterimi..... 65
Şekil 8.1.a	: Kaynak numaralarına göre (1-14) kaynakların dikişleri ve sıvı penetrant muayenesi sonuçları..... 70
Şekil 8.1.b	: Kaynak numaralarına göre (15-23) kaynakların dikişleri ve sıvı penetrant muayenesi sonuçları..... 71

Şekil 8.2	: 3B ve 4B kaynak numaralı numunelerin çekme diyagramı.....	73
Şekil 8.3	: 12B, 14B, ve 20B kaynak numaralı numunelerin çekme diyagramı.....	73
Şekil A.1	: Su soğutmalı bir TIG torcunun elemanları.....	83
Şekil A.2	: 1,2 mm tel elektrodla MAG kaynağında güç bölgeleri ve malzeme geçişini gösteren çalışma bölgeleri.....	84
Şekil B.1	: Ark gerilimi ve akım şiddetinin kaynak dikişinin biçimine etkileri.....	85
Şekil C.1	: Birleşme azlığı.....	86
Şekil C.2	: Kaynak dikişlerinde karşılaşılan çeşitli gözenek tipleri.....	86
Şekil D.1	: Kaynaklanmış borulardan çekme numunesinin çıkarıldığı bölgenin ve ölçümlendirilmesinin gösterimi.....	88
Şekil E.1	: A) Kaynak numarası 10, B) Kaynak numarası 12, C) Kaynak numarası 13, D) Kaynak numarası 2, E) Kaynak numarası 9, olan kaynatılmış boruların radyografik muayene filmleri.....	89
Şekil E.2	: Kaynak bölgesinden mikro sertlik ölçüm yerlerinin ve mikro sertlik izinin gösterimi.....	91
Şekil E.3	: 4 numaralı kaynak numunesinin kaynak merkezinden itibaren asıl metale doğru mikro sertlik profili.....	92
Şekil E.4	: Kaynak dikişinde metallografik muayenenin yapıldığı bölgelerin gösterimi.....	93
Şekil E.5	: 14 kaynak numaralı numunenin, kaynak dikişinin Şekil E.4’de gösterilen bölgelere göre tane yapısı ve hataları...	93
Şekil E.6	: 4 kaynak numaralı numunenin, kaynak dikişinin Şekil E.4’de gösterilen bölgelere göre tane yapısı ve hataları...	94
Şekil E.7	: 3 kaynak numaralı numunenin, kaynak dikişinin Şekil E.4’de gösterilen bölgelere göre tane yapısı ve hataları...	95
Şekil E.8	: 3, 4, 14, 20 kaynak numaralı numunelerin, kaynak dikişlerinin Şekil E.4’de gösterilen “III” bölgelerinin tane yapıları ve hataları.....	96

SEMBOL LİSTESİ

T_{RK}	: Yeniden kristalleşme sıcaklığı (°C)
φ	: Şekil değiştirme oranı
a	: Yassı deney parçasının kalınlığı veya borunun et kalınlığı (mm)
b	: Yassı deney parçasının gövde genişliği veya bir borudan alınan uzun ve dar ortalama genişliği veya yassı tel genişliği (mm)
D	: Borunun dış çapı (mm)
L₀	: İlk ölçü uzunluğu (mm)
k	: 5,65 alınan katsayı

ALAŞIMLI ALÜMİNYUM BORULARIN MIG KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAĞINA KAYNAK PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, ekstrüzyonla üretilmiş 6082 T6 alaşımlı alüminyum boruların alın kaynağına, MIG gaz altı ark kaynak parametrelerinin, kaynağın görsel ve mekaniksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada, MIG gazaltı ark kaynağı, kaynak akımı, koruyucu gaz tipi ve debisi, elektrod tel tipi, torç açısı ve mesafesi ve ön ısıtma sıcaklığı parametrelerinin farklı kombinasyonları ile 23 değişik kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynatılmış borulara hasarlı ve hasarsız muayene yöntemleri uygulanarak, kaynağa, kaynak parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

Yapılan kaynak işlemleri sonunda Hemix 50 gazının, içeriğindeki helyum gazı nedeniyle daha iyi sonuçlar verdiği, daha yüksek ısı yoğunlu sağladığı belirlenmiştir.

18 lt/dk'lık koruyucu gaz debisi yerine 12 lt/dk'lık koruyucu gaz debisi kullanıldığında kaynak dikişinde daha fazla miktarda gözenek hatalarının olduğu tespit edilmiştir.

Kaynak işleminde, 110-157 Amperler arasında kaynak akımları kullanılmıştır. 131 Amper akım değerinde en uygun kaynak formunun ve en az hatalı kaynakların olduğu saptanmıştır.

Torç açısının azalması durumunda, ark ile kaynak metalinin malzemeye taşınımının tam olmadığı ve birleşmenin oluşmadığı, açının artmasıyla veya ters açı kullanılması durumunda ise fazla ısı yoğunluğu nedeniyle aşırı nüfuziyet meydana geldiği ve delinmelerin olduğu belirlenmiştir. 75°'lik torç açısı değerinin en uygun görsel kaynak formunu ve en az hatalı kaynak dikişini oluşturduğu saptanmıştır.

Torç mesafesinin kısa olması (9 mm) nüfuziyeti arttırdığı ve çukurlaşmalara neden olduğu belirlenmiştir. Torç mesafesinin fazla olması (21 mm) halinde ise gözenek oluşumu ve yetersiz nüfuziyet olduğu belirlenmiştir. En uygun torç mesafesinin, kararlı ark oluşumu, uygun görsel kaynak formu ve az hatalı kaynak dikişi sağlaması nedeniyle 15 mm olduğu belirlenmiştir.

2.5 mm et kalınlığındaki borular için ısıtma işlemi uygulanmayan kaynaklarda, en uygun sonuçlar elde edilmiştir.

AlMg4,5Mn elektrod teli yerine AlMg5 elektrod teliyle çalışıldığında, kaynaklanmış borularda daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir.

EFFECTS OF WELDING PARAMETERS TO MIG WELDING OF EXTRUDED ALLOYED ALUMINIUM TUBES

SUMMARY

In this study, the effects of MIG arc welding parameters to visual and mechanical properties of butt welded of extruded 6082 T6 alloyed aluminium tubes have been examined. In the study, 23 different welding operations have been done with combination of different parameters, being welding current, type and flow rate of shielding gas, type of filler electrode wire, angle and distance of torch and preheating temperature. Effects of welding parameters to welds have been examined with applying destructive and non-destructive inspection methods to welded tubes.

At the end of the welding operations, gas of Hemix 50 providing higher heat intensity because of containing helium gas has been determined.

With using 12 lt/min of gas flow rate instead of 18 lt/min of gas flow rate, it's been determined that more porosity defects has formed in the welding seam.

Welding currents used in welding operations were between 110 and 157 Ampere. 131 Ampere current value provided the most suitable welding formation and the least defective welding.

It has been determined that, with decreasing angle of torch, transferring of welding metal to material with arc and combination of faces do not generate, and with increasing angle of torch or using opposite angle, because of the excessive heat intensity, excessive penetration occurs and holes are formed. 75° of torch angle value providing the most suitable welding formation and the least defective welding has been determined.

Being short torch distance (9 mm), increasing penetration and concave seam formation have been determined. Being high torch distance (21 mm), it has been determined that porosity and insufficient penetration have been formed. It has been determined that 15 mm is the most suitable torch distance because of stable arc formation, suitable welding formation and formation of lesser defective welding,

For tubes with 2.5 mm thickness, the most suitable welding results have been obtained without preheating treatment in the welding operations.

With using AlMg5 electrode wire instead of AlMg4,5Mn electrode wire, higher mechanical properties have been obtained in welded tubes.

1. GİRİŞ

Sahip olduğu üstün özellikler nedeniyle, alüminyumun endüstrinin çeşitli dallarındaki kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Alüminyumun hafifliği ve korozyona karşı direnci pek çok metale göre daha iyidir.

Günümüzde alüminyum, özellikle otomotiv, inşaat, havacılık sanayinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Alüminyumun hafiflik ve korozyona karşı yüksek direnç özelliklerinin bir sonucu olarak bu parça, aksesuar ve araçlardan yüksek performans alınmaktadır ve ekonomik açıdan tasarruf sağlanmaktadır.

Bu çalışma, ekstrüzyonla üretilmiş alaşımlı alüminyum boruların alın kaynağında, MIG gaz altı ark kaynak parametrelerinin kaynağın özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada değişik kaynak parametreleri kombinasyonlarıyla yapılan kaynaklar, hasarlı ve hasarsız muayene yöntemleriyle incelenmiştir.

2. ALÜMİNYUMUN BAŞLICA ÖZELLİKLERİ

Alüminyum diğer metaller ile birleşmiş olarak %8 oranında yer kabuğunda mevcuttur. Buna rağmen, demir, bakır, kalay, kurşun, altın ve gümüş gibi metallerden çok sonra keşfedilmiştir. Endüstride kullanımı son 90 ile 100 yıl içerisinde başlamıştır.

Friedrich Wöhler ismindeki bir Alman kimyageri ilk defa 1827 yılında, bir gram kadar alüminyum üretmiştir. 1866 yılında, Werner Siemens tarafından dinamo makinesi keşfedildikten sonra alüminyum elektroliz yoluyla üretilmeye başlandı. 1895 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde ilk alüminyum elektrik hatları kullanılmaya başlandı. 1897 yılında da, Roma'da St. Joachim kilisesinin çatısı alüminyum saca kaplandı. Burası dünyanın ilk alüminyum çatısı olarak bilinmektedir. 1900 yılında, ilk defa Gottfried Daimler tarafından motor imalatında alüminyum dökümü kullanıldı. Duralüminyumun keşfinden sonra 1906 yılında modern uçak endüstrisinin çalışmaları hızlanmıştır [1].

Sahip olduğu üstün özellikler nedeniyle, alüminyum inşaat, havacılık otomotiv gibi endüstrinin bir çok dalında kullanım alanı bulmaktadır. Aşağıda alüminyumun başlıca özellikleri belirtilmiştir;

- Hafiflik
- Korozyon direnci
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği
- Alaşımlandırma ve ısıl işlem ile üstün mekanik özellikler
- Şekillenebilirlik
- Geri dönüşüm

2.1. Alüminyumun Dayanımı

2.1.1. Fiziksel Özellikler

Alüminyum yaygın metallerin en hafifi olmasını sağlayan 2.7 g/cm^3 'lük bir yoğunluğa sahiptir. (Tablo 2.1) Alüminyumun hafif ağırlığı, alüminyum alaşımlarını imalatçılar ve kullanıcılar için cazip kılmaktadır.

Tablo 2.1. Güncel kullanımda metallerin ve alaşımların fiziksel özellikleri [1].

ÖZELLİK	ALAŞIM 5083 H116	ALAŞIM 5083 H111	ALAŞIM 6005A T5	ÇELİK E24	ÇELİK E36	PASLANMAZ ÇELİK Z7CN18-09 TAVLANMIŞ
Yoğunluk (g/cm^3)	2,66	2,66	2,70	7,8	7,8	7,9
Lineer Genleşme Katsayısı (10^{-60} C^{-1})	23,8	23,8	23,6	11,7	11,7	17,5
Akma Dayanımı (Mpa)	250	170	260	240	360	300
Çekme Dayanımı (Mpa)	340	305	285	410	550	660
Uzama (%A)	15	22	12	24	20	54
Young Modülü (Mpa)	71,000	71,000	69,500	210,00 0	210,00 0	210,000

Alüminyumun üstün dayanım özellikleri yanı sıra, çeliğe kıyasla, ergime noktası düşük ve ısı ve elektrik iletkenliği yüksek metallerdir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. % 0,15 C'lu Çelik ile alüminyum ve alaşımlarının fiziksel özellikleri [2].

MALZEME	ERGİME NOKTASI ($^{\circ}\text{C}$)	ELEKTRİK İLETKENLİĞİ ($\text{m}/\Omega\text{mm}^2$)	ISI İLETKENLİĞİ (J/cmsK)
Saf Al	658	35	2,2
Al Mg 5	520-630	16,5	1,2
Al Mg Si	600-640	31	1,8
%0,15 C'lu Çelik	1510	9,3	0,5

Alüminyum, diğer metaller ile karşılaştırıldığında yeniden kristalleşme sıcaklığı en düşük metallerden biridir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3. Farklı metallerin yeniden kristalleşme sıcaklıkları [3].

Metal	Minimum Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (°C)
Alüminyum	150
Magnezyum	200
Bakır	200
Demir	450
Nikel	600
Molibden	900
Tantalyum	1000

2.2. Korozyon Direnci

Alüminyum ve alaşımlarının mükemmel korozyon direnci, malzemeyi çevresel olarak “pasif” yapan “alümina” olarak bilinen metal üzerinde kalıcı şekilde var olan sürekli alüminyum oksit filmi nedeniyledir. Bu film, metal atmosferdeki oksijen veya su gibi okside eden bir etken ile temasa geçer geçmez oluşur.

50-100 Angström arasında aşırı derecede inceliğine rağmen, oksit filmi metal ve onu kuşatan çevre arasında koruyucu bir engel oluşturur. Oksit filminin fiziksel ve kimyasal karalılığı, alüminyum ve alaşımlarına korozyona karşı yüksek bir direnç sağlar. Alüminyum ve alaşımlarının korozyon direnci, pH değerini içeren çevresel karakteristikler tarafından ve alaşımın bileşimi tarafından kendiliğinden belirlenir [4].

2.2.1. pH Değerinin Etkisi

Oksit filminin bozulma hızı pH değeri tarafından belirlenir. Asit ve alkalın ortamda çok hızlı ve pH-nötrlüğüne yakın (pH 5-9) ortamda 9 çok yavaştır. Nehir ve kaynak suyu, yağmur suyu ve musluk suyu gibi doğal sular genellikle 7 civarında bir pH değerine sahiptir.

Oksit filmi tüm bu ortamlarda çok kararlıdır ve bu herhangi bir ilave koruma olmadan alüminyumdan yapılmış ticari parçaların uzun ömürlü olmalarını açıklamaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarının korozyon direnci tahmin edilirken pH hesaba katılacak tek kriter değildir. Asit ve baz tipi de önemlidir. Bu yüzden hidroklorik ve sülfürik gibi hidrojen asitleri alüminyum ve alaşımlarına karşı çok agresiftir, ve tesir oranı asit yoğunluğu ile artar. Konsantre nitrik asit alüminyum üzerinde etkiye sahip değildir, gerçekte onun okside etme eylemi aslında oksit tabakasının çok az takviye eder. Aslında bu dekapaj alüminyum ve alaşımları için olandan %50 daha yüksek konsantrasyonda kullanılmaktadır.

Aynı şeyler alkalın ortamlarda geçerlidir; kostik soda ve potasyum, düşük konsantrasyonlarda bile alüminyum ve alaşımlarına zarar verirken, aynı pH'lı sıvı amonyak eriyikleri daha az zarar verir [4].

2.2.2. Alaşım Elementlerinin Etkisi

Bazı alüminyum alaşım elementleri, oksit filminin koruyucu etkisini kuvvetlendirir. Onlar, alüminyum oksit ile birleşerek magnezyum oksit içerir. Bu, alüminyum-magnezyum alaşımlarının ıslak ve deniz ortamlarındaki mükemmel korozyon direncini açıklamaktadır.

Diğer alaşım elementleri özellikle bakır, oksit filminin koruyucu özelliğini azaltır ve bu yüzden ıslak ortamlara karşı korozyon direncini zayıflatır. Alüminyum-bakır alaşımlarının özel koruma (anotlama, boyama) olmadan kullanılması uygun değildir [4].

2.3. Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirmesi ve Bağlantı Teknikleri

Ticari parçalarda alüminyum alaşımlarını işlemek ve şekillendirmek kolaydır. Alüminyum ve alaşımları değişik prosesler ile şekillendirilip yarı mamuller elde edilmektedir. Alüminyum ve alaşımlarından ekstrüzyon, haddeleme, presleme, dövme veya döküm ile şekillendirilip, yassı yarı mamuller, içi boş veya dolu uzun yarı mamuller veya karmaşık geometrilerde yarı mamuller elde edilir. Alüminyum ve alaşımları, bükme, derin çekme, el veya otomatik şekilde kaynaklama ile işlenebilirler.

Ticari parçaların imalatında kullanılan alüminyum alaşımları tüm bağlantı teknikleri ile iyi uyum sağlarlar [5].

Bu bağlantı teknikleri:

- Kaynak yapma
- Cıvatalama
- Perçinleme
- Kıvrırma
- Bağlama, şeklindedir.

2.4. Geri Dönüşüm

Alüminyumdan yapılmış ticari parçaların, diğer parçalara nazaran pazar değerlerinin daha uzun süre koruduğu bilinmektedir. Çünkü alüminyum ve alaşımları kolayca geri dönüşebilir. Hurda alüminyum ve alaşımları çevreye zarar vermeden ucuz olarak geri dönüşebilmektedir [5].

3. HADDELENMİŞ VE EKSTRÜZYONLA ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Ticari parçalar ve konstrüksiyon imalatında kullanılan haddelenmiş ve ekstrüzyonla üretilmiş alüminyum alaşımları belirli kriterlere göre seçilir. Bu kriterler:

- Fiziksel özellikleri,
- Şekillendirme yetenekleri,
- Kaynak edilebilirlikleri,
- Korozyona karşı dirençleri, şeklindedir [6].

Alüminyum alaşımlarının çoğu şu üç seriye aittir:

- Haddelenmiş yarı mamuller - 3000,
- Haddelenmiş ve dövülmüş yarı mamuller - 5000,
- Ekstrüzyonla üretilmiş ve dövülmüş yarı mamuller - 6000.

Genelde alüminyum alaşımlı yarı mamullerin özellikleri, özellikle fiziksel özellikleri, üretim yöntemine, kademeler arasında ve son uğradıkları ısıl işlemin tipinde yukarıdakilerin tümüne bağlıdır. Katlama, kıvrıma, kaynak yapma gibi şekillendirme operasyonları ile daha büyük veya daha küçük uzunluklar elde edilebilir.

Bu bölümde, kullanıcıların çökeltme sertleşmeli veya çökeltme sertleşmesiz alaşımlar arasında ayırım yapmalarına olanak sağlayan ve bu yüzden örneğin kaynaktan dolayı ısının etkileri veya yerel gerinim sertleşmesine neden olan operasyonların etkilerini tayin etmek için alüminyum alaşım metalurjisinin bazı temel kavramları ele alınmaktadır.

Şekillendirilirken ve kaynak edilirken gerekli olan önlemleri ve alaşım seçimlerini kolaylaştırmak ve açıklamak için standart gösterimler kullanılmaktadır.

3.1. Alüminyum Alaşımların Kısa Gösterilişi

Alüminyum temel olarak, bakır, magnezyum, mangan, silisyum ve çinko ile alaşımlandırılır. İstenilen özellikleri ve tane yapısını elde etmek için az miktarda krom, demir, nikel ve titanyum katıları özel alaşım sistemlerine eklenir. Magnezyum, mangan, silisyum ve demir, tek başlarına veya değişik kombinasyonlarda matris içinde disperse inter-metalik veya katı çökelti şeklinde bulunarak alüminyum mukavemetlendirmek için kullanılır. Silisyum katkısı ergime sıcaklığını düşürür ve alüminyumun akıcılığını artırır.

Alüminyum alaşımları sekiz seriden ibarettir (Tablo 3.1). Alüminyum Cemiyetinin uluslararası kısa gösterim sistemine göre bir harfi takip eden veya onun önünden gelen 4 haneli sayı tarafından kısaca gösterilmektedir [7].

Tablo 3.1. Alüminyum alaşım serilerinin gösterilmesi [7].

ALAŞIM GRUBU	SERİ
Min %99 saflıkta Alüminyum	1XXX
Alüminyum – Bakır	2XXX
Alüminyum – Mangan	3XXX
Alüminyum – Silisyum	4XXX
Alüminyum – Magnezyum	5XXX
Alüminyum – Magnezyum – Silisyum	6XXX
Alüminyum – Çinko	7XXX
Diğer	8XXX

Birinci sayı alaşımın ait olduğu seriyi göstermektedir. İkinci sayı;

- 1000 serilerinde belirli kirliliğin kontrollü yüzdelerine karşı gelen alüminyumun derecesini göstermektedir.
- 2000’den 8000’e serilerinde alaşımı tanımlamak için kullanılmaktadır.

Son iki sayı;

- 1000 serilerinde % 99 üzerindeki alüminyum yüzdelerini göstermektedir.
- 2000’den 8000’e serilerinde alaşımı tanımlamak için kullanılmaktadır [1].

3.2. Isıl İşlem Durumlarının Kısa Gösterilişi

Isıl işlem tanımlama sistemi ürünün halini belirtmek için kullanılır. İstenilen mekanik özellikleri sağlamak için ana işlemleri gösterir. Bu tanımlama, alaşım tanımlamasını takip eder (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Alüminyum alaşımları için ısıt işlem sembollerinin gösterilmesi [7].

ISIL İŞLEM SEMBOLÜ	TANIMLAMA
F	Üretildiği halde
O	Tavlanmış
H1	Deformasyonla sertleştirilmiş
H2	Deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış
H3	Deformasyonla sertleştirilmiş ve termal olarak dengede
W	Çözeltiye alma ısıt işlemi
T1	Şekillendirmeden sonra su verilmiş ve doğal yaşılandırılmış
T2	Şekillendirmeden sonra su verilmiş, soğuk işlenmiş ve doğal yaşılandırılmış
T3	Çözeltiye alma ısıt işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş
T4	Çözeltiye alma ısıt işlemi uygulanmış ve doğal yaşılandırılmış
T5	Şekillendirmeden sonra su verilmiş ve sonra yapay yaşılandırılmış
T6	Çözeltiye alma ısıt işlemi uygulanmış ve sonra yapay yaşılandırılmış
T7	Çözeltiye alma ısıt işlemi uygulanmış ve dengede tutulmuş
T8	Çözeltiye alma ısıt işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşılandırılmış
T9	Çözeltiye alma ısıt işlemi uygulanmış, yapay yaşılandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	Şekillendirmeden sonra su verilmiş, soğuk işlenmiş ve sonra yapay yaşılandırılmış

3.3. Isıl İşlem Uygulanmayan Alaşımlar

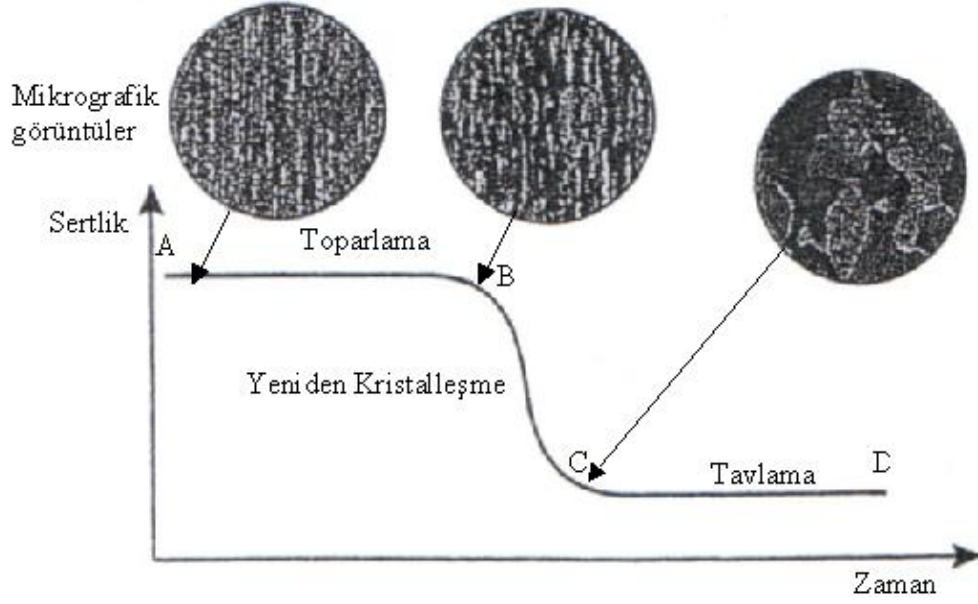
Isıl işlem uygulanmayan alaşımların başlangıç mukavemetleri, silisyum, demir, mangan ve magnezyumun sertleştirme etkisine bağlıdır. Bu elementler, alüminyumun mukavemetini metal matrisi içinde disperselenmiş faz oluşumu olarak veya katı çözeltisi ile arttırlar. Isıl işlem uygulanmayan alaşımlar, ana alaşım elementine bağlı olarak 1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serilerinde bulunurlar. Ticari saf alüminyumda demir ve silisyum ana safsızlıklardır, fakat mukavemete katkıda bulunmazlar. Bütün ısıtıl işlem uygulanmayan alaşımlar, ısıtıl işlem ile sertleşebilenlerdir [7].

3.3.1. Pekleşme

Sertleştirme, metalin sertliğini ve fiziksel özelliklerini iyileştiren pekleşme olarak bilinen soğuk şekil değiştirme ile yapılır. Sertleştirme, metalin şekil değiştirme kapasitesini ve sünekliğini de azaltır. Daha büyük şekil değiştirme veya daha yüksek pekleşme hızı, daha belirgin etki yapar. Bu da malzemenin kimyasal bileşimi tarafından kontrol edilir. Pekleşme, haddelme, derin çekme, kıvrırma, çekiçleme, katlama, presleme gibi kullanılan her şekil değiştirme işleminde yer alan genel bir olaydır. Atölyede imalat esnasında da pekleşme meydana gelir [8].

3.3.2. Tavlama ve Toparlanma ile Yumuşama

Tavlama olarak bilinen ısıtıl işlem ile, pekleşmiş metalin sünekliğini geri kazanmak mümkündür. 300 °C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda yer alan bu proseste, metalin sertliği ve mekanik karakteristikleri yavaş yavaş düşmeye başlamaktadır. Bu aşama toparlanma fazıdır (A-B) (Şekil 3.1). Yeniden kristalleştirme (B-C) esnasında metalin sertliği ve mekanik karakteristikleri çok hızlı şekilde düşer ve en sonunda tavllanmış metalin (C-D) mekanik karakteristiklerine benzeyen bir minimum değer kazanır.



Şekil 3.1. Alüminyumun tavlama sırasında sertliğinin değişimi [8].

Geri kazanma ve tavlama, mikroskop altında 50 kez büyültme ile gözlemlenen metal taneciklerinin büyüklüğünde ve dokusunda değişime yol açar. Doku, lifli bir yapıdan tamamen yeniden kristalleştirilmiş bir yapıya dönüşebilir (Şekil 3.1).

Yeniden kristalleştirme ve tavlama esnasında taneler, boyut olarak büyüyebilir. Bu büyüme, sonradan yapılan dövme gibi bir işlem esnasında, metalin yüzeyindeki pürüzlü "portakal kabuğu" etkisi şeklinde açığa çıkar. 100 mikronun üzerindeki tane büyümesi, pekleşebilen alüminyum alaşımlarının şekil değiştirme kapasitesini azaltır.

Sık taneli bir tavllanmış yapıya ulaşmak için aşağıdaki şartların oluşturulması gerekir;

- Metal, en az %15 'lik bir kesit azalmasına karşı gelen yeterli bir şekil değiştirme oranına maruz bırakılmalıdır. Bu kritik pekleşmedir. Bu şart yerine gelmezse, bu durumda ısıtma işlemi, yeniden kristalleştirmenin olmadığı geri kazanımla sınırlandırılmalıdır.
- Saatte 20 °C 'den 60 °C 'ye hızlı bir sıcaklık gradyeni,
- 350 – 380 °C 'nin üzerindeki sıcaklıklardan kaçınılmalıdır,
- Tutma süresi maksimum 2 saat ile sınırlandırılmalıdır,

- 5754, 5454, 5086, 5083 gibi 5000 serisindeki alaşımlar için tavlama, genellikle 345°C ve 380°C arasında 30 ile 120 dakika süre ile yapılır.

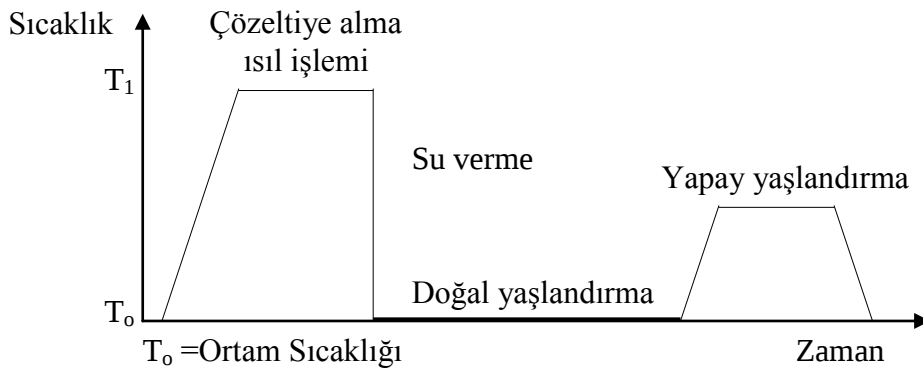
3.4. Isıl İşlem Uygulanabilen Alaşımlar

Isıl işlem uygulanabilen alaşımlar, 2XXX, 4XXX, 6XXX ve 7XXX serileridir. Bu alaşımların mukavemetleri, ısıtıl işlem uygulanmayan alaşımlarda olduğu gibi tavlama koşullarında alaşım birleşimine bağlıdır. Buna karşın artan sıcaklıkla birlikte, bakır, magnezyum, çinko ve silisyum alüminyumdaki çözünürlükleri artar. Böylece, bu alaşımlar uygun ısıtıl işlemler ile mukavemetlendirilebilirler. Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları mukavemetlerini çözeltiye alma ısıtıl işlemini takiben doğal veya yapay yaşlandırmayla artırır. Yaşlandırmadan önce veya sonra yapılan soğuk işlem ek olarak mukavemeti artırır. Uygun mukavemetlerde yeterli sünekliği sağlamak için ısıtıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları tavllanır. Tavlama parçayı belirli bir sıcaklığa ısıtıp kontrollü hızla soğutmayla sağlanır [7].

3.4.1. Çökeltme Sertleşmesi

Çökeltme sertleşmesi aşağıdaki sıralanan ardışık ısıtıl işlemler tarafından gerçekleştirilir (Şekil 3.2):

- Çözeltiye alma ısıtıl işlemi,
- Su verme,
- Yapay veya doğal yaşlandırma [9].

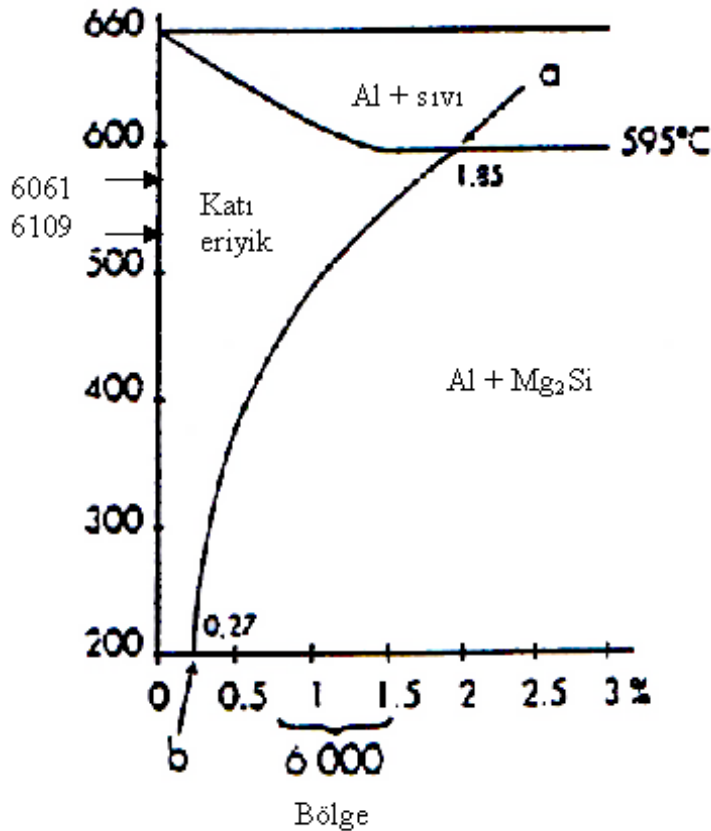


Şekil 3.2. Alüminyum alaşımlarının çökeltme sertleşmesi ısıtıl işlemi [9]

3.4.1.1. Çözeltiye Alma Isıl İşlemi

Çözeltiye alma ısıtma işlemi, 6000 serisi alaşımlar için 530°C civarında yüksek bir sıcaklıkta yapılır. Alaşımda magnezyum ve silisyum gibi daha çok alaşım elementi, daha yüksek sıcaklık demektir. Tutma süresi mamullerin kalınlığına bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta uzun tutma süreleri sırasında 6000 serisi için Mg_2Si gibi, veya 2000 serisi için Al_2Cu gibi inter-metalik bileşimler yeniden erir ve alaşım homojen katı bir eriyik biçimini alır.

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının çözeltiye alma ısıtma işlem sıcaklığı, ötektik sıcaklığa ulaşmasını önlemek için dikkatlice kontrol edilmelidir. Bu sıcaklık seviyesinde, inter-metalik bileşimlerin ve ötektiklerin yerel erimesine sebep olan ve metali yararsız hale getiren "Sıcak Noktalar" meydana gelir. 6000 serisi alaşımlar için onların kimyasal bileşimine bağlı olarak bu sıcaklık 555°C ile 620°C arasındadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Denge diyagramı Al-Mg₂Si [9].

3.4.1.2. Su Verme

Bu proses, metalin çok hızlı soğuduğu, kalıptan çıkışı sırasında, ocağın veya ekstrüzyon presinin çıkartma ucunda genellikle suya daldırma ile yapılır.

Sıcaklık Şekil 3.3'de görülen a-b eğrisi üzerinde θ_c 'nin altında olduğu zaman, metalin ani soğutulması inter-metalik bileşimlerin (6000 serisinde Mg_2Si gibi) çökmesini önler. Katı eriyik ortam sıcaklığında aşırı doymuştur. Su verme sonrası, ısıtma işlemi uygulanmış alaşımları hemen biçimlendirmek kolaydır.

Su verme hızı, bir alaşımın çekme dayanımı, tokluk, korozyon direnci gibi belirli özelliklerini saptayan çok önemli bir kriterdir. Her alaşım için, su verme hızının aşağısına düşmemesi gereken bir alt sınır, "kritik su verme hızı" vardır. Maksimum tokluk için, su verme hızı kritik su verme hızının hemen hemen üç katı olmalıdır.

Su verme, özellikle karmaşık şekilli veya kalın kesitli parçalarda sık sık artık iç gerilmelere neden olabilir. Bu gerilmeler, kontrollü plastik şekil değiştirmeye giderilebilir.

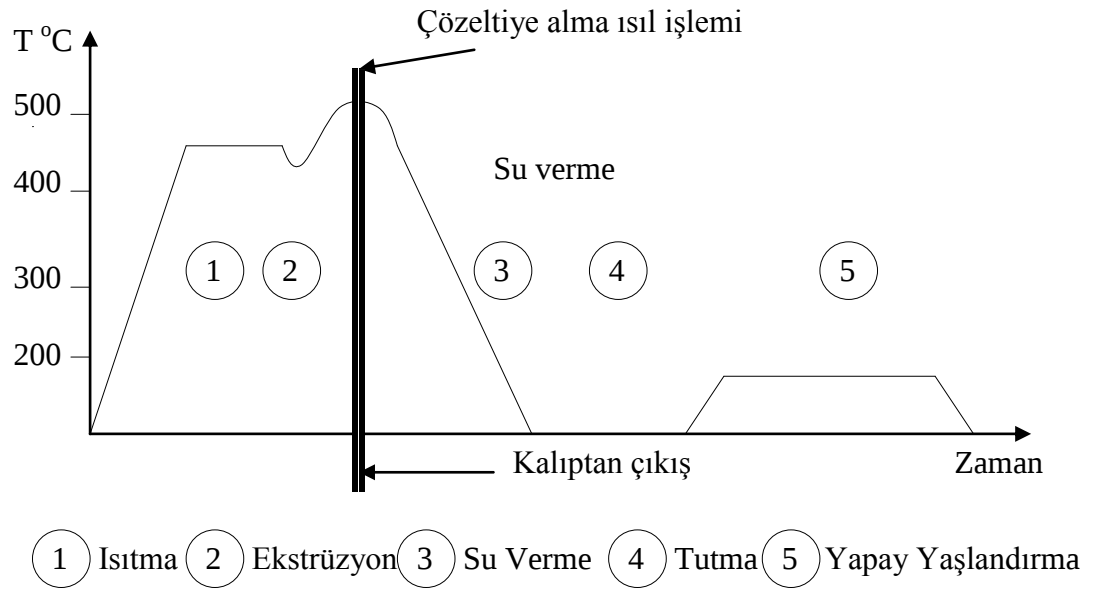
3.4.1.3. Yapay Yaşlandırma veya Doğal Yaşlandırma

Su verme sonrası, aşırı doymuş katı eriyik kararlı değildir ve kararlı hale (çökeltme sertleşmesine neden olan iç metalik bileşimlerin çökeltmesi) geri dönüş, şu iki yoldan birisiyle olabilir:

- Ortam sıcaklığında doğal yaşlandırma ile: Çökeltme ve çökeltme sertleşmesinin tamamlanacağı noktada sertlik ve mekanik özelliklerdeki artış birkaç saat (esas zaman alaşıma bağlıdır) sonra duracaktır. Bu T4 ısıtma işlemidir.
- Yapay yaşlandırma (çökeltme işlemi) ile: Bu 6000 serisi için $160^{\circ}C$ ve $180^{\circ}C$ arasında birkaç saat ısıtmayı gerektirir. Yapay yaşlandırma, çökeltme prosesini hızlandırır ve genellikle su verme sonrası doğrudan yapılır. Bu T6 ısıtma işlemidir. Yapay yaşlandırma şartları alaşımlara bağlıdır.

3.4.2. 6000 Serisi İçin Pres Su Verme

6060, 6005, 6106, 6082 ve 6061 gibi 6000 serisindeki alaşımlara hemen su verilebilir. Alaşımlar, presi hava tazyiki veya su püskürtme ile terk eder. Pres çıkışında, ekstrüzyonların sıcaklığı çöktürme sıcaklığından daha yüksektir (Şekil 3.4). Pres su verilmiş ürünler ya bu haliyle kullanılır ve T1 ile kısaca gösterilir ya da pres su verme sonrası yapay olarak yaşlandırılabilir ve T5 ile kısaca gösterilir.



Şekil 3.4. Ekstrüzyon ve pres su verme [9].

Pres su verme bir dizi avantajlar sunar:

- Çözeltiyeye alma ısı işlemi için ısıtma ihtiyacını ortadan kaldırır,
- Ekstrüzyon esnasında çok deforme olmuş çevresel bölgede kaba taneciklerin şekillenme tehlikesini azaltır,
- Yeniden kristalleşemez bir doku sağlar,
- Geometrik şekil değiştirmeden kaçınır.

Bununla birlikte pres su verme şartları, ürünün kalınlığı ve geometrisine ve alaşımın kritik su verme hızlarına uyması için ayarlanmalıdır. Sınır kalınlık, alaşıma bağlıdır.

3.5. Alaşımlar ve Yarı Mamuller İçin Seçme Kriterleri

Alüminyum alaşımlarından yapılmış ticari araç, aksesuar ve konstrüksiyonları kaynak vasıtası ile öncelikli olarak montaj edilen haddelenmiş ve ekstrüzyonla üretilmiş yarı mamuller kullanılarak imal edilir. Seçme kriterleri iki seviyededir:

- Yarı mamullerin bulunabilirliği,
- Alaşımların özellikleri [8].

3.5.1. Yarı Mamullerin Bulunabilirliği

Yarı mamullerin bulunabilirliği, haddeleme veya ekstrüzyon gibi, kullanılan üretim metoduna bağlıdır:

- Haddelenmiş yarı mamuller; 3000 ve 5000 serisi alaşımlar hazır olarak mevcuttur.
- Ekstrüzyonlar; 6000 serisi alaşımlar mükemmel ekstrüzyonla üretilebilirliği ve pres su vermeye eğilimi sayesinde idealdir.

İmalatçılar bir tek alaşım serisi kullanmayı isterler, 5000 serisi alaşımların kabul edilebilir maliyetlerde kompleks şekilleri yapmak için yeterli şekilde ekstrüzyonla üretilebilir olmadığı bilinmelidir.

Yalnız 6000 serisi alaşımlardan yapılan ekstrüzyon mamullerini kullanmak uygundur, ve gerekiyorsa 5000 ve 6000 serileri birlikte kaynak edilebilir.

3.5.2. Alaşımların Özellikleri

Endüstriyel imalatla yaygın olarak kullanılan alaşımlar:

- 3000 serisinde: 3003,
- 5000 serisinde: 5754, 5454, 5086, 5083,
- 6000 serisinde: 6060, 6005A, 6106, 6082, 6061.

Seçim, aşağıdaki temel kriterler göre yapılır:

- Mekanik zellikler,
- İmalata uygunluk,
- Kaynak edilebilirlik,
- Korozyon direnci.

3.5.3. Mekanik zellikler

Ticari imalatla kullanılan ana alaşımların mekanik özellikleri ortam sıcaklığı ile değişmektedir.

3.5.3.1. Düşük Sıcaklıklarda

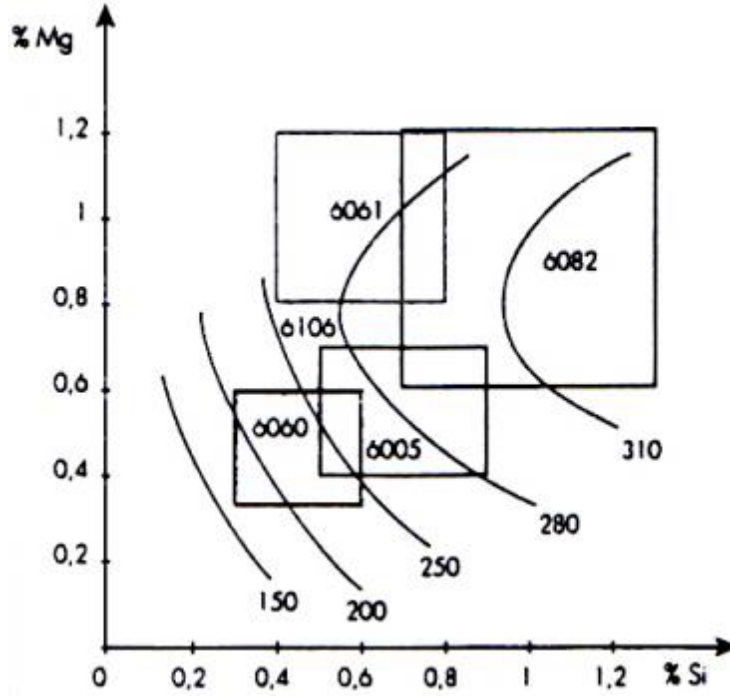
Genel olarak alüminyum alaşımları özellikle 5000 ve 6000 serisi çok düşük sıcaklıklardaki üstün mekanik özellikleri nedeniyle kriyogenik uygulamalarda metan tankları ve sıvılaştırma ve yeniden gazlaştırma işlemlerinin yapıldığı doğal gaz fabrikalarındaki ısı eşanjörlerinde giderek artan bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca stn mukavemet ve korozyon direnci özellikleri nedeniyle 6000 serisi alaşımlar konstrüksiyon çalışmalarında giderek yaygınlaşmaktadır.

3.5.3.2. 100 C'nin zerindeki Sıcaklıklarda

100 C'nin üzerindeki sıcaklıklarda alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri gerçek sıcaklık, tutma süresi ve uygulanan yk tarafından zorla kabul ettirilir. Sıcaklık artarken, son uzama (%A) arttığı halde çekme dayanımı (R_m) ve akma dayanımı ($R_{p0.2}$) düşer. 300 C – 400 C arasındaki sıcaklara ısıtıldığı zaman, 5000 ve 6000 serisi alaşımların özellikleri düşer ve tavlanmış metale yaklaşır. Bu nedenle söz konusu alaşımların sıcak işlenmesi fiziksel özelliklerinde kayıplara yol açmaktadır. Bu 6000 serisi alaşımların T5 su verilmiş ve T6 yapay yaşlandırılmış şartlarında özellikle geçerlidir.

3.5.4. 6000 Serisi Alaşımlar İçin Seçme Kriterleri

Magnezyum ve silisyum yüzdeleri tarafından belirlenen mekanik özellikli birkaç alaşım vardır (Şekil 3.5). Seçme kriterleri istenen fiziksel özelliklere bağlı olsa da tokluk da hesaba katılması gereken önemli bir özelliktir.



Şekil 3.5. T5 ısıtılma işlemindeki 6000 serisi alaşımlarının kopma dayanımları için ISO eğrileri [8].

6000 serisi alaşımların tokluğu, krom ve/veya mangan ilavesiyle ve su verme hızının artmasıyla artar. Bu yüzden yapısal parçalar için 6005, 6061 ve 6082 alaşımlarının kullanılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, yorulma göz önüne alındığında bu alaşımlardan meydana gelen kaynaklanmış montajların benzer davranışlar gösterdiği söylenebilir.

3.6. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağı, normal çeliğin kaynağına nazaran bir çok farklılıklar gösterir. Çeliğin kaynağına göre daha zor ve sorunludur. Bunun için

malzemeyi ve özelliklerini (fiziksel ve metalurjik) çok iyi tanımak ve ona göre önlemler almak gerekir. [10]

Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyetine bir çok etken tesir eder. Saf alüminyum 658°C gibi düşük bir sıcaklıkta ergimesine rağmen, yüzeyindeki oksit tabakası (Al_2O_3) 2050°C gibi yüksek bir sıcaklıkta ergir. Alüminyumun oksijene karşı ilgisi fazla olduğundan, yüzeyinde hemen 0,01 mikron kalınlığında Al_2O_3 tabakası oluşur. Bu oksit tabakası yüzeyi kimyasal bileşiklere karşı bir dayanıklılık vermektedir. Fakat bu tabakanın mevcudiyeti alüminyum ve alaşımlarının kaynağını zorlaştırır. Kaynak yapılırken yüzeyde bulunan Al_2O_3 tabakasının ergitilmesine çalışılırken (2050 °C), bundan çok daha düşük sıcaklıkta ergiyen alüminyum dökülür ve kaynak çubuğundan düşen damlalar kaynak yapılacak esas metal ile birleşemez. Bu sebepten dolayı, kaynaktan önce bu tabakanın oluşmaması için önlemler almak gerekir.

Alüminyum ve alaşımları yüksek bir ısı iletim katsayısına sahiptir. Bunun için kaynak yerinde ısı yoğunluğunu sağlamak için daha fazla ısı girdisine ihtiyaç vardır. Diğer taraftan, alüminyum ve alaşımlarında, çeliğe nazaran daha geniş bir bölge ısının tesiri altında kalır. Ayrıca saf alüminyumda yüksek ısı iletimi dolayısıyla ergimiş kaynak banyosu soğuyup çabuk katılaştığından, dikişte gözenekler oluşur. Yüksek ısıl genleşmeden ötürü, kaynak sırasında meydana gelen distorsiyonlar (çarpılmalar ve kendini çekmeler) fazla olmaktadır. Dolayısıyla gerekli önlemler alınmadığı zaman, gerilme çatlakları oluşur. Yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik direnç kaynağında sorunlar ortaya çıkmaktadır.

AlMn, AlSi, AlCu ve AlMg gibi katılma aralığı geniş olan alaşımlarda sıcak çatlama eğilimi vardır. Sıcak çatlaklar genellikle solidüs (katılma) eğrisinin üzerinde ve katılma aralığında meydana gelir. Bunun için bu alaşımlarda, katılma aralığı dar olan alaşım grupları seçilmelidir. Ayrıca çatlama karşı hassas olmayan ilave kaynak malzemesinin (tel veya elektrod) kullanılması gerekir.

Gerilme çatlakları da kuvvetli kendini çekmeler sonucu solidus eğrisinin altında meydana gelir. Bu çatlaklar, uygun bir konstrüktif şekillendirme, kaynak sonrası çeşitli ısıl işlemler, uygun kaynak yöntemi ve tekniği uygulanarak önlenir.

Alüminyum ve alaşımları doğal sert, soğuk olarak sertleştirilmiş veya çökeltme sertleşmesine tabi tutulmuş durumda bulunur. Bunların kaynak kabiliyeti de farklılıklar gösterir. AlCuMg, AlMgSi ve AlZnMg ısıtılma işlemi ile sertleşen alaşımlardır. AlCuMg alaşımı çatlama eğilimine sahiptir. Nadiren ergitme kaynağı kullanılır. AlMgSi alaşımı kaynak edilir ve akabinde yaşlandırılır.

Çok saf alüminyumun bileşiminde bulunan Fe, Si ve Mn gibi elementler, saf alüminyuma kıyasla biraz daha fazla kaynak çatlaklarının oluşumuna sebebiyet verirler. Alüminyum alaşımlarında çatlama tehlikesi alaşım tiplerine ve içerdikleri alaşım elemanlarının miktarına bağlıdır. Örnek olarak, Al-Mg alaşımlarında maksimum çatlak eğiliminin % 1 ile 2 Mg miktarında meydana gelmektedir. Al-Mg alaşımlarının bu çatlama eğilimi, bileşimine krom ve manganez katılırsa düzeltilmektedir.

3.6.1. Kaynak Bölgeleri

Metalsel malzemeler bir kaynak işlemi gördükleri zaman, kaynak dikişine bitişik olan bölge, kaynağa uygulanmış olan sıcaklığa bağlı olarak ısıtılma çevriminin etkisi altında kalır. Kaynak yapılan bir parçada, kaynak bölgesini, erime bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere iki bölgede incelenir.

Bir kaynak dikişinin kesiti, metallografik olarak incelendiğinde erimiş olan bölgeyi sınırlayan erime çizgisi gayet belirgin olarak görülür. Metalin solidüsünden daha yüksek bir sıcaklık derecesine kadar ısınmış olan erime bölgesi kimyasal birleşim olarak esas metal ve ek kaynak metalin (elektrod) karışımından ibarettir. Karışım oranı çok pasolu kaynaklarda, her pasoda farklı olduğundan, her pasonun kimyasal birleşimi birbirinden farklıdır. Tek pasolu kaynak dikişlerinde, bu bölge de esas metal ve kaynak banyosundaki, şiddetli türbülansla ötürü iyice karışmıştır ve oldukça homojen bir birleşim gösterir.

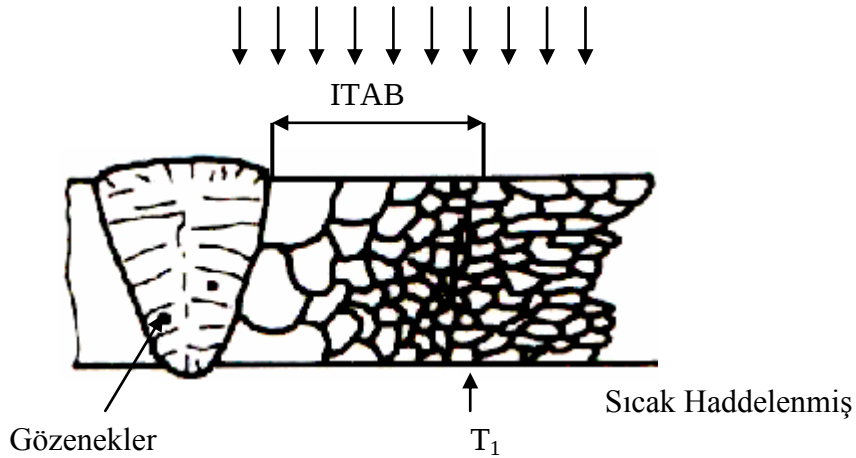
Erime bölgesinde esas metalin kaynak metaline oranı, uygulanan kaynak yöntemi ve paso sayısına bağlı olarak geniş bir aralık içinde değişir. Erime bölgesinde, esas metal ve kaynak metal oranı tam olarak bilinse dahi hesap yolu ile erime bölgesinin bileşiminin belirlenmesine olanak yoktur, çünkü bir çok alaşım elementleri kaynak anında yanma dolayısıyla kayba uğrarlar. Bu kayıpları azaltmak için kaynak bölgesi,

kaynak süresince atmosferin etkisinden korunur. İyi bir kaynak bağlantısı, kaynak bölgesinin atmosferin etkisinden korunması ile elde edilebilir. Oluşan kimyasal ve metalurjik reaksiyonlar ancak bu şekilde kontrol altına alınabilir.

Erime çizgisinin esas metal tarafında, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısı çevrimlerinden etkilenmiş ve dolayısıyla iç yapı değişimine uğramış bir bölge vardır. Bu bölgeye ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) adı verilir.

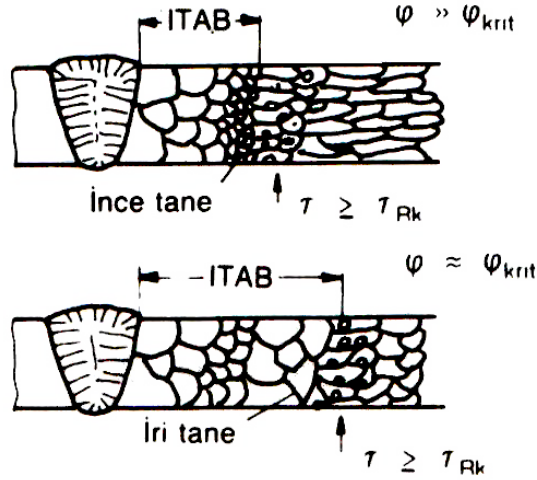
Soğuk şekil değiştirilerek mukavemeti yükseltilmiş alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) mukavemet düşer. Mn, Mg, Si, Cu gibi alaşım elementi içeren alüminyum alaşımlarının kaynağında (eş) alaşımlı kaynak ilave malzemesi kullanılırsa mukavemette pek düşme olmaz.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında ITAB'da (Isını Tesiri Altındaki Bölge) ortaya çıkabilecek çeşitli iç yapılar vardır (Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8).



Şekil 3.6. Allotropik dönüşüm göstermeyen malzemeler (Nikel, alüminyum, bakır gibi.) [10].

Tane büyüklüğü T_1 'den başlayarak sürekli artmaktadır. ITAB'ın genişliği kaynak yöntemine, paso sayısına uygulanan enerji yoğunluğuna bağlıdır (Şekil 3.6). Kaynak bölgesi gaz kapar dolayısıyla da gevrekleşme ve gözenek oluşumu ile karşılaşılır. Yüksek ısı iletkenlik ve yüksek ısıl genleşme çarpılma ve iç gerilimlerin oluşumuna neden olmaktadır.

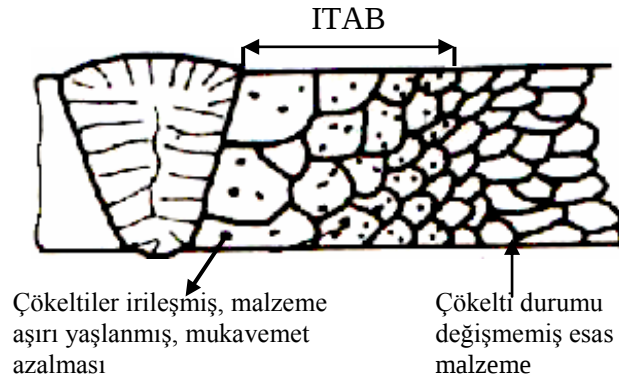


T_{Rk} = Yeniden kristalleşme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

φ = Şekil değiştirme oranı

Şekil 3.7. Soğuk şekil değiştirilmiş malzeme (Soğuk çekilmiş alüminyum gibi) [10].

$T > T_{Rk}$ olan bölgelerde pekleşmenin etkisi kalmaktadır. Birincil özellikleri geri kazanmak için kaynak sonrası tekrar soğuk şekil vermek gerekir. $T > T_{Rk}$ olduğundan ITAB çok geniştir. Şekil değiştirme oranı $\varphi \approx \varphi_{krit}$ ise T_{Rk} 'nın biraz üstünde bir diğer iri tane bölgesi oluşur (Şekil 3.7).



Şekil 3.8. Çökeltme ile sertleştirilmiş malzeme (AlMgSi alaşımları) [10].

ITAB'ta yüksek sıcaklık nedeni ile çökelti çözülür ve tekrar uygun olmayan bir boyut ve biçimde yeniden çöker. Bu aşırı yaşlanma, çökeltme sertleşmesi yeniden uygulanarak giderilebilir. Çökelti ışık mikroskobu ile görülemezler (Şekil 3.8). Tane sınırındaki çökelti çatlak oluşumuna neden olur. Kaynağın yaşlanmadan önce yapılması çatlak oluşumunu azaltır. İri çökelti nedeniyle korozyon dayanımı düşer. Bir metalsel malzeme, ısı tesiri altındaki bölgenin özellikleri fazla miktarda tahribe uğramamışsa kaynağa uygun olarak kabul edilir.

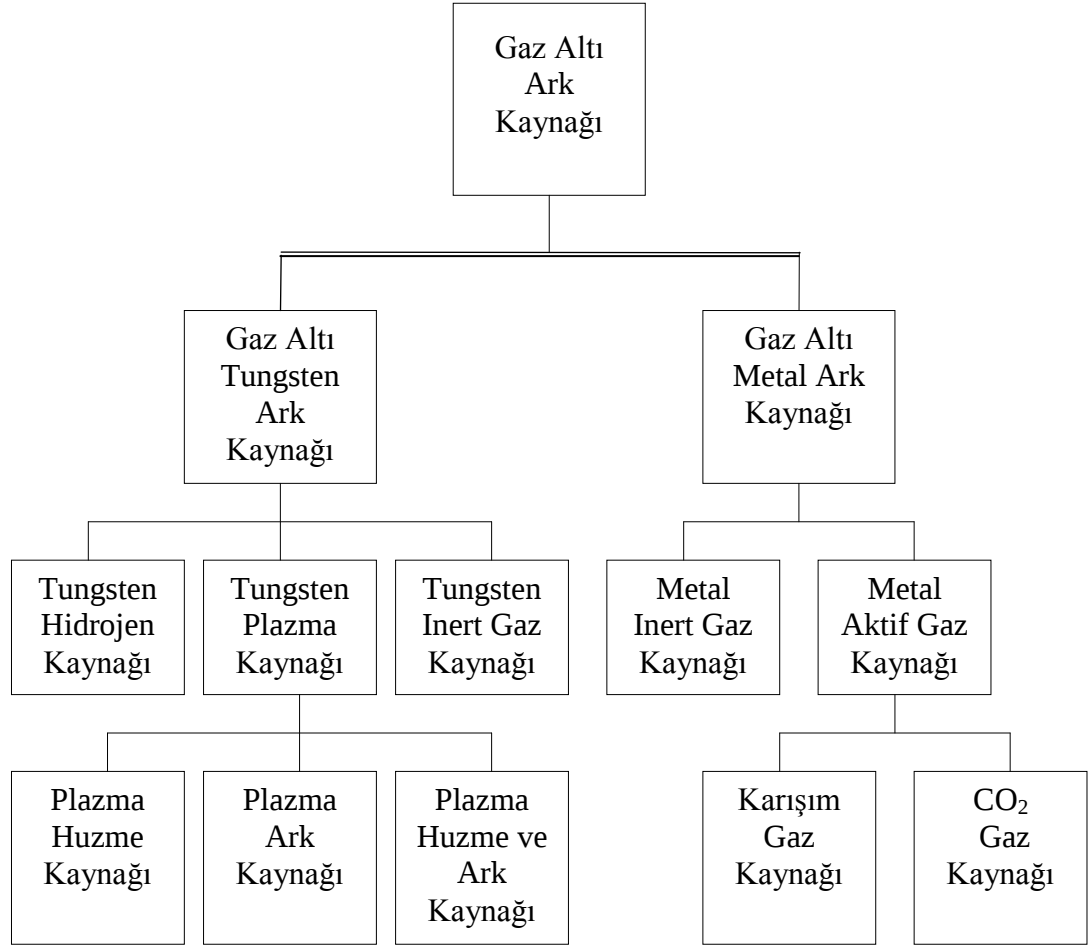
4. GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ

Gaz altı ark kaynak yöntemlerini elektrod, koruyucu gaz ve ark türüne göre sınıflandırılabilir (Tablo 4.1). İlk büyük sınıflandırma, elektrod türüne göre yapılmıştır. Burada yöntemler, erimeyen ve eriyen elektrod olarak gruplandırılabilir. Erimeyen elektrodlar tungsten'den mamuldür. Bu yöntem grupları bu Gaz Altı Tungsten Ark Kaynağı (GTAK) olarak adlandırılmaktadır. Eriyen elektrodlar ise hem ark taşıyıcı hem de ilave metal görevi yapmaktadır. Elektrodlar genellikle kaynak yapılan metalle aynı kimyasal bileşime sahiptirler. Bu yöntem Gaz Altı Metal Ark Kaynağı (GMAK) olarak adlandırılmaktadır [11].

Bu iki ana grubun alt grupları, kullanılan koruyucu gaz türüne göre yapılabilir. Gaz Altı Tungsten Ark Kaynağında bazı durumlarda argon-hidrojen karışımları, ancak çoğu uygulamada da inert (soy) gazlar kullanılır. Inert, eski grekçe bir kelimedir ve "reaksiyona isteksiz" anlamına gelmektedir. Bütün soy gazlar bu gruba dahildirler. Yüksek sıcaklıkta diğer maddelerle bileşik oluşturmazlar. Kaynak sırasında da nötr özelliklerini korurlar. Sözü edilen inert gazların tümü, Plazma Kaynağında (PK) kullanılırken, Tungsten Inert Gaz Kaynağında (TIG), bunlardan sadece argon, helyum veya ikisinin karışımı kullanılmaktadır. Tungsten Hidrojen Kaynağında (THK) ise kaynak sırasında çevre atmosferi hidrojen gazı ile uzaklaştırılmaktadır. Ark türüne göre Plazma Ark Kaynağı, Plazma Huzme Kaynağı (PHK), Plazma Ark Kaynağı (PAK) ve Plazma Huzme-Plazma Ark Kaynağı (PHAK) olarak alt gruplara ayrılabilir.

Gaz altı metal ark kaynağında hem inert hem de aktif gazlar kullanılabilir. Bu nedenle gaz altı metal ark kaynağı, Metal Inert Gaz (MIG) kaynağı ve Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı olarak ayrılır. Nüfuziyet formu, dikişin görünüşü ve sıçrama oluşumu, kullanılan aktif gaz türünün eritme gücüne bağlı olan Metal Aktif Gaz kaynağı, koruyucu gaz türüne göre, eğer aktif gaz (CO_2 ve O_2) bileşenleri olan argon esaslı bir koruyucu gaz kullanılıyorsa MAG-M kaynağı ve kaynak karbondioksiti kullanılıyorsa MAG-C kaynağı olarak alt gruplara ayrılır.

Tablo 4.1. Gaz altı ark kaynak yöntemlerinin sınıflandırması [11].



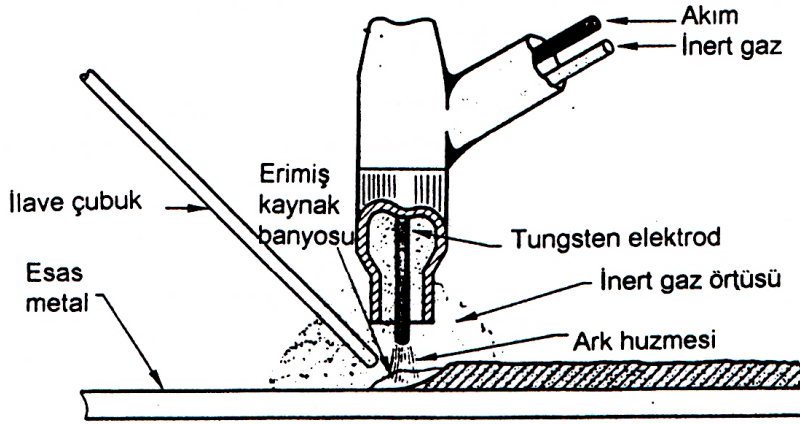
4.1. Tungsten İnert Gaz Kaynağı

TIG kaynağı, esas olarak bir ark kaynağı şeklindedir. Özellikle alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metallerin kaynağına uygundur. TIG kaynak yöntemi için elektrik akımı, su ve gazın her an sağlanması ve kontrol edilmesi gerektiğinden, bu yöntemde kullanılan ekipman, ark kaynağında kullanılanlara göre daha karmaşık ve pahalıdır. TIG kaynağı, elektrik ark kaynak yönteminin daha ileri bir aşamasıdır. Bu prosesin tam adında “Tungsten” kelimesi, arka elektrik akımını iletmeyi sağlayan, erimeyen elektrodu, “İnert” kelimesi, diğer elementlerle kimyasal olarak birleşmeyen bir gazı ve “Gaz” kelimesi de, erimiş banyo ve arkı örten, kaynak bölgesini çevreleyen havayı uzak tutan malzemeyi simgeler. Bu kaynak yöntemi, Heliarc veya Argonarc

olarak da anılmaktadır. TIG yöntemiyle, genellikle diğer kaynak yöntemleriyle oluşturulan kaynaklara göre daha üstün özellikte dikişler elde edilir.

TIG kaynağında ark, tungsten elektrod ile parça arasında serbestçe yanar. Koruyucu gaz, argon, helyum veya bunların karışımından oluşur. Enerji üreticinin bir kutbu tungsten elektroda diğeri parçaya bağlıdır. Ark, sadece bir elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısı olan tungsten elektrod (sürekli elektrod) ile parça arasında yanar. İlave malzeme, kural olarak akım yüklenmemiştir. Kaynak bölgesine yandan veya önden, ya elle sevk edilen çubuk veya ayrı bir sevk aparatından sevk edilen tel formundadır.

Tungsten elektrod ile erimiş banyo ve ilave metalin erimiş haldeki ucu, atmosferden, elektrodun bulunduğu bir koruyucu gaz memesinden elektrodla eş eksenli olarak beslenen bir inert koruyucu gaz ile korunur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. TIG kaynağının şematik gösterimi [11].

4.1.1. TIG Kaynağında Kullanılan Ekipman

TIG kaynağı için gerekli ekipman, içinden gaz geçen ve koruyucu gazı ark çevresine yönlendiren bir meme ile erimeyen bir tungsten elektrod içeren bir elektrod tutucusu veya torç, bir koruyucu gaz tüpü, bir basınç düşürme manometresi (basınç regülatörü) ve akış ölçer (debimetre), bir elektrik akımı üretici ve bazı makinelerde de bir soğutma suyu devresinden oluşur.

TIG kaynağında düşey statik karakteristikli kaynak makineleri kullanılır. TIG kaynağında hem alternatif hem de doğru akım ile yapılabilindiğinden, ya kaynak

transformatörleri ya da redresörleri kullanılır. Hem doğru hem de alternatif akım veren bileşik makineler de mevcuttur.

Düşey karakteristikli kaynak makinelerinde akım şiddeti, makine üzerinden başka bir karakteristik eğrisi seçilerek ayarlanır. Bu şekilde aynı ark boyunda ark gerilimi de bir miktar yükselmiş olur.

Modern transistörlü kaynak makinelerinde her bir uygulama için kademesiz ayarlama ve kaynak verilerini ön programlanması da mümkündür. Ayrıca akım impulsu olarak da ayarlanabilmektedir.

Bir TIG torcu, özel olarak tasarlanmış bir elektrod tutucusudur. Torç, çeşitli boyutlarda tungsten elektrodları kolaylıkla kullanabilecek tarzda imal edilmiş olup koruyucu gazın akışını yönlendirecek, değiştirilebilen bir gaz memesi ile donatılmıştır. Torçların bazıları hava soğutmalıdır ancak su soğutmalı torçlar daha yaygın şekilde kullanılmaktadır (Şekil A.1) [11].

TIG kaynağı ve ya plazma kaynağı için kullanılan sürekli elektrodlar TS EN 26848 'de standartlaştırılmıştır (Tablo A.1). Bu elektrodlar, genellikle silindirik çubuklar olup, tungsten metalinin yüksek erime sıcaklığı (3390 °C) nedeniyle sinterlenerek ve bağlayıcı ile birleştirilerek imal edilir. Eğrilikten mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır. Yuvarlak kesitli elektrodların haricinde, dikdörtgen kesitli elektrodlarda mevcuttur.

4.1.2. Akım Türü ve Kutuplama Şekli

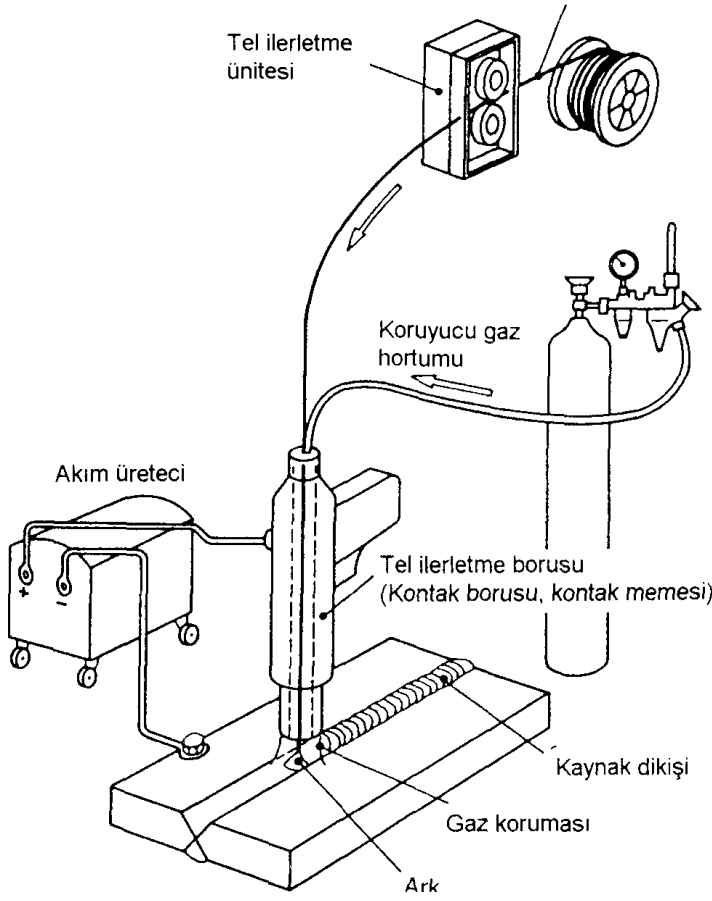
Kural olarak TIG kaynağında doğru akımla kaynak yapılır. Bunun bir istisnası alüminyum, magnezyum ve bunların alaşımları gibi hafif metaller ve ayrıca pirinç ve berilyum bakırı gibi bakır alaşımları alternatif akımla kaynak yapılır.

Negatif kutup soğuk kutuptur, bu nedenle kaynak sırasında tungsten elektrodun akım yüklenebilirliği ve dayanıklılığı pozitif kutuplanmasına göre negatif kutuplanması halinde çok daha yüksektir. Yüksek sıcaklıkta eriyen oksit tabakası içeren malzemelerde katı oksit tabakası, kaynak banyosunun akmasını ve damlaların üzerine düştüğü paso ile birleşmesini engeller. Yaklaşık 2050°C'lik erime sıcaklığıyla alüminyumoksit, eritme kaynağında çok zor parçalanın bu oksitlerden

biridir. TIG kaynağında bu tabakanın uzaklaştırılması, arktaki yük taşıyıcılarla sağlanır. Elektronlar katottan anoda doğru yer değiştirir ve burada çarpma sonucu ısı üretir. İyonlar ise ters yönde hareket eder. Ancak iyonların kinetik enerjisi, sadece elektrod anot ve parça da katot olduğunda kaynak banyosunun yüzeyi üzerine uygulanabilir. Fakat bu şekilde temizleme etkisi önemli oranda düşük olur, çünkü pozitif kutuplanmış elektrodun kuvvetli şekilde ısınması, akım şiddetini zayıflatır. Alternatif akımın kullanılması ile bu durumun iyi bir ortalaması elde edilir. Kutbun değişmesi, sırasıyla, elektrod pozitif kutup olduğundan oksit tabakasının parçalanmasına (katodik temizleme) ve elektrod negatif kutup olduğunda da tekrar soğumasına imkan verir.

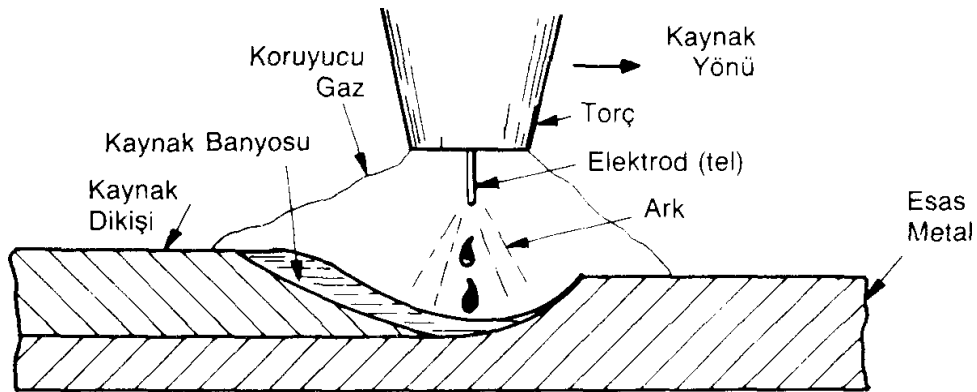
4.2. MIG-MAG Gaz Altı Ark Kaynak Yöntemi

Eriyen elektrod ile gaz altı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılabilir. MIG-MAG kaynağında ark, aynı zamanda ilave tel görevi yapan eriyen bir elektrod ile iş parçası arasında yanar. Koruyucu gaz ya argon, helyum gibi inert gaz ya bunların karışımı (MIG) veya aktif bir gazdır (MAG). Uçsuz elektrod bir tel iletme mekanizması yardımıyla bir tel makarasından akım kontak borusuna gelir. Serbest tel ucu nispeten kısadır, böylece ince elektroda yüksek akım şiddeti uygulanabilir. Kaynak makinesinin, kutuplarından biri elektroda diğeri de parçaya bağlanır, böylece ark, eriyen elektrod ile parça arasında yanar (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. MIG-MAG kaynağının prensip şeması [11].

Elektrod aynı anda hem enerji taşıyıcı ve hem de kaynak ilave metali görevi yapar. Koruyucu gaz elektrodun eşeksenli olarak bulunduğu bir memeden akar ve arkı, eriyen damaları ve arkın altındaki erimiş banyoyu atmosferin etkisinden korur (Şekil 4.3).

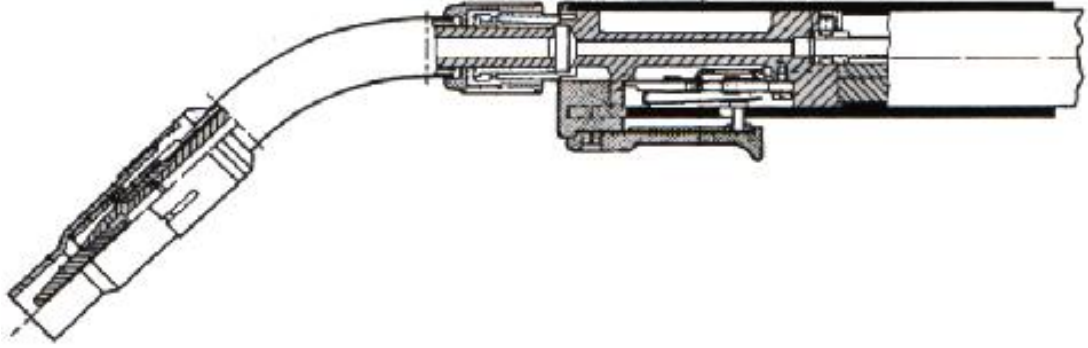


Şekil 4.3. MIG kaynak yönteminde ark bölgesi [12].

4.2.1. MIG-MAG Kaynak Donanımı

4.2.1.1. Kaynak Torçları

MIG-MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi, ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir (Şekil 4.4). MIG-MAG kaynak yönteminde tel elektrodu sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi bir kayar kontak ile sağlanır. Tel torcu terk etmeden biraz evvel bakır esaslı bir kontak lülesi içinden geçerken kaynak akımı ile yüklenir. Kontak lülesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunur ve bu lüle sayesinde koruyucu gaz akımı laminer olarak kaynak bölgesine sevk edilir.



Şekil 4.4. Hava soğutmalı torç kesitinin gösterimi [12].

Arkın sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gereklidir. Düşük akım şiddetlerinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğumayı yapabilmektedir. Kalın elektrodların, yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde ise su ile soğutma sistemi gerekmektedir.

Torcun ark sıcaklığından en fazla etkilenen parçaları gaz ve kontak lüleleridir. Kontak lülesi, sıcaklığın yanısıra hareket halindeki tele, kısa bir bölgede akımı ilettiğinden, yüksek bir akım şiddetinin ve kaynak banyosundan sıçrayan metal damlacıklarının etkisine de maruz kalmaktadır.

4.2.1.2. Torç Bağlantı Paketi

Torç kaynak makinesine, içinden tel elektrod kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın hortum ile irtibatlandırılmıştır. Bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı verilir.

4.2.1.3. Tel Sürme Tertibatı

Tel elektrod sürme tertibatı, teli makaradan çekip, önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir [11].

4.2.1.4. Kumanda Tertibatı

Gerekli ayarlar makinenin ana şalteri kapatılarak çalışmaya hazır hale gelince, kaynağa başlamak için yarı otomatik MIG-MAG makinelerinde torç üzerindeki düğmeye basmak yeterlidir. Bu anda önceden ayarlanmış debide koruyucu gaz akımı başlar ve kısa bir süre sonra ark oluşur. Ark oluşuktan sonra kısa bir süre sonra da tel sürme tertibatı devreye girer. Kaynağa son verilmesi halinde ise bu sıralamanın tersi olur.

4.2.1.5. MIG – MAG Kaynağı Akım Üreteçleri

MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiktir. Sabit gerilim diye de adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün olmadığı gibi aynı zamanda zararlıdır. Zira böyle bir üreteçte elektrod iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir ve buda elektrod ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur. Bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100 Amper için en fazla 7 Volt kadar ark gerilimi düşümüne müsaade edilir [13].

Bu tip kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye isimlendirilen ark boyu ayarı vardır. Üreteçlerde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti

ayarlanır. Bu tür makinelerde tel iletme motoru, seçilmiş bir devirde döner yani diğer bir deyimle tel hızı sabittir.

Kaynak esansında herhangi bir nedenle ark boyu uzadığı zaman akım şiddeti büyük miktarda azalır. Buna bağlı olarak da eriyen tel miktarı azaldığından ark normal boyuna döner. Aksi halde, yani ark boyunun kısılması halinde ise akım şiddeti süratle artar ve eriyen tel miktarı da buna bağlı olarak artacağından neticede ark boyu normale döner. Ark boyu kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır.

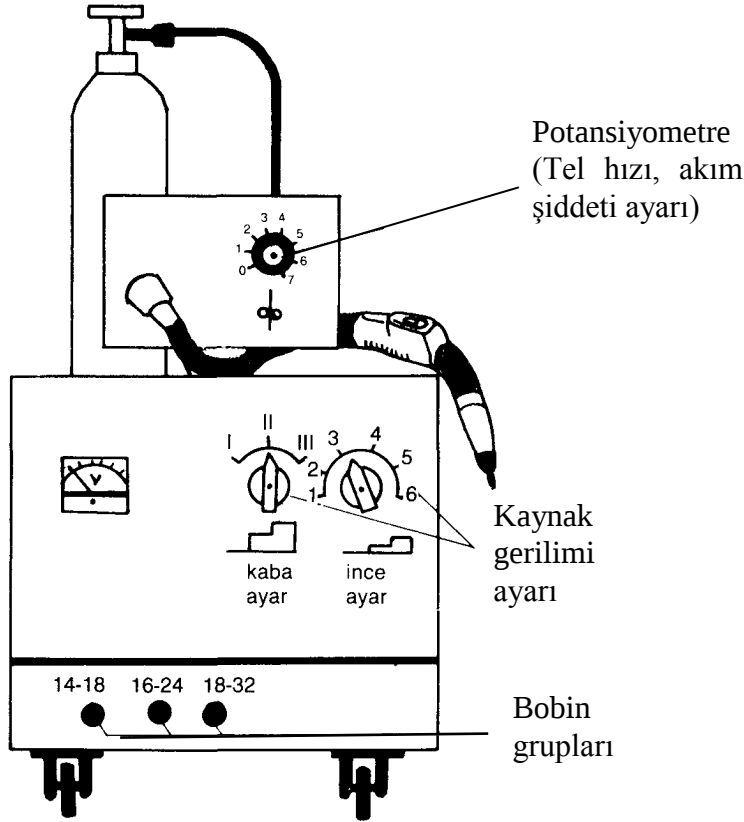
Günümüzde MIG-MAG kaynağında kullanılmak üzere genelde iki tür kaynak akım üretici imal edilmektedir.

Birinci tür, şantiyelerde, elektrik akımının bulunmadığı yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş, dizel veya benzin motoru tarafından tahrik edilen jeneratörlerdir. Bunlar genellikle gerektiğinde yatay ve gerektiğinde düşey karakteristik ile çalışabilecek tarzda dizayn edilirler ve bu şekilde bilhassa boru hattı borularının kaynağında hem örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı ve hem de MIG-MAG yönteminde kullanılabilir. Bu özellik bilhassa boru hattı borularının kaynaklarında büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

Atölyelerde kullanılan akım üreteçleri ise bir transformatör ve bir redresörden oluşmuş paket cihazlardır. Günümüzde artık elektrik motoru ile tahrik edilen jeneratörlerin imali yok denecek kadar azalmıştır. Normal şebekeye bağlanan bu cihazların monofaz ve trifaz akım ile çalışanları vardır. Trifaz akım ile çalışan üreteçler gerek daha kararlı bir kaynak arkı oluşturmaları ve gerekse de şebekeyi dengeli bir şekilde yüklemeleri nedeni ile tercih edilirler.

MIG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilimi gelir. Sabit gerilimli veya diğer bir deyimle yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilir. Kaynak akım gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanabilir. Kaynak akım şiddeti ise MIG kaynak üreticilerinde tel iletme düğmesinden ayarlanır. Genel olarak

standart akım üreticilerinde 3 kaba ayar ve 5 adet de ince ayar vardır. Bu da toplam 15 kademede gerilim ayar olanağı sağlar (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. MIG-MAG akım üreticisinin şematik gösterimi [13].

Eriyen elektrod ile gaz altı ark kaynağında doğru akım ve yatay karakteristikli kaynak akım üreticileri kullanılır. Bilinen diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akım kullanılması halinde elektrod pozitif veya negatif kutba bağlanabilir.

4.2.1.6. Koruyucu Gaz Tüpleri

MIG – MAG kaynağı için gerekli koruyucu gaz basınçlı tüplerden elde edilmektedir. Asal gaz tüpü olarak, oksijen için üretilmişlerin benzeri 40 litre hacimli 150 Atü'lük tüpler kullanılmaktadır. CO₂ tüpleri içinde gaz sıvı haldedir ve bu bakımdan gaz tüpleri içerdikleri sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 ve 30 Kg'lık olmak üzere sınıflandırılırlar. 1 Kg. sıvı CO₂ teknik olarak 540 litre koruyucu gaz oluşturur. Tüp ağızlarına gaz basınç ayar ventili takılır. Bunun üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini gösterir (Şekil 4.6).

4.2.2.2. Orta (Ara) Ark Bölgesi

Güç 250 Amper seviyesine çıkarıldığında, telin ilerlemesi artsa bile kısa devre frekansı sona erer. Bu durumda damla büyüklüğü kararsızlaşır ve ince ve iri damlalar karışık hale gelir. Her türlü koruyucu gaz için, sıçrama oluşumunu gösteren düzensiz kısa devreler oluşur.

4.2.2.3. Sprey Ark Sınır Bölgesi

Belirli bir akım şiddeti ve ark geriliminin üzerindeki uygulamalarda Pinch-Effekt çok şiddetlenir, elektrodun ucu sivrileşir ve uzar, damlacıklar oluşur oluşmaz elektrotdan ayrılarak iş parçasına geçer. Saniyede yüzlerce damlacığın oluşup iş parçasına ark tarafından taşındığı bu hale sprej arkla taşınım veya sprej ark denir.

4.2.2.4. Uzun Ark Bölgesi

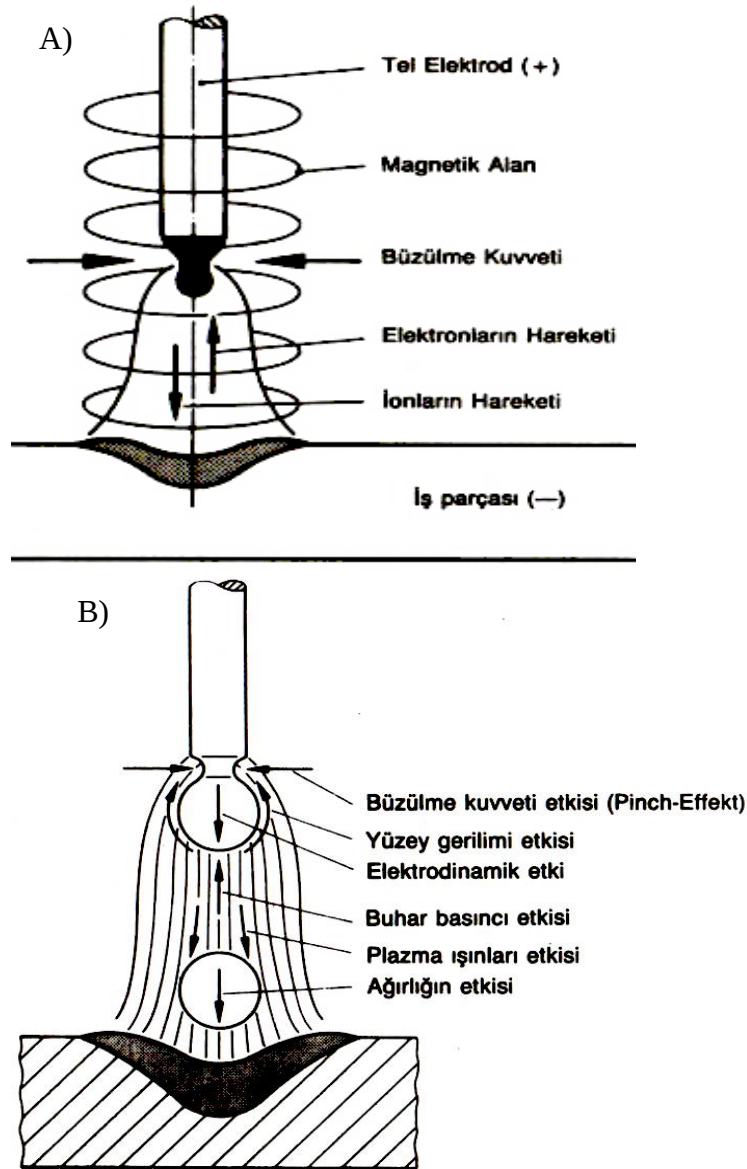
Kısa devresiz uzun ark elde etmek için, 1,2 mm tel çapına yaklaşık 500 amperlik akım uygulanması gerekmektedir. Bu derece yüksek güç, kural olarak kaynak yaparken kullanılmaz. CO₂ koruyucu gaz altındaki kaynakta her zaman kısa devreler oluşur ve dolayısıyla sıçramalar ile karşılaşılır.

4.2.2.5. İmpuls Ark Bölgesi

İmpuls arkta, malzeme geçişi daima kısa devresizdir. Böylece toplam çalışma bölgesinde sıçrama davranışı hemen hemen hiç görülmez.

4.2.2.6. Pinch –Effekt

Arkta bir tür elektrik iletkeni olduğundan etrafında bir manyetik alan oluşur. Akı yoğunluğu yükseldikçe radyal büzölme kuvveti oluşturan manyetik alanın şiddeti artar. Bu olaya Pinch-Effekt adı verilir. Arkın bu kısımlarında bilhassa elektrod ucunda akım yoğunluğu fazla olduğundan büzölme kuvveti de en şiddetli bu kısımda oluşur ve damla oluşumunu kolaylaştırır. Radyal büzölme kuvvetinin büyük olduğu kısımdan bu kuvvetin daha zayıf olduğu kısma doğru bir aksiyal kuvvet oluşur ve bu da damlanın elektrod ucunda ayrılmasına ve kaynak ağzına taşınmasına yardımcı olur (Şekil 4.7) [12].



Şekil 4.7. A) Elektrodun ucunda damla oluşumu, B) Elektrodun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri [12].

Argonun koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oldukça geniş bir ark sütunu ortaya çıkar ve ark sütunu elektrod ucunda kapanarak daralır. Ark sıcaklığında elektrod ucunun, Pinch-Effekt ve sıvı metalin yüzey gerilimi ters yönde etkir, damla irileşir elektrotdan ayrılır ve ark tarafından iş parçasına taşınır.

5. MIG – MAG GAZ ALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

5.1. Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler

5.1.1. Elektrod Çapı

Her tür elektrod bileşimi için çapa bağlı olarak bir akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabildiklerinden daha yüksek bir erime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluştururlar. Erime gücü akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur eş çaplı iki elektrod farklı akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddeti ile yüklenende, akım yoğunluğu büyük olduğundan, daha yüksek bir erime gücü elde edilir. Dikişin nüfuziyeti de, akım yoğunluğuna bağlıdır, aynı akım şiddetinde, küçük çaplı elektrodla daha derin nüfuziyetli dikişler elde edilir. Büyük çaplı elektrod kullanılması halinde ise kaynak dikişi daha büyük olur [13].

Kullanılacak olan kaynak elektrodunun çapının seçiminde kaynatılan parçanın kalınlığı, nüfuziyet derecesi, erime gücü, arzu edilen kaynak dikişi profili, kaynak pozisyonu ve elektrodların fiyatı göz önünde bulundurulur. Küçük çaplı elektrodlar ağırlık ölçüsünde daha pahalıdır. Her uygulama için kaynak maliyetini asgariye indiren bir elektrod bulmak mümkündür.

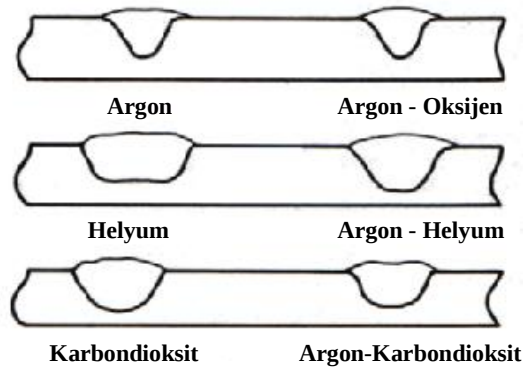
5.2. Koruyucu Gaz Türü

Gaz altı kaynağında çeşitli türlerde gazlar kullanılır ve her gazın oluşturduğu erime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyeti birbirlerinden farklıdır. Koruyucu gaz türünün aynı zamanda kaynak esnasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arktaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır [12].

Demir esaslı metallerin kaynağında saf karbondioksit ile, argon-karbondioksit ve argon-oksijen karışımları kullanılır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddeti için en büyük erime gücü, en derin nüfuziyet, en geniş ve en konveks kaynak dikişi elde edilir. Karbondioksit en ucuz koruyucu gaz olmasına karşın en fazla sıçrama kaybı ve en fazla duman oluşturan gazdır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oluşan yüksek ısı girdisi dolayısıyla aynı akım şiddeti için daha yüksek hızlarda kaynak yapmak mümkün olabilmektedir.

Argon ve argon-oksijen karışımı gazlar, kaynak esnasında karbondioksitin tam bir karşıtı özellik gösterirler. Bu gazlar ile en düşük erime gücü, en az nüfuziyet, en dar ve en az yüksek kaynak dikişi elde edilir. Argon-oksijen karışımı gazlar aynı zamanda en az duman ve en az sıçrama oluşturan bir kaynak işlemi sağlarlar. Argon-karbondioksit karışımı gazlar ise karbondioksit ve argon-oksijen karışımı arasında bir özellik gösterirler.

Demir dışı metallerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, argon, helyum ve argon-helyum karışımlarıdır. Bu gazlardan argon en az nüfuziyeti ve en düşük erime gücünü, en dar dikişi veren gazdır. Helyum ve argon-helyum karışımlarına nazaran daha ucuz olan argon aynı zamanda en az sıçrama oluşturan gazdır. Helyum en derin nüfuziyeti, daha yüksek bir erime gücü, geniş ve konveks bir kaynak dikişi oluşumunu sağlar. Helyumun kullanılması halinde aynı ark boyu için ark gerilimi daha yüksektir. Argon-helyum karışımları karışım oranına bağlı olarak bu ikisi arasında bir karakteristik gösterirler (Şekil 5.1).

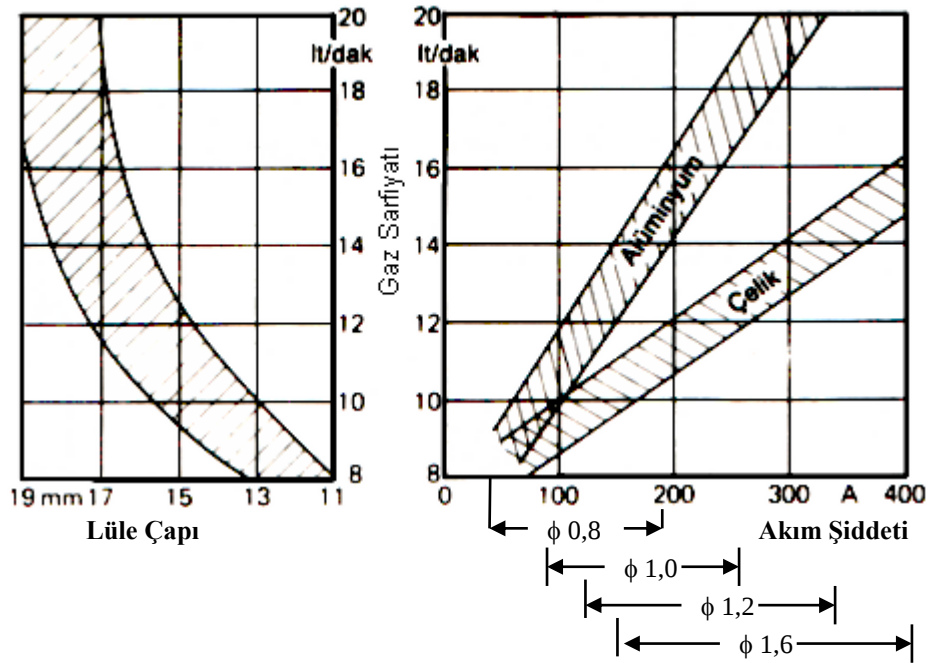


Şekil 5.1. Çeşitli koruyucu gaz türlerinden elde edilen kaynak dikişi profilinin şematik gösterimi [12].

5.3. Birinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

5.3.1. Kaynak Akım Şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin erime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetlidir. Sabit gerilim sistemli olan MIG-MAG kaynak makinelerinde, kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraberce, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır, tel iletme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artar. Kaynak akım şiddeti yükseldikçe erime gücü de artar. Artan akım şiddeti ile erime gücü arasındaki bağıntı doğrusal değildir. Yüksek akım yoğunluklarında erime gücü daha şiddetli artmaktadır. Bu husus serbest tel ucunda, telin yüksek akım şiddetlerinde ortaya çıkan şiddetli bir elektrik direnci nedeniyle ısınmasına bağlanmaktadır. Bütün diğer kaynak parametreleri sabit tutulduğu zaman artan akım şiddeti ile kaynak dikişinin eninin yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının arttığı görülür. Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete neden olduğundan delinmelerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Çok düşük akım şiddeti de çok kötü bir nüfuziyete ve elektrod metalinin parçanın üzerine yığılmasına neden olur.

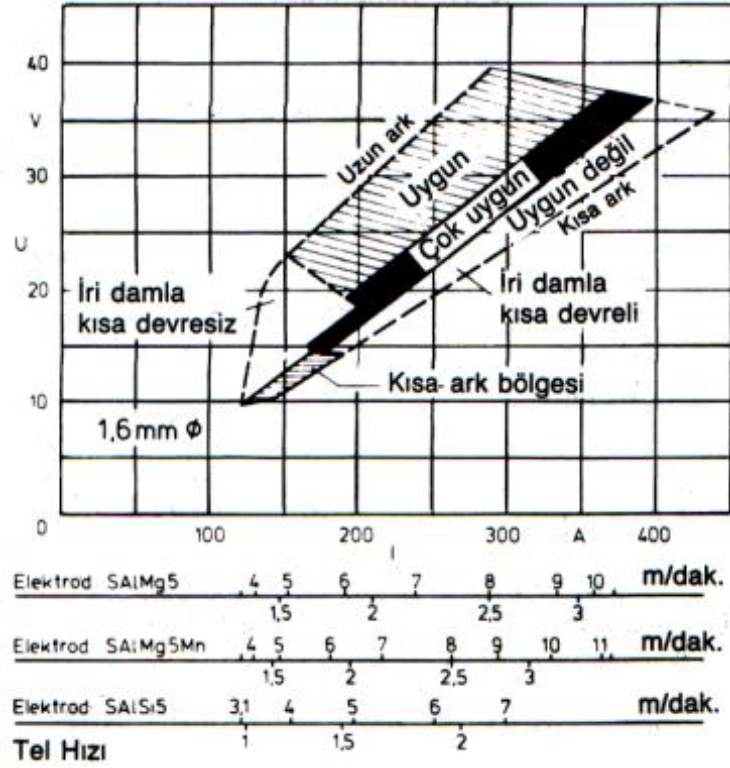


Şekil 5.2. MIG-MAG kaynağında gaz sarfiyatı tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı [12].

5.3.2. Ark Boyu (Kaynak Gerilimi)

Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üreticisinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir. Sabit gerilim karakteristikli kaynak akım üreticilerinde ark gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı tiplerde ise potansiyometre ile kademeli olarak ayarlanır. Zira bu tür akım üreticilerinde, her ark gerilimi değeri için makine tarafından sabit olarak tutulan bir ark boyu vardır. Sabit akım karakteristikli makinelerde (örtülü elektrod ile ark kaynağı, TIG) ise ark boyunu kaynakçı ayarlamak zorundadır. Bir uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrod çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve esas metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanır. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren sabit bir ark boyu mevcut değildir. Örneğin, ark boyu, aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması haline nazaran çok daha uzundur. Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşulu ile ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır. Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artar ve bu değerden sonra azalmaya başlar. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısıyla bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı şişkin (konveks) kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı derecede küçük ark gerilimi ise gözenek oluşumuna neden olur (Şekil B.1) [12].

Uygun bir çalışma noktası, arkın sakin ve karalı bir şekilde yanışı ile kendini belli eder. MIG–MAG kaynak akım üreticisinde sabit gerilim karakteristik ayar imkanı ne kadar fazla olursa uygun çalışma noktasının saptanması da o kadar kolay olur. Genel olarak standart akım üreticilerinde 3 kaba ayar ve 5 adet ince ayar vardır, bu da toplam 15 kademedeki gerilim ayar olanağı sağlar.



Şekil 5.3. Alüminyum MIG kaynağında çalışma bölgeleri [12].
 Esas malzeme: AlZnMg1, AlMg3, AlMg5, AlMgSi1
 Koruyucu gaz: Argon (%99,9)
 Serbest tel uzunluğu: 23 mm

5.3.3. Kaynak Hızı

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi veya birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da kaynak banyosunun büyümesine neden olur ve çok akışkan hale gelen sıvı metal ağız içerisinde arkın önüne doğru akar ve bu da nüfuziyetin azalmasına neden olur. Sonuç olarak geniş bir kaynak dikişi elde edilir.

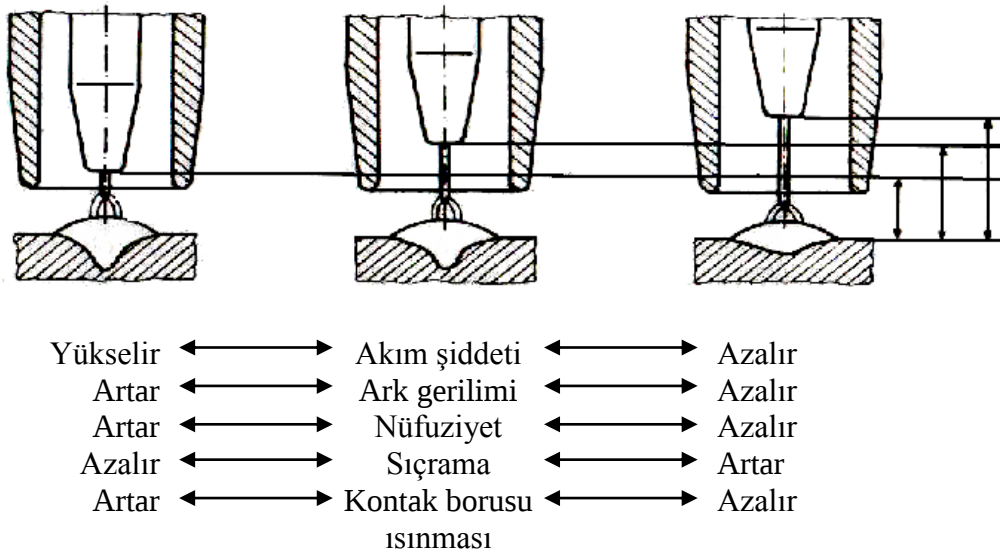
Kaynak hızının artması, dikiş yüksekliğinin artmasına neden olur. Aşırı derecede yavaş kaynak hızı, fazla miktarda kaynak metalinin yığılması ve nüfuziyetin azlığı nedeni ile ağız kenarlarında kalan bölge oluşmasına neden olur. Hızın artması birim boya verilen ısıнын azalmasına ve dolayısıyla da esas metalin eriyen miktarlarının azalmasına neden olur ve bu da nüfuziyeti azaltır.

Kanyak hızının aşırı artması, kaynak metalinin kaynak ağzını doldurmaması nedeni ile dikiş kenarlarında yanma oluklarını andıran yanıkların oluşmasına neden olur [13].

5.4. İkinci Derecede Ayarlanabilir Parametreler

5.4.1. Serbest Tel Uzunluğu

Elektrod serbest tel uzunluğu, torç içindeki kontak borusunun en uç noktası ile tel elektrodun uç kısmı arasındaki mesafe olarak tarif edilir. Bu boyun uzaması sonucu elektrodun elektrik direnci artar ve elektrodun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükselir ve dolayısıyla da elektrodun uç noktasını eritebilmek için gerekli akım şiddetinde azalma ortaya çıkar. Serbest tel uzunluğunun artması erime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur. Sonuç olarak serbest tel uzunluğunun aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta) kaynak dikişine yığılmasına neden olur. Genel olarak serbest tel uzunluğu, kaynak ağzında, kısa bir bölgede kök açıklığının değiştiği hallerde, dikişi kompanse edebilmek gayesi ile kullanılır.



Şekil 5.4. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi [13].

5.4.2. Torç Açısı

Kaynak elektrodunun veya torcunun iş parçasına göre konumu ve kaynak esnasındaki hareketi kaynak dikişinin formunu etkileyen etmenlerden bir tanesidir. Kaynak doğrultusuna dik düzleme çalışma düzlemi ve bu düzlem üzerinde torcun iz düşümü ile kaynak yapılan parçanın üst yüzü arasındaki açıya çalışma açısı denir.

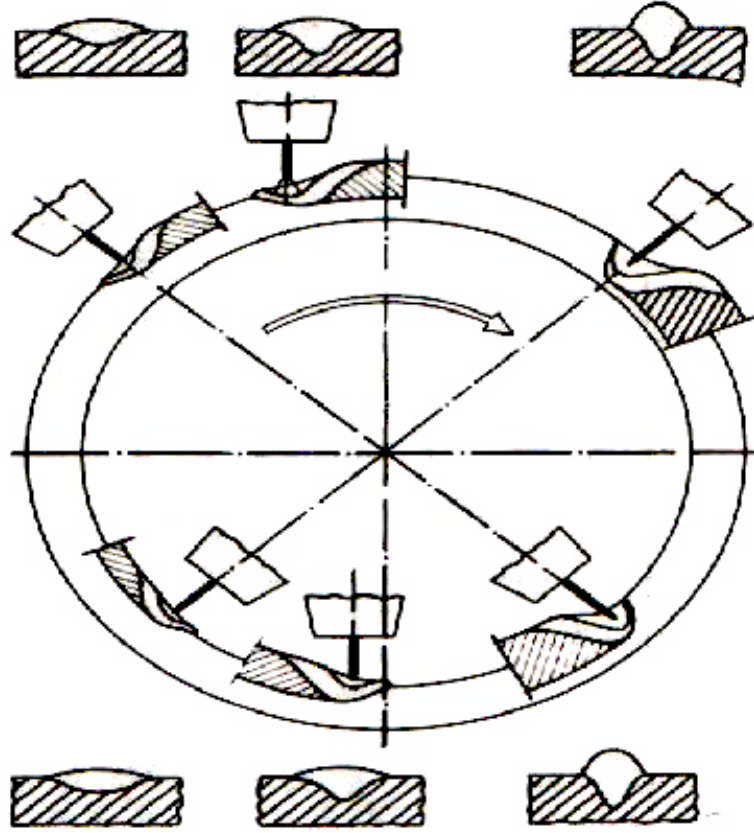
Kaynak doğrultusu ve elektrotdan geçen düzleme de hareket düzlemi adı verilir. Elektrodun bu düzlemde bulunan ve kaynak doğrultusuna dik olan çizgi ile yaptığı açı hareket açısı diye tanımlanır ve elektrodun ucu kaynak yönünde olursa bu açı negatif, aksi yönde olursa pozitif olarak gösterilir [12].

MIG-MAG kaynağında da, aynen oksiasetilen kaynağında olduğu gibi sola ve sağa kaynak yöntemi uygulanabilir. Torcun kaynak yapılan iş parçasına tam dik olarak tutulması halinde sağ veya sol kaynak arasında sonuç yönünden bir fark görülemez, buna karşın kaynak hamlacı 30°'ye kadar bir hareket açısı ile tutulduğu zaman sol ve sağ kaynağın dikiş biçimi üzerine olan etkisi açık bir şekilde görülür. Hareket açısı 30°'yi aşmadığı sürece, bu açı, kaynağın, kaynakçı tarafından kontrolüne yardımcı olur. Kaynakçı kaynak banyosunu ve elektrod ucunun erimesini rahatlıkla görebildiği için dikişin kalitesi yükselir. Buna karşın bu değer aşıldığında nüfuziyet azalır ve dikiş incelir. Bu durumda kaynak hızının artırılması gerekir, aksi halde sıvı metal kaynak banyosunun önüne doğru ilerler ve dikişte gözenek ve kalıntı oluşumu olasılığı artar. Eğimin fazlaşması diğer yönden koruyucu gaz akımını da etkilediği için gazın koruma etkinliği azalır.

Sağa kaynak pozitif hareket açısı ile daha dar, daha yüksek ve daha derin nüfuziyetli dikiş elde edilir, ark daha stabildir ve sıçrama daha azdır. Sağa kaynak daha ziyade çeliklerin kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. Sola kaynak (hareket açısı negatif) ise kontaminasyona mani olmak ve esas metale intikal eden ısı miktarını azaltmak gayesi ile alüminyumun kaynağında tercih edilen bir yöntemdir.

MIG-MAG yönteminde kaynak dikişinin biçimine, kaynak dikişinin yataya nazaran konumu da büyük ölçüde etkiler, zira kaynak esnasında banyo sıvı haldedir, ve kaynak ağzı içinde yer çekiminin etkisi ile eğim doğrultusunda akmak ister. Bu olayın etkisi en belirgin bir biçimde büyük çaplı bir boru biçiminde bir yapının çevre

kaynağının, torç sabit tutulup parçanın eksenine etrafında döndürülerek gerçekleştirilmesinde görülür (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Kaynak yönünün eğimine göre dikiş biçiminin değişimi [12].

Burada torcun dönen parçaya göre konumuna göre dikişin biçimi değişir. Genel bir kural olarak kaynak doğrultusunun eğimi yukarı doğru arttıkça dikiş daralır, nüfuziyeti ve yüksekliği artar. Aksi halde meyil aşağı doğru olduğu zaman dikişin genişliği artar, nüfuziyeti ve yüksekliği azalır.

6. KAYNAK HATALARI

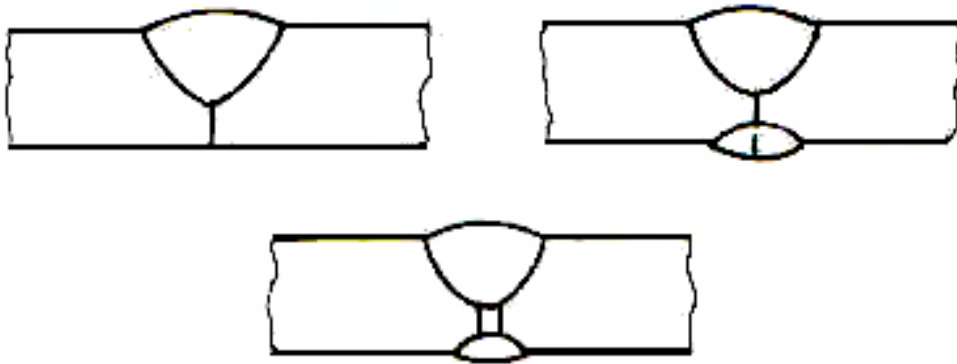
6.1. Nüfuziyet Azlığı

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

- Birleştirme yerinin geometrisine uygun bir elektrod çapının seçilmemesi,
- Akım şiddetinin uygun seçilmemesi,
- Uygun bir kaynak ağzının açılmaması,
- Kök pasosunun kötü çekilmesi.

Nüfuziyet azlığı hatasının oluşmaması için alın birleştirmelerde ağızların titizlikle hazırlanması ve iki parça arasında uygun bir aralığın bırakılması gerekmektedir.

Nüfuziyet azlığının neden olduğu hataların giderilmemeleri halinde, özellikle dikişin yorulma dayanımı ciddi bir şekilde düşer ve dikiş bükülmeye zorlandığında dipteki oyuk ve çentikler kırılma eğilimini artırır.



Şekil 6.1. Nüfuziyet azlığının şematik gösterimi [12].

6.2. Birleştirme Azlığı (Yetersiz Erime)

Kaynak metali ile esas metal veya üst üste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen kısımların bulunması sonucunda bu hata ortaya çıkar. Birleşme azlığına genellikle cüruf, oksit, kav veya diğer demir olmayan yabancı maddelerin varlığı neden olur. Bu maddeler, esas metal veya ilave metalin tamamen erimesine engel olduğundan yetersiz bir birleşme ortaya çıkar (şekil C.1) [13].

Bu hatanın oluşmasının kaynak anında önlenebilmesi için, uygun akım şiddeti ve kısa ark boyu ile çalışmak çok önemlidir. Fazla düşük akım şiddeti yetersiz bir birleşme oluştırmakta; buna karşın, çok yüksek akım şiddeti de elektrodun çabuk erimesi dolayısıyla aynı olaya neden olabilmektedir.

Kaynak kesitindeki birleşme azlığı, hem statik ve hem de dinamik zorlamalarda bağlantının dayanımını büyük ölçüde düşürür. Bu hatayı gidermek için kaynak dikişinin hatalı kısımlarının tamamen sökülüp yeniden kaynak edilmesi gereklidir.

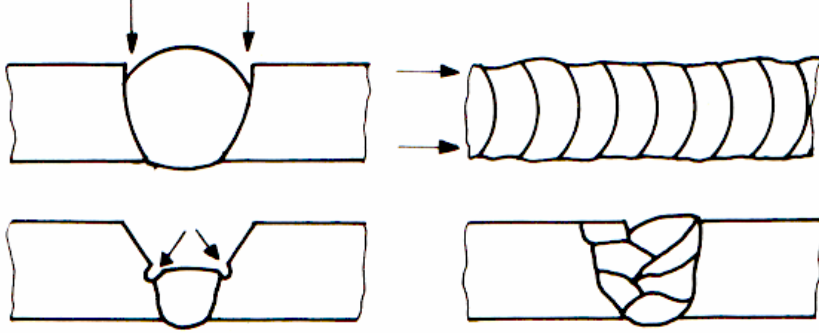
6.3. Yanma Olukları veya Çentikleri

Bu hata, kaynaktan sonra esas malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde gözükür (şekil 6.2). Oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder. Bütün ark kaynak yöntemlerinde karşılaşılan yanma oluklarının esas nedenleri kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi ve hatalı torç manipulasyonlarıdır. Yanma olukları kaynak dikiş kesitini zayıflattıklarından ve kertik etkisi yaptıklarından özellikle dinamik zorlamalara maruz bağlantılarda istenmezler. Yanma nedeniyle oluşabilecek çentik veya oluklar (iyice temizlendikten sonra) yeni bir paso kaynak ile doldurularak tamir edilebilirler.

Yanma oluklarının oluşma nedenleri şunlardır;

- Akım şiddetinin yüksek seçilmesi,
- Kaynakçının aşırı hızla çalışması,
- Elektrodun fazla zikzak hareketler yapması,

- Kaynak anında elektrodun yanlış bir açıyla tutulması,
- Esas metalin aşırı derecede paslı olması.



Şekil 6.2. Yanma oluklarının şematik gösterimi [13].

6.4. Kalıntılar

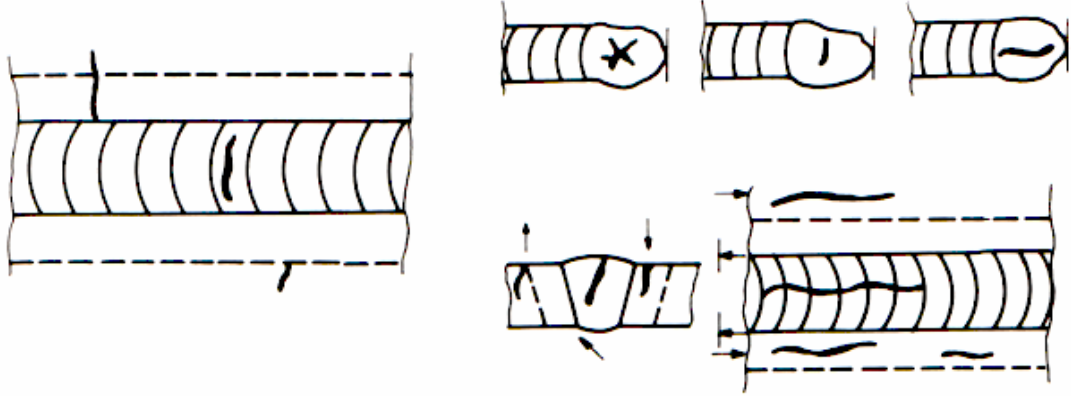
Eriyen elektrod ile gaz altı kaynağında iki tür kalıntı ile karşılaşılır; bunlar cüruf ve oksit kalıntılarıdır. Kalıntılar gerek kaynak kesitini zayıflattıkları ve gerekse de çatlak başlangıcına neden oldukları için arzu edilmezler.

Alüminyum, magnezyum ve alaşımları ile paslanmaz çeliklerin kaynağında, özellikle kaynak hızının yüksek seçilmesi halinde, esas metalin yüzeyini kaplayan oksit tabakası banyo içinde hapsolür ve dikiş içinde oksit kalıntıları da bağlantının zayıflamasına neden olur. Bu olaya kaynak hızının azaltıp ark gerilimini yükselterek mani olunabilir.

6.5. Kaynak Metalinde ve Esas Metalde Oluşan Çatlaklar

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

düzgün olmayan kaynak ağızlarında görülen nüfuziyet azlığı, kötü birleşme veya cüruf kalıntıları gibi hatalar zamanla kılcal çatlaklar oluşmasına neden olur (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Çeşitli tip çatlaklar [12].

Kaynaklı bağlantılarda karşılaşılan çatlaklar kaynak metalinde ve esas metalde oluşanlar olmak üzere yer bakımından iki ana gruba ayrılır. Kaynak metalinde görülen çatlaklar, şekil bakımından enlemesine, boylamasına ve krater çatlakları diye sınıflandırılabilir.

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

Esas metalde oluşan çatlaklara kaynaktan sonra ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesi neden olmaktadır. Esas metalin bileşimi, soğuma hızı ve çekme gerilmeleri bu tür çatlakların başlıca nedenleridir.

Soğuma hızı, esas metalde oluşan çatlakların en şiddetli nedenlerinden birisidir. Soğuma hızı, parça kalınlığına, kaynak anında parçaya uygulanan ısı girdisine ve parçanın sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Kaynak dikişi tamamen katılaştıktan sonra ortaya çıkan soğuk çatlakların oluşumuna hidrojen gevrekliği, aşırı zorlanma ve çabuk soğuma neden olur.

6.6. Gözenekler

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

Eriyen elektrod ile gaz altı kaynak yönteminde en sık karşılaşılan kaynak hatası gözeneklerdir. Gaz kabarcığı denilen tek tek yuvarlak veya gaz kanalı diye adlandırılan boşluklar halinde dikiş içinde yer alırlar (Şekil C.2). Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından dayanım değerlerini düşürür ve aynı zamanda yerel gerilme birikmelerine neden olur.

6.6.1. Azot Nedeniyle Gözenek Oluşumu

Azot nedeniyle gözenek, daha çok kaynak makinesinde kaynakçının yanlış çalışma tekniğiyle çalışmasından meydana gelmektedir. Kaynak şartları, sıvı kaynak banyosunun azotu absorbe etme kabiliyeti ve dolayısıyla gözenek oluşurması üzerine büyük etkisi vardır [10].

Kaynak hızı da gözenek oluşumuna büyük bir etki yapar. Yüksek kaynak hızlarında gözenek eğilimi azalır. Azotun absorpsiyonu aslında kaynak akımından veya kaynak hızından bağımsızdır, ancak bu iki değerin yüksekliği, kaynak banyosu içinde, azot içeriği düşük olan esas metal eriyen miktarının büyümesine yol açar. Dolayısıyla kaynak banyosu içindeki azot konsantrasyonu ve buna bağılı olarak gözenek oluşma eğilimi düşer.

Aynı sebeple derin nüfuziyet oluşturacak şekilde yapılan çok pasolu teknikte azot içeriği düşük koruyucu gaz kullanılması halinde gözenek oluşturma eğilim yine düşer. Bu teknikte, önceki pasolar yüksek azot içerse bile sonraki paso etkisiyle yeniden eridiğinden gaz çıkışı sağlanır.

Paso sayısının artması, azot içeriğini de düşürür. En üst pasoda gözenek oluşumu tehlikesi ortaya çıksa da, koruyucu gazdaki azot içeriği %3 'ten az olduğunda bu tehlike ortadan kaldırılır.

Koruyucu gazın havanın azotundan korunmasının sağlanması torcun girdapsız bir akış sağlaması da önemlidir.

Torcun konstrüksiyonu, gaz memesine sıçramalardan düzenli olarak temizlenmesi, gaz akışının düzgün olmasını sağlar. Koruyucu gaz akışının girdaplı olması, kontak borusunun gaz memesi içinde eksantrik olmasından dolayı olabilir.

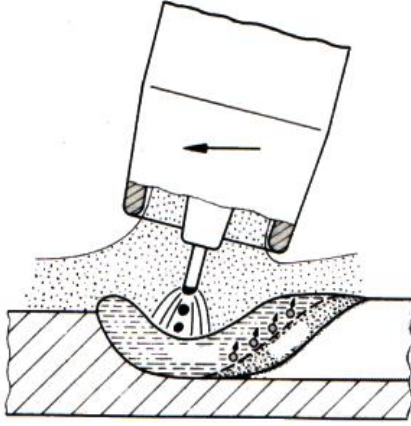
6.6.2. Hidrojen Nedeniyle Gözenek Oluşumu

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

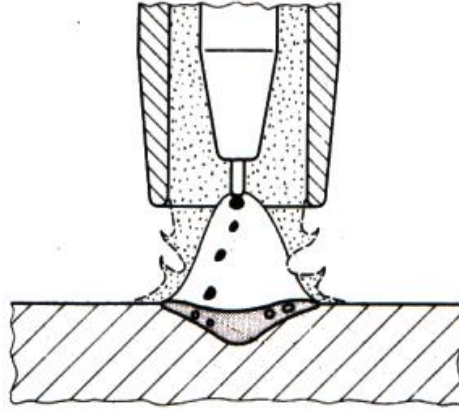
6.6.3. Karbonmonoksit Nedeniyle Gözenek Oluşumu

Tel elektrodun kimyasal bileşimindeki silisyum ve mangan gibi deoksidasyon elemanları, CO-gözeneğinden kaçınmak için önemlidir. Artan ark gerilimiyle deoksidasyon elemanlarının büyük bir orandan kaybolmasına, gözenek oluşumuna neden olur.

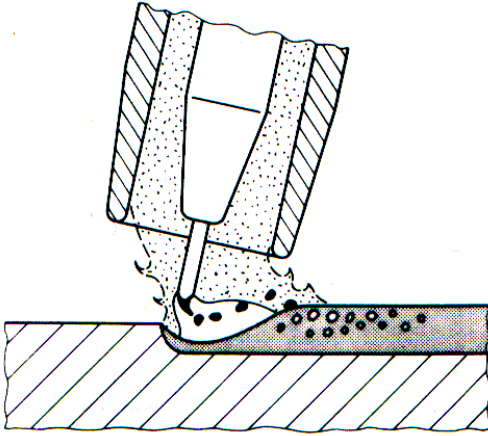
Gözenek oluşumu yukarıda bahsedilen sebepler gibi bir çok nedenle ilgilidir. Hatalı kaynak parametreleri, ortam koşulları ve kaynak işlemi süresince meydana gelen etmenler nedeniyle gözenekler oluşabilmektedir (Şekil 6.4, Şekil 6.5) [12].



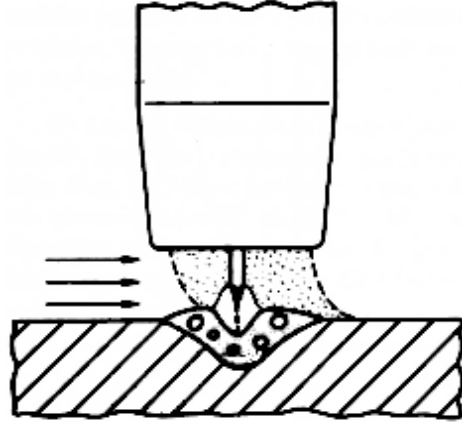
Kaynak banyosunda gözenek oluşumu



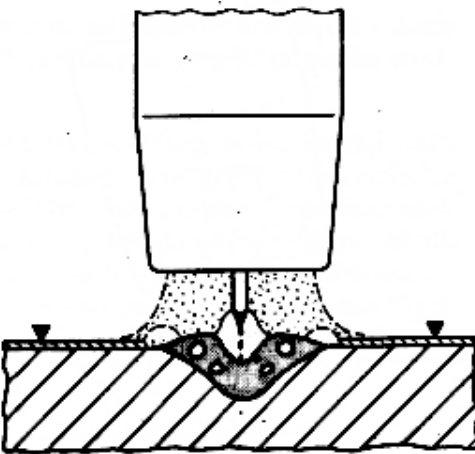
Uygun olamayan gaz tel kombinasyonu



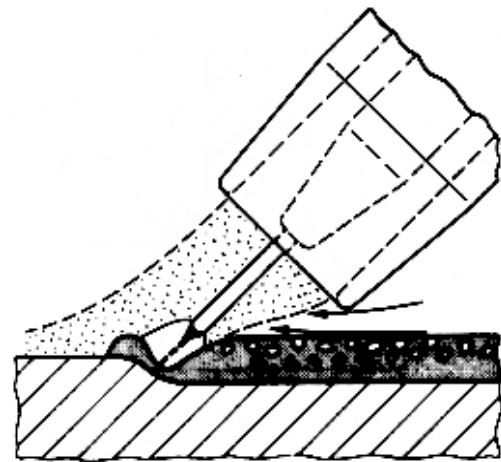
Ark üflemesinin neden olduğu gözenekler



Hava akımının neden olduğu gözenekler

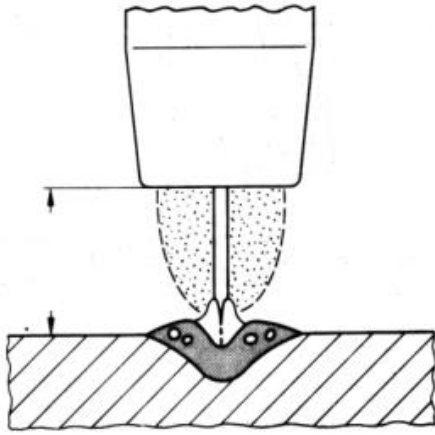


Parça yüzeyindeki kir ve yağın neden olduğu gözenekler

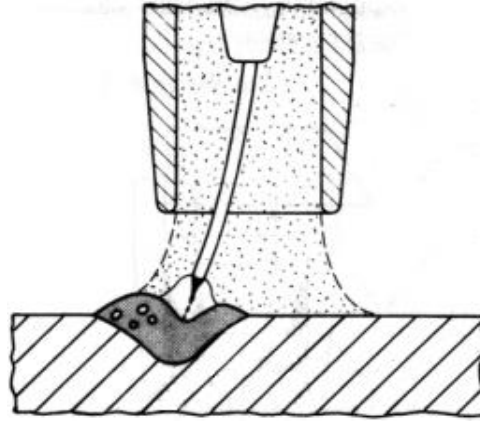


Torcun fazla eğik tutulmasının neden olduğu gözenekler

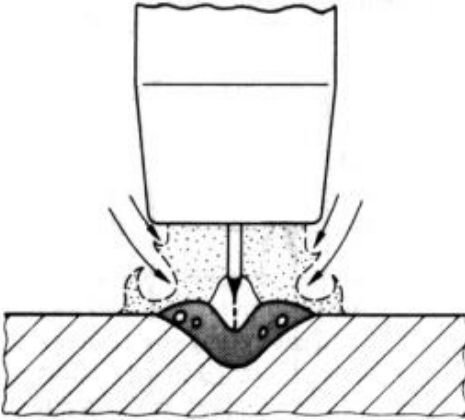
Şekil 6.4. Ortam koşullarının ve yanlış kaynak parametrelerinin neden olduğu gözenekler [12].



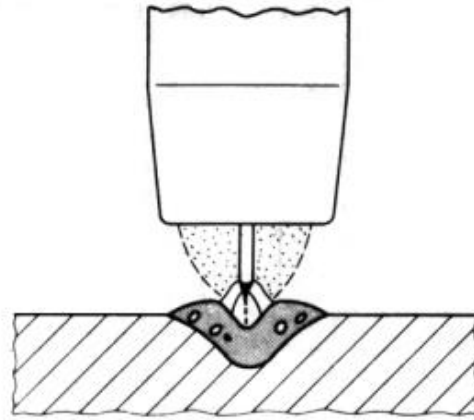
Uzun serbest tel boyunun neden olduğu gözenekler



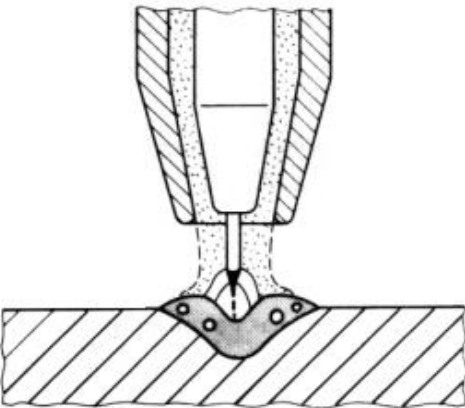
Serbest tel uzunluğu fazla



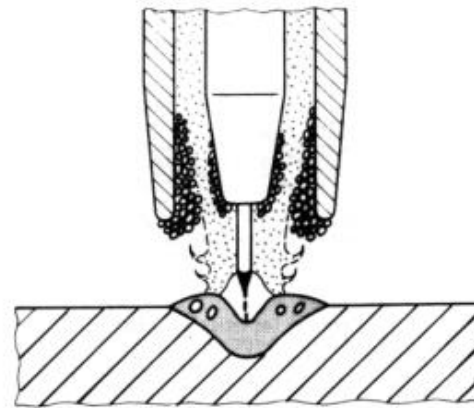
Koruyucu gaz fazla



Koruyucu gaz az



Gaz lülesi ufak



Gaz lülesi tıkanmış

Şekil 6.5. Yanış kaynak parametrelerinin ve kaynak işleminde meydana gelen etkiler nedeniyle gözenek oluşumu [12].

6.7. Sıçramalar

Kaynağın yapılışı sırasında oluşan bölgenin dışına çıkan sıçrama olarak adlandırılan küçük metal parçacıkları fırlar ve parça, gaz lülesi veya kontak borusu üzerine düşer. Bunlar gerek kaynak dikişinin gerekse esas metalin yüzeyinde istenmeyen ve mutlaka temizlenmesi gereken küresel kabarcıklar oluştururlar. Aşırı sıçrama kaynak dikişinin görüntüsünü bozduğu gibi gereksiz elektrod sarfiyatına da neden olur. Sıçramalar, üzerine kaynak metali yığıldığında, arada kalarak yapışmamaya da neden olduğundan, özellikle çok pasolu kaynak halinde bu konuya dikkat etmek gereklidir. MIG-MAG kaynağında ayrıca sıçrayan metal damlacıkları torcun gaz lülesine yapışarak tıkanmasına veya koruyucu gaz akımının türbülansına neden olur. Gaz lülesinde ve kontak borusundaki sıçramalar, genel olarak eksenel olmayan malzeme geçişi sonucu sıçramalara göre daha ince tanelidir ve hızla uçarlar. Koruyucu gaz örtüsü akışında bu sıçramalar nedeniyle girdap oluşur ve koruyucu gaz örtüsü hava ile karışır ve bu da gözeneğe neden olur. Ark gerilimin yükselmesi, akım şiddetinin artması ve tel serbest ucunun büyük olması sıçramaları arttırır.

6.8. Alüminyum ve Kaynak Edilebilir Alaşımlarında Kaynak Hataları İçin Kalite Seviyeleri

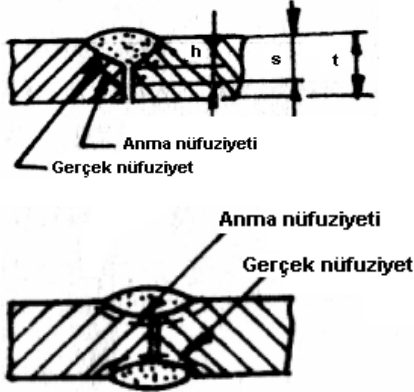
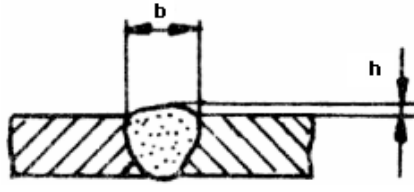
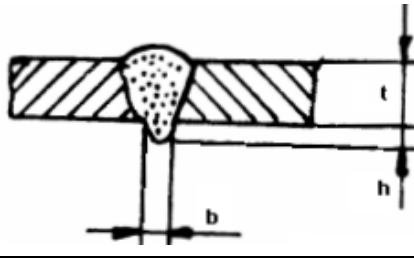
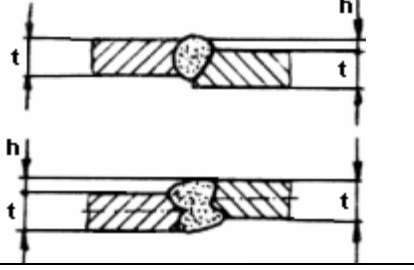
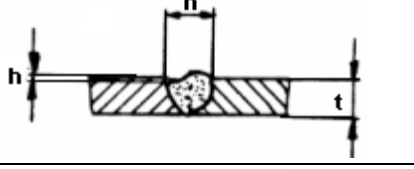
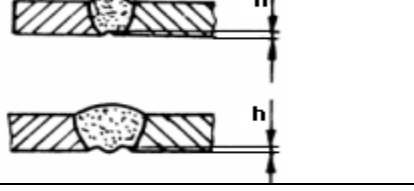
TS 10387 EN 30042 standardında, Alüminyum ve kaynak edilebilir alaşımlarında kaynak hataları için kalite seviyeleri belirlenmiştir [14].

Bu standarda göre herhangi bir 100 mm uzunluğundaki kaynakta toplam uzunluğu 25 mm'den daha büyük olmayan veya 100 mm'den daha kısa bir kaynak için kaynak uzunluğunun en fazla %25'i kadar olan bir veya daha fazla hataya kısa hatalar denilmektedir.

Herhangi bir 100 mm uzunluğundaki kaynakta toplam uzunluğu 25 mm'den daha büyük veya 100 mm'den daha kısa bir kaynak uzunluğunun en az % 25'i kadar olan bir veya daha fazla hataya, uzun hatalar denilmektedir.

Standarda göre, bir kaynaklı birleştirme, normal olarak her bir bağımsız hata tipi için ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Birleştirmenin herhangi bir enine kesitinde meydana gelen farklı hata tipleri, özel bir kabulü gerektirebilmektedir (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. Hata seviye sınırları ve sınıfları [14].

Hata Tanımı	Notlar	Kalite Seviyeleri İçin Hata Sınırları		
		Gevşek D	Orta C	Sıkı B
Nüfuziyet noksanlığı		$h \leq 0,4 s$ en çok 3 mm	$h \leq 0,4 s$ en çok 2 mm	İzin verilmez
Yanma oluşu		Uzun Hatalar		
Aşırı kaynak metali		$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,2 b$ en çok 10 mm	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,15 b$ en çok 7 mm	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,1 b$ en çok 3 mm
Aşırı nüfuziyet		$h \leq 5 \text{ mm}$	$h \leq 4 \text{ mm}$	$h \leq 3 \text{ mm}$
Doğrusal kenar kaçıklığı		$h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,25 t$ en çok 4 mm	$h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,15 t$ en çok 3 mm	$h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,1 t$ en çok 2,5 mm
Tam doldurmamış kaynak		$h \leq 0,2 t$ en çok 2 mm	$h \leq 0,1 t$ en çok 1,5 mm	$h \leq 0,05 t$ en çok 1 mm
Çekme oluşu		$h \leq 0,2 t$ en çok 2 mm	$h \leq 0,1 t$ en çok 1,5 mm	$h \leq 0,05 t$ en çok 1 mm

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda, ekstrüzyonla üretilmiş 48,5 ve 60,5 mm çaplarında 6082 T6 alaşımlı alüminyum borular kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan boruların özellikleri, kimyasal birleşim standardı (TS EN 573-3) ve mekanik özellikleri standardından (TS EN 755-2) Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de verilmiştir [15] [16].

Tablo 7.1.Ekstrüzyonla imal edilmiş 6082 alaşımlı alüminyum boruların TS EN 573-3 standardında belirtilen kimyasal birleşimi [15].

Kimyasal Gösterimi	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti	Diğerleri	%Al
Al Si1 Mg Mn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	0,20	0,10	0,15	Kalan

Tablo 7.2.Ekstrüzyonla imal edilmiş 6082 alaşımlı alüminyum boruların TS EN 755-2 standardında belirtilen mekanik özellikleri [16].

Temper	Et kalınlığı (e) (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)		Akma Mukavemeti (MPa)		% Uzama min
		min	max	min	max	
O, H111	≤ 25	-	160	-	110	14
T4	≤ 25	205	-	110	-	14
T6	≤ 5	290	-	250	-	8
	5 < e ≤ 25	310	-	260	-	10

Deneysel çalışmada uygulanan MIG kaynağında iki farklı elektrod teli ve iki farklı koruyucu gaz kullanılmıştır. Elektrod teli olarak, 1,2 mm çaplarında AlMg4.5Mn ve AlMg5 kullanılmıştır. Elektrod tellerinin kimyasal birleşimi ve mekanik özellikleri AWS A5.10 standardına göre Tablo 7.3’de verilmiştir [17].

Tablo 7.3. MIG kaynağında kullanılan elektrod tellerinin kimyasal birleşimi ve mekanik özellikleri [17].

Elektrod Tel Tipi	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti	%Al	Akma mukavemeti (Mpa)	Çekme mukavemeti (Mpa)
Al Mg 4.5 Mn	0,03	0,15	0,001	0,66	4,88	0,100	0,020	0,060	Kalan	170	250
Al Mg 5	-	-	-	0,20	5,5	0,20	-	-	Kalan	140	260

Koruyucu gaz olarak %99,99 saflıkta Argon gazı ve Hemix 50 gazı (% 50 Helyum + % 50 Argon) kullanılmıştır.

7.2. Yapılan Kaynak İşlemi

Deneyisel çalışmalarda, 6082 T6 alüminyum alaşımından ekstrüzyonla imal edilmiş boruların alın kaynağı yapılmıştır. Alın kaynağında 15 cm'lik borular kullanılmıştır. Kaynak işleminde, yarı otomatik MIG gaz altı kaynak yöntemi kullanılmıştır. MIG gaz altı kaynak yöntemiyle yapılan kaynak işleminde, kaynak akımı, koruyucu gaz tipi, koruyucu gaz debisi, ön ısıtma sıcaklığı, torç açısı, torç mesafesi ve elektrod tel tipi parametreleri değiştirilerek 23 farklı kaynak işlemi yapılmıştır. Her kaynak işlemine bir "kaynak numarası" verilmiş ve değerlendirmeler kaynak numarasından takip edilmiştir (Tablo D.1).

Kaynak işlemine başlamadan önce, kaynak işleminde kullanılacak tel elektrod ile 15 cm'lik boru birbirlerine aralarında boşluk kalmayacak şekilde iki karşıt noktalarından puntalanmışlardır. Puntalama işleminden sonra, puntalanmış bölgeler ince zımpara ile düzeltilmiş ve kaynak yapılacak bölgede her hangi bir çıkıntı oluşumuna izin verilmemiştir. Bu şekilde, kaynak işlemi sırasında, ark ile birlikte elektrod telden parça yüzeyine malzeme geçiş mesafesi sabit tutulmuştur.

Puntalanan borular sabit bir devir ile dönen aynaya tespit edilmiştir. Aynaya, borular kaynak düzeneğine paralel hale getirildikten sonra sabitlenmiştir. Sabitleme işlemi, boru dönmeye başladığı zaman, yapılacak kaynak işlemine göre konumu ve pozisyonu belirlenen torç ile boru arasındaki uzaklık ve torç ile boruların birleşim kısmı arasındaki açı kontrol edilerek yapılmıştır.

Her kaynak işlemine başlamadan önce bir numune boru üzerinde kaynak işlemi yapılarak kaynak makinesi üzerindeki ayar düğmelerinden, ampermetre ve voltmetre yardımıyla, kaynak akımı ve gerilimi belirlenmiştir.

Koruyucu gaz debisi, gaz borusu ağzından debimetre ile kontrol edilip uygulanacak değerlere ayarlanmıştır.

Torç mesafesi, torç açısı gibi parametreler, dijital kumpas ve açı ölçer yardımıyla uygulanacak değere göre ayarlanmıştır.

Boru aynaya sabitlendikten sonra, puntalanmış boruların kaynak yapılacağı birleşim kısmı tel zımpara cihazıyla zımparalanmıştır.

Ön ısı verilerek kaynak işlemi yapılacak numuneler, belirlenen ön ısıtma sıcaklığı değerine çıkartılmış ve temas termokupul yardımıyla kaynak yapılacak bölgenin 2 cm yanından ölçümler alınmıştır. Ön ısıtma işlemi boruların uç kısmından yapılmıştır. Termokupul ile kontroller yapılırken belirlenen sıcaklık değerinden 10 °C düşük sıcaklığa ulaşıldığı zaman kesilmiştir. Isıtma işlemi kesildikten sonra yaklaşık 1 ile 3 dakika beklenmiş ve tekrardan termokupul ile sıcaklık kontrol edilerek, istenen sıcaklık değeri elde edildiğinde kaynağa başlanmıştır. Zımpara işleminden sonra, boruların birleşim kısmının her iki tarafından 4 cm'lik uzaklıkta kalan alan, boru üzerindeki yağ ve kirden arındırılmak için Beta BT 69 Remover çözeltisi püskürtülerek ve temiz bir bez ile silinerek temizlenmiştir.

Temizleme işleminden sonra önceden belirlenen kaynak parametreleri ayarlanmış kaynak teçhizatı ile kaynak işlemi uygulanmıştır. Kaynak işlemine borudaki puntonun hemen önünden başlanmıştır. Kaynak işleminde, kaynak yapmaya başlandığı noktaya geldiğinde de aynı anda ark ve aynanın dönüşü durdurulmuştur.

7.3. Kaynatılmış Alüminyum Boruların Hasarlı ve Hasarsız Muayenesi

Kaynatılmış alüminyum borulara, yapılan kaynak işlemini karakterize etmek için hasarlı ve hasarsız testler uygulanmıştır. Uygulanan hasarsız muayene yöntemleriyle, kaynak dikişindeki yüzey ve yüzey altı hataları belirlenmiştir. Hasarlı muayene yöntemleriyle, kaynatılmış boruların ve kaynak dikişinin mekanik özellikleri ve kaynak bölgesinin mikro yapısı incelenmiştir.

Uygulanan hasarsız muayene yöntemleri;

- Görsel muayene
- Sıvı penetrant muayenesi
- Radyografik muayene

Uygulanan hasarlı muayene yöntemleri;

- Sertlik ölçümü
- Çekme testi
- Metalografik muayene

7.3.1. Hasarsız Muayene

7.3.1.1. Görsel Muayene

Görsel kontrol, yüzey kalitesinin uygunluğunu tespit etmek için kullanılmaktadır. Kaynak şişkinliği, yanma olukları, kaynakla birleştirilen parçaların eksenel kaçıklığı, geçici bağlantıların uygun sökülmesi, kaynak dikiş konumu ve yüzey oyuk ve ark izlerinin kontrolü görsel kontrol şeklinde yapılmaktadır. Birçok durumda görsel kontrol için nesnesel standart olmadığından kontrolde kontrol eden kişinin tecrübesi ve bilgisi kontrolün uygun yapılmasında ana faktördür.

Kaynak dikişlerine uygulanan görsel kontrolde, kaynak yüzey kaliteleri, dikiş profilleri, gözle tespit edilebilen hatalar belirlenmiştir.

7.3.1.2. Sıvı Penetrant Muayene

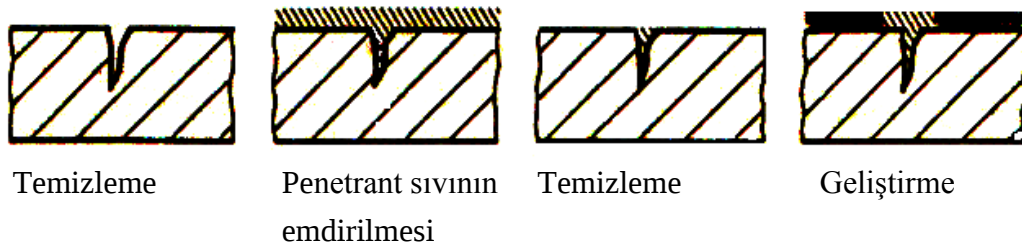
Hasarsız muayene yöntemlerinden biri olan sıvı penetrant testi yüzeyde bulunan hataların tespiti için kullanılmaktadır. Çatlaklar, gözenekler ve yüzeye açık hatalar bu yöntem ile tespit edilebilmektedir. Uygulanan sıvı penetrant türüne göre penetrant testleri gruplandırılmaktadır [18].

Sıvı penetrantlar;

1. Sonradan suyla yıkanabilen floresan penterant
2. Solvent ile giderilebilen floresan penetrant
3. Suyla yıkanabilen floresan penetrant
4. Sonradan suyla yıkanabilen görünür penetrant
5. Solventle giderilebilen görünür penetrant
6. Suyla yıkanabilen görünür penetrant

Yukarıda sıralanan sıvı penetrantlar sırayla, hata tespit etme hassasiyetleri azalmaktadır. Floresan sıvı penetrantlar siyah ışık altında hataların yerlerini yeşil ve mavi renkler ve bu renklerin değişik tonlarıyla göstermektedir. Görünür sıvı penetrantlar kırmızı renktedirler.

Deneysel çalışmalarda solvent ile giderilebilen sıvı penetrant kullanılmıştır. Sıvı penetrant testi altı aşamada uygulanmaktadır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Sıvı penetrant yöntemi ile yüzey çatlaklarının belirlenmesi [18].

Birinci aşama, malzemenin yüzeyindeki kir ve yağların temizlenmesidir. Kir ve yağlar, uygulanacak olan penetrant sıvının, yüzeye açık hataların içine girmesini önlemekte ve yüksek girici özelliği olan penetrant sıvının giriciliğini azaltmaktadır. Yüzey temizleme işlemi, BETA BT 69 Remover solventiyle gerçekleştirilmiştir. Basınçlı bir tüp içerisinde bulunan solvent, sıvı penetrant testinin uygulanacağı yüzeye püskürtülmüş ve temiz kuru bir bez ile bu bölge temizlenmiştir. Temizliğin tam olarak yapıldığından emin olunmak için bu işlem birkaç kez tekrarlanmıştır.

İkinci aşama, solvent ile yağ ve kirlerinden temizlenmiş yüzeye penetrant sıvıyı uygulama aşamasıdır. Penetrant sıvı olarak BETA BT 68 Penetrant sıvısı kullanılmıştır. Bu penetrant sıvı kırmızı renktedir. Basınçlı bir tüp içerisinde bulunan penetrant sıvı, penetrant testinin uygulanacağı yüzeye bolca püskürtülmüştür. Penetrant sıvı uygulamasından sonra yüzeye açık hataların belirlenmesi için, her malzemeye ve her işlem hata türlerine göre girinim süreleri vardır. Bu süreye penetrant süresi denir. Malzeme yüzeyindeki penetrant sıvı, yüzeye açık hataların içerisine kapiler bir kuvvetle girmektedir. Bu kapiler girici kuvvetin etkisi malzeme ile sıvı arasındaki yüzey gerilimlerine bağlı olarak değişmektedir. Penetrant sıvıların en büyük özellikleri kapiler girici kuvvetlerinin çok yüksek olmasıdır. Kaynak ile birleştirilmiş alaşımlı alüminyum malzemeler için 30 dakika penetrant süresi seçilmiştir.

Üçüncü aşamada, penetrant süresi sonunda, malzeme yüzeyindeki fazla penetrant sıvının temizlenmesidir. Bu aşamada, ilk önce kuru bir bez ile malzeme yüzeyindeki fazla penetrant sıvı sıyırılmıştır. Fazla sıvı penetrant sıvı malzeme yüzeyinden sıyıldıktan sonra, tekrar yüzey temiz kuru bir bezle iyicene silinmiştir. Fazla penetrant sıvının yüzeyden temizleme işlemi, solvent ile nemlendirilmiş temiz bir bez ile devam edilmiştir. Solventle nemlendirilmiş bezle temizlemede dikkat edilmesi gereken, bezin çok fazla solvent ile bezi nemlendirmemek ve malzeme yüzeyine fazla bastırmamaktır. Eğer dikkat edilmez ise hatalara nüfuz eden penetrant sıvıda nemlenmiş bez ile temizleme esnasında giderilebilir ve bu hatalar tespit edilemez. Solvent ile nemlendirilmiş bez ile temizleme yapıldıktan sonra, son olarak kuru ve temiz bir bez ile malzeme yüzeyi temizlenir. Bu aşamada silme işleminden sonra bez yüzeyi kontrol edilir. Eğer bez yüzeyinde sıvı penetrant lekesi (kırmızı) var ise temiz bezde kırmızı leke kalmayınca kadar temizlemeye devam edilir.

Dördüncü aşama, geliştirici uygulama aşamasıdır. Bu aşamada hataların içerisindeki sıvı penetrant dışarı çekilmektedir. Deneysel çalışmalarda geliştirici olarak BETA BT 68 Developer kullanılmıştır. Geliştirici sıvısı basınçlı bir tüptedir ve yaklaşık 40 cm uzaklıktan malzeme yüzeyine püskürtülmektedir. Geliştirici sıvısı, uçucu bir solvent içerisine disperse bir şekilde dağılmış çok küçük pulcukların karışımıdır. Geliştirici malzeme yüzeyine püskürtüldükten sonra solvent yaklaşık 1 dakika içerisinde buharlaşmakta ve yüzeyde çok küçük pulcuklardan ibaret bir toz tabakası

kalmaktadır. Solvent buharlaştıktan sonra, bu çok küçük pulcuklar arasındaki boşluklar yüksek bir kapiler etki yaratmakta ve hatalar içerisindeki penetrant sıvıyı emmektedirler. Geliştirici, penetrant sıvı ile iyi bir kontrast sağlaması amacıyla beyaz renktedir. Hatalar içerisindeki sıvı penetrant geliştirici tarafından emildiği yerler kırmızıya dönmektedir ve böylece beyaz zemin üzerinde kırmızı bölgeler hatanın varlığını ve yerini belirtmiş olmaktadır. Doğru ve iyi bir kontrast elde etmek hatalar içerisindeki penetrantın geliştirici tarafından emilmesi gerekmektedir ve buda belirli bir sürede olmaktadır. Bu süreye geliştirme süresi adı verilmektedir. Deneysel çalışmalarda geliştirme süresi olarak beş dakika belirlenmiştir.

Beşinci aşamada, geliştirme süresi sonunda ortaya çıkan sonucu değerlendirilmekte ve hataların yerlerini tespit edip belgeleme aşamasıdır.

Altıncı aşamada, herhangi bir korozyon etkiyi önlemek için solvent yardımıyla malzeme yüzeyi tamamen temizlenmektedir.

7.3.1.3. Radyografik Muayene

Radyografi, x veya γ ışınlarını malzemenin yüzey ve yüzey altı hatalarının belirlenmesinde kullanılan hasarsız muayene yöntemidir. Radyografik muayene, hataların kalıcı olarak film üzerinde görülmesi ve normal koşullarda kolayca açıklanabilmesi nedeni ile yavaş ve pahalı bir yöntem olmasına rağmen özellikle gözenek, kalıntı, çatlak ve boşlukların saptanmasında çok yaygın bir biçimde uygulanmaktadır [19].

Bu yöntemde kullanılan x-ışınları, elektronik bir cihaz tarafından, γ ışınları ise, radyoaktif bir element tarafından üretilir. Bu ışınlar, malzemeden geçerken malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak bir kısmı absorbe edilir. Malzeme tarafında absorbe edilmeyen enerji, film üzerine etkir, film üzerinde görülen koyu renkler o bölgeye çok fazla enerjinin gittiğini gösterir. Malzeme içinde gözenek, çatlak, boşluk gibi hatalar o noktada malzeme kalınlığının azalmasına neden olduklarından film üzerinde koyu şekiller halinde görülür. Buna karşın malzeme içinde tungsten gibi ağır metal kalıntısının bulunması ise film üzerinde beyaz olarak görülür.

Bu yöntem çok ufak yüzeyli çatlakların kolaylıkla belirlenememesine ayrıca işlem esnasında uygulanan ışınların insan sağlığı için çok tehlikeli olmasına, muayenenin maliyetinin pahalı ve süresinin uzun olmasına karşın özellikle boru hattındaki, basınçlı kaplardaki ve akaryakıt depolarındaki kaynak dikişlerinin muayenesinde çok yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Hataların biçimlerinin film üzerinde görülebilmesi ve filmlerin daha ilerideki muayeneler için doküman olarak saklanabilmesi yöntemin en önemli avantajlarından biridir.

Endüstriyel radyografide kullanılan x ve γ ışınları, görünen ışınlar, ultraviyole ışınları veya hertz dalgaları gibi elektro-manyetik dalgalardır. Fakat radyografide kullanılan ışınların dalga boyları daha kısadır.

Bu ışınların dalga boyları;

Gama ışınları : $0,005 < \lambda < 0,03 \text{ A}^\circ$

X ışınları : $0,03 < \lambda < 20 \text{ A}^\circ$

Ultraviyole ışınlar : $130 < \lambda < 4000 \text{ A}^\circ$

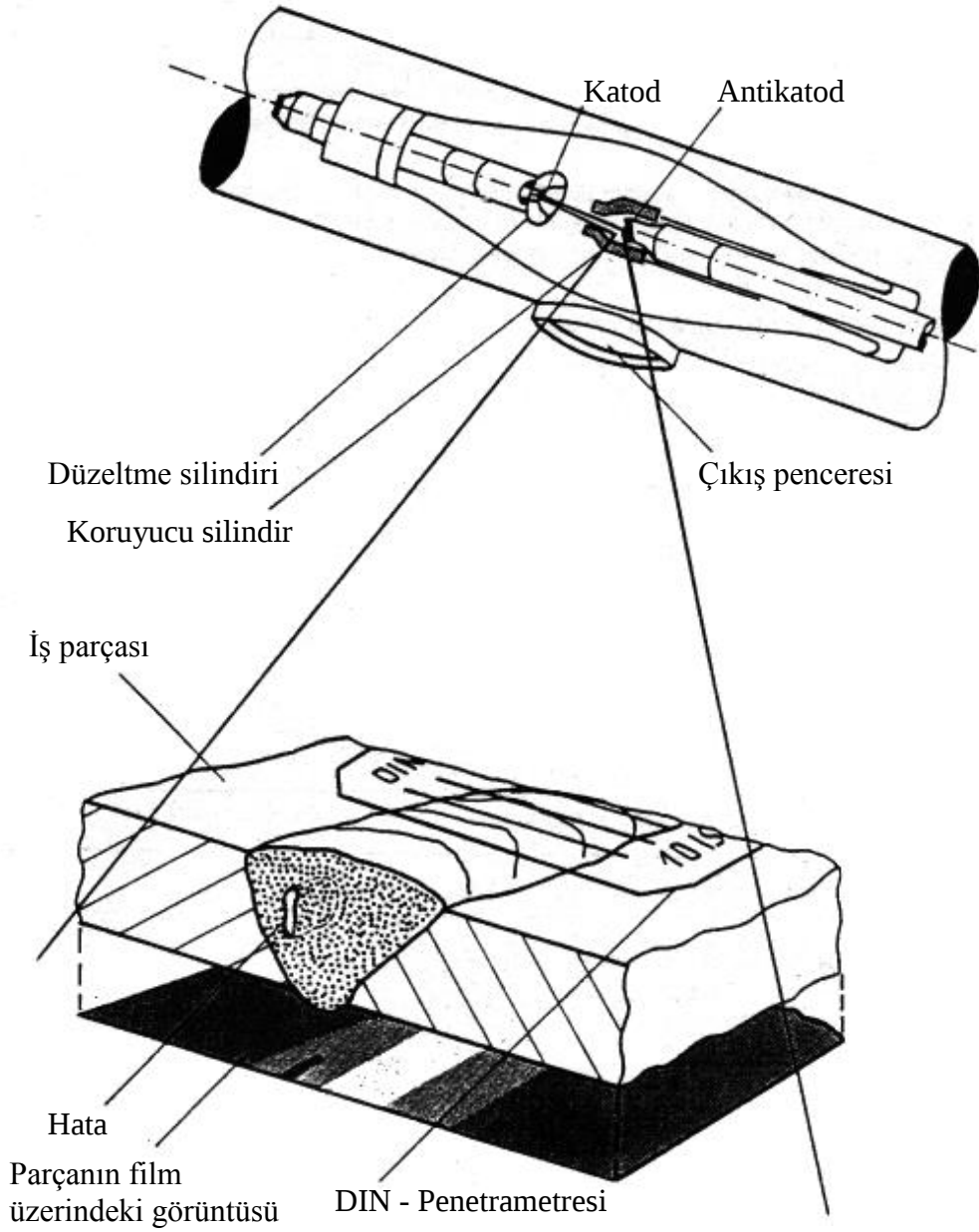
Parlak ışınlar : $4000 < \lambda < 8000 \text{ A}^\circ$

Entrafuj ışınları : $0,8 < \lambda < 300 \text{ A}^\circ$

X ışınları, yüksek bir potansiyel tarafından hızlandırılmış elektron akımının uygun bir şekilde yerleştirilmiş bir plak üzerinde sert bir şekilde durdurulması sonucu elde edilir. Bu potansiyel farkı elektronlar tarafından erişen kinetik enerjiyi ve dolayısıyla x ışınlarının dalga boylarını etkiler. Böylece potansiyel farkı ayar edilerek x ışınlarının dalga boyu istenilen şekilde değiştirilebilir.

Kısa dalga boylu ışınlar yüksek enerjili ve sert, uzun dalga boylu ışınlar da düşük enerjili yumuşak ışınlardır.

Röntgen filmi üzerinde ışınımaya uğrayan parçaların ve hata tiplerinin absorpsiyonu sonucu değişik mertebelerde kararmalar meydana gelmekte görüntü oluşmaktadır. (Şekil 7.2)



Şekil 7.2. Radyografik muayenenin prensibi [19].

Endüstriyel radyografide kullanılan radyoaktif kaynaklar , Kobalt 60, İridyum 192, Sezyum 137, Tantal 182, Talyum 170 ve Radyum 'dur.

Radyografide kullanılan filmlerin, her iki yüzeyi de duyarlı olan simetrik bir yapıya sahiptir. Duyarlı tabakayı oluşturan AgBr taneciklerinin büyüklüğü ve miktarı fotoğraf özelliklerini belirler. AgBr tanelerinin büyüklüğü filmin fotoğrafik özelliklerini etkiler.

Endüstriyel radyografide kullanılan filmler üç gruba ayrılır;

1. İnce taneli yavaş filmler
2. Orta taneli orta yavaş filmler
3. İri taneli filmler

Radyografide kullanılan filmler farklı firmalara göre ve ülkelere göre isimlendirilip sınıflandırılmaktadırlar. (Tablo 7.4) [18].

Tablo 7.4. Ticari filmlerin firma bazında sınıflandırılması [18].

Film Sınıfı	Agfa Geveart	Kodak	Dupont
G1	D2	R	45
G2	D4, D5	M, T	55, 65
G3	D7	AA	75, M2

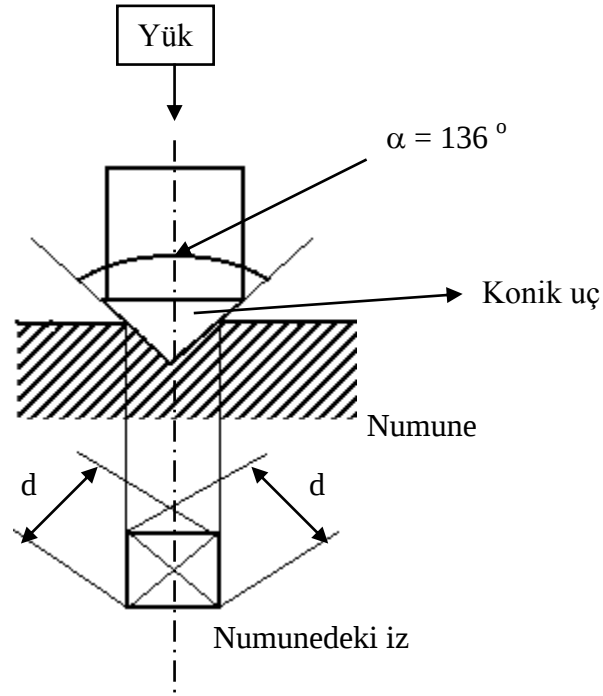
Deneysel çalışmalarda D2 kalite radyografik film kullanılmıştır. Radyografik kaynak olarak İridyum 192 kullanılmıştır. Poz süresi olarak 8 dakika seçilmiştir. Malzeme, radyografik kaynak arasındaki mesafe 400 mm'dir. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar kaynak numaralarından takip edilerek değerlendirilmiştir .

7.3.2. Hasarlı Muayene

7.3.2.1. Sertlik Ölçümü

Boruların sertliği 2,5 mm çapında Tungsten-Carbür bilye vasıtasıyla 187.5 gr yük uygulanarak Brinell sertlik değerinden hesaplanmıştır. Mikrosertlik ölçümünde, batıcı uç tabanı kare olan piramit şeklinde elmaştan yapılmıştır. Malzemenin sertliği, Vickers sertlik değerinden hesaplanmaktadır. Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyine söz konusu batıcı ucun belirli bir yük uygulayarak batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin (d) ölçülmesi ve Vickers sertlik dönüşüm tablosundan Vickers sertlik değerinin bulunmasıdır [10].

Belirli bir yükle malzeme yüzeyine bastırılan batıcı uç bir iz oluşturmaktadır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Vickers sertlik testinin şematik gösterimi [10].

Mikrosertlik ölçümünde yük 200 gram seçilmiştir.

7.3.2.2. Çekme testi

Deneyisel çalışmalarda, çekme testi esasları ve hesaplamaları TS 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi, ortam sıcaklığında ve sabit gerilim hızında uygulanmıştır [20].

Birbirine alın kaynağı yapılmış borulardan kaynak dikişi ortada yer alacak şekilde çekme numunesi keserek çıkartılmış ve ölçüm uzunlukları TS 138 EN 10002-1 standardına göre belirlenmiştir (Şekil D.1).

Borulardan çıkarılan numunelerin kesit alanı (S_0) (7.1) formülünden hesaplanmıştır.

$$S_0 = \left(\frac{b}{4} (D^2 - b^2) \right)^{1/2} + \frac{D^2}{4} \arcsin \frac{b}{D} - \left(\frac{b}{4} [(D-2a)^2 - b^2] \right)^{1/2} - \left(\frac{D-2a}{2} \right) - \left(\frac{D-2a}{2} \right)^{1/2} \arcsin \left(\frac{b}{D-2a} \right) \quad (7.1)$$

Burada;

- a = Yassı deney parçasının kalınlığı veya borunun et kalınlığı
- b = Yassı deney parçasının gövde genişliği veya bir borudan alınan uzun ve dar ortalama genişliği veya yassı tel genişliği
- D = Borunun dış çapı

Çekme numunesinin ilk ölçü uzunluğu bağıntı (7.2)'den hesaplanmıştır:

$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (7.2)$$

Burada;

- L_0 = İlk ölçü uzunluğu
- k = 5,65 alınan katsayıdır.

Buna göre 48,5 mm çapındaki borulardan çıkarılan çekme numunelerinin ilk ölçü uzunluğu (L_0) 40,64 mm ve ölçüm uzunluğu kesit alanı (S_0) 51,75 mm² olarak hesaplanmıştır.

Parametresel ve görsel kontrollerde en uygun beş kaynatılmış borudan çıkarılan ikişer adet numune üzerinde çekme deneyleri yapılmıştır. Her borudan çıkarılan iki adet numunede, numunenin biri kaynak işleminin ilk başladığı bölgeyi, diğeri ise son kısmı temsil etmektedir. Kaynak işleminin başladığı bölgeyi temsil eden çekme numunelerine “A”, diğeri kısma ise “B” son ekler ile sembolendirilmiştir.

7.3.2.3. Metalografik muayene

Kaynaklanmış borulardan, kaynak bölgesinin kesiti üzerinde çıkarılan numunelerin makroyapısı 320X büyütmede mikroskop altında incelenmiştir. Metalografik olarak incelenecek parçalar bakalite alındıktan sonra 1200 gritli ince zımparada zımparalanmış ve sonra alümina partikülleri ile yüzeyleri makro dağlama için parlatılmıştır.

Dağlama çözeltisi olarak Keller çözeltisi kullanılmıştır. Yüzeyi çiziklerden arındırılan numune parçası Keller çözeltisi içerisine batırılmış ve bir dakika beklenmiştir. Dağlama işleminde sonra numune suyla yıkanıp incelenecek yüzey sıcak hava ile kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra numune mikroskop altında 320X büyütmede, esas metal, ITAB, kısmen ergimiş bölge ve kaynak bölgesi incelenmiş ve kaynağın tane yapıları ve çok küçük boyutta olan hatalar belirlenmiştir.

Dağlama işleminde kullanılan Keller çözeltisinin içeriği:[21]

- 20 ml saf su
- 20 ml hidroklorik asit
- 20 ml nitric asit
- 5 ml hidroflorik asidden oluşmaktadır.

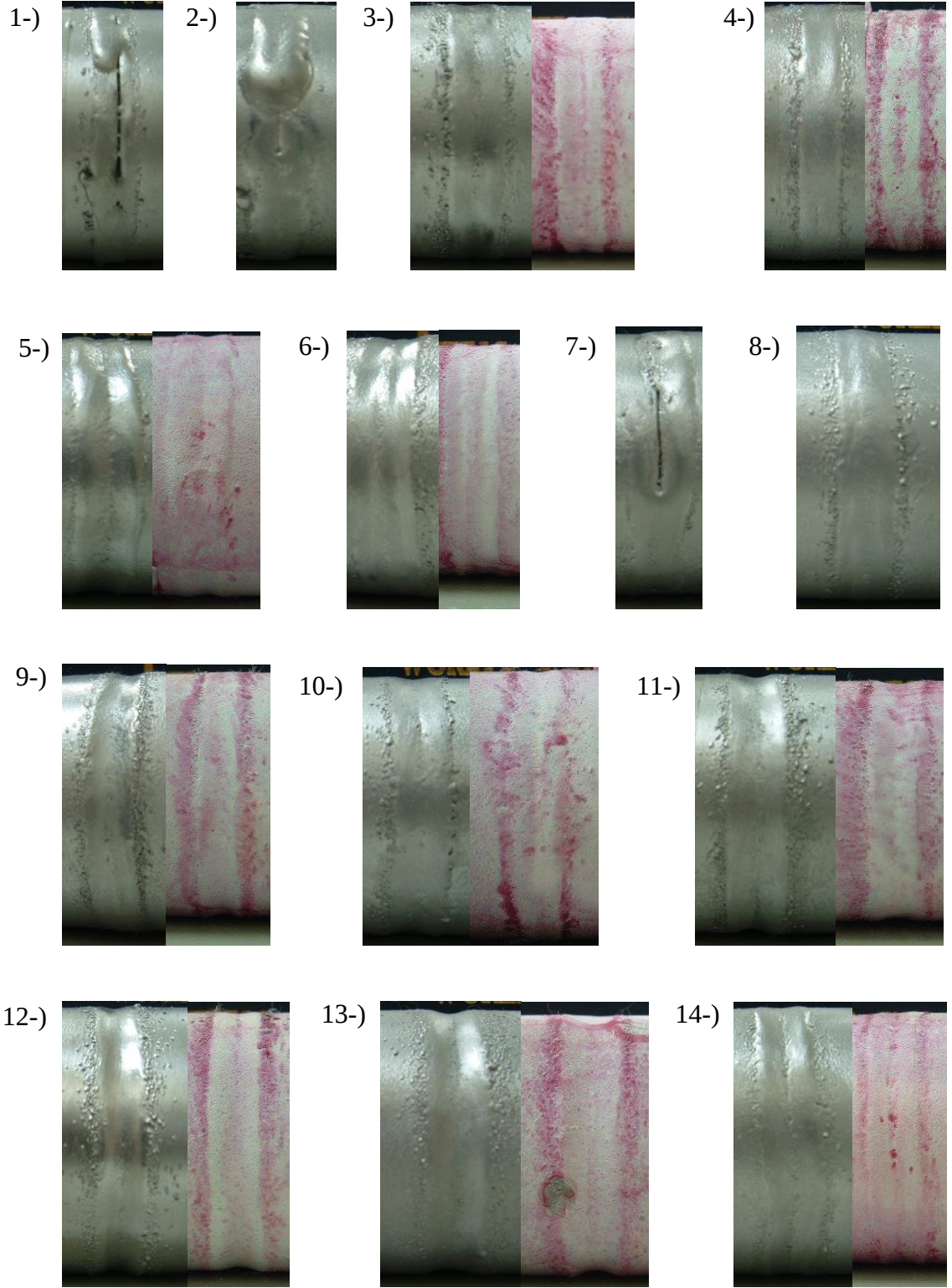
8. DENEY SONUÇLARI

8.1. Görsel ve Sıvı Penetrant Muayenesi Sonuçları

Farklı kaynak parametreleri kullanılarak yapılan boru alın kaynak dikişlerinin görsel ve sıvı penetrant muayenesi sonuçları Şekil 8.1.a ve Şekil 8.1.b’de gösterilmiştir. Kaynak numaralarına göre gözlemler aşağıda belirtilmiştir.

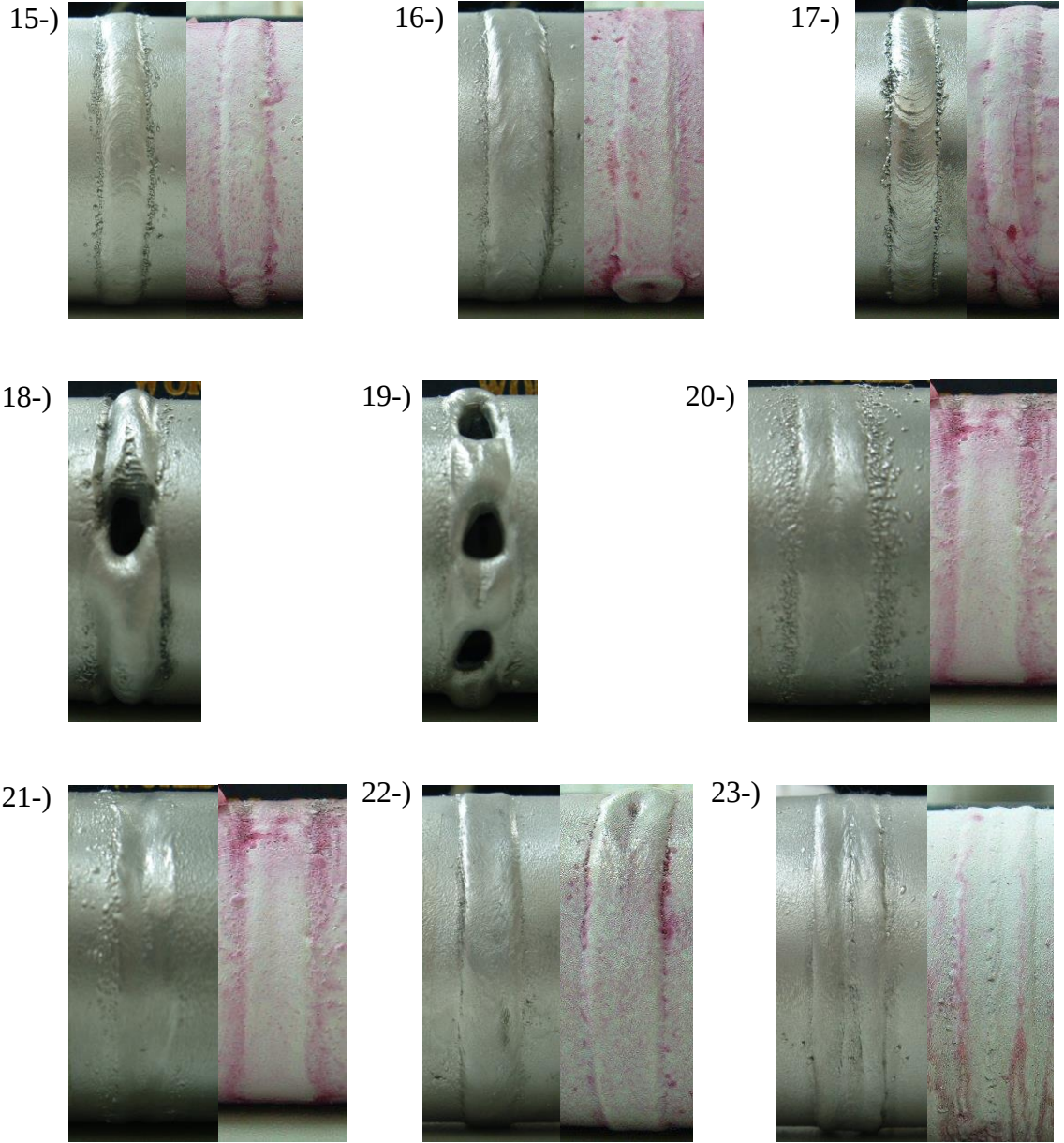
- Kaynak No 1: Bazı bölgelerde kaynak formunun oluşmadığı, birleşmenin olmadığı ve nüfuziyetsizlik belirlenmiştir.
- Kaynak No 2: Belli bölgelerde kaynak formunun oluşmadığı, nüfuziyet yetersizliği olduğu ve gözenek oluşumları tespit edilmiştir.
- Kaynak No 3: Kaynak işleminin bitime yakın bölgelerinde çukurluklar tespit edilmiştir. Kaynak dikiş formu ve nüfuziyetin uygun olduğu belirlenmiştir. Kaynak dikişinin yan kısımlarında şiddetli sıçrama izleri tespit edilmiştir.
- Kaynak No 4: Kaynak işleminin bitime yakın yerlerinde küçük boyutlarda gözenek oluşumları tespit edilmiştir. Kaynak dikiş formu ve nüfuziyetin uygun olduğu belirlenmiştir. Kaynak dikişinin yan kısımlarında çok az miktarda sıçrama izleri belirlenmiştir.
- Kaynak No 5: Kaynak dikişi boyunca, kaynağın ortasında derin çukurlaşmalar tespit edilmiştir.
- Kaynak No 6: Kaynak dikişi boyunca, kaynağın ortasında çukur oluşumu ve çukurunda tam ortasında tepelenmeler belirlenmiştir.
- Kaynak No 7: Kaynak dikişin de nüfuziyetin düştüğü ve yetersiz birleşmenin meydana geldiği belirlenmiştir.
- Kaynak No 8: Kaynak dikişinde yanma oluğu ve delinmeler tespit edilmiştir.

- Kaynak No 9: Kaynak ortasında çok küçük boyutta ve az miktarda gözenekler tespit edilmiştir. Kaynak dikişinin orta bölgesinde çukurlaşmalar belirlenmiştir.
- Kaynak No 10: Kaynak dikişinin farklı bölgelerinde gözenekler tespit edilmiştir.
- Kaynak No 11: Kaynak dikişinin yan taraflarında sıçrama izleri belirlenmiştir. Kaynağın nüfuziyetinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Kaynak No 12: Kaynak dikişinin orta kısmında çukurlaşmalar ve sıçrama izleri belirlenmiştir.
- Kaynak No 13: Kaynak dikişinin orta kısmında derin çukurlaşmalar ve kuvvetli sıçrama izleri belirlenmiştir.
- Kaynak No 14: Kaynak formunun ve nüfuziyetin uygun olduğu belirlenmiştir. Kaynak dikişinin orta kısmında az sayıda gözenek belirlenmiştir.
- Kaynak No 15: Nüfuziyet azlığı olduğu ve kaynak formunun dar ve kubbelenmiş olduğu belirlenmiştir.
- Kaynak No 16: Kaynak formunun uygun, fakat nüfuziyet azlığı olduğu belirlenmiştir.
- Kaynak No 17: Nüfuziyet azlığı olduğu ve kaynak formunun dar ve yüksek kubbelenme olduğu belirlenmiştir.
- Kaynak No 18: Kaynak dikişinde 3 adet delinmenin olduğu belirlenmiştir.
- Kaynak No 19: Kaynak dikişi boyunca uzun delinmeler belirlenmiştir.
- Kaynak No 20: Sıçrama izleri ve gözenek oluşumu belirlemiştir.
- Kaynak No 21: Sıçrama izleri ve gözenek oluşumu belirlenmiştir.
- Kaynak No 22: Kaynak formunda biraz darlık ve az kubbeleşme ve nüfuziyet azlığı olduğu belirlenmiştir.
- Kaynak No 23: Kaynak formunun uygun, fakat nüfuziyet azlığı olduğu belirlenmiştir.



(a)

Şekil 8.1.a. Kaynak numaralarına göre (1-14) kaynakların dikişleri ve sıvı penetrant muayenesi sonuçları.



(b)

Şekil 8.1.b. Kaynak numaralarına göre (15-23) kaynakların dikişleri ve sıvı penetrant muayenesi sonuçları.

Görsel ve sıvı penetrant muayeneleri sonucunda kaynak numarası 3, 4 ve 14 olan kaynak dikişlerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

8.2. Radyografik Muayene Sonuçları

Kaynak bölgesine borular eğik tutularak radyografik muayene uygulanmıştır. Radyografik muayene sonucunda kaynak bölgesinde, gözenekler, tek taraflı kök hatası, kökte çukurluk, nüfuziyet noksanlığı ve kötü yüzey hataları belirlenmiştir. (Şekil E.1, Tablo E.1).

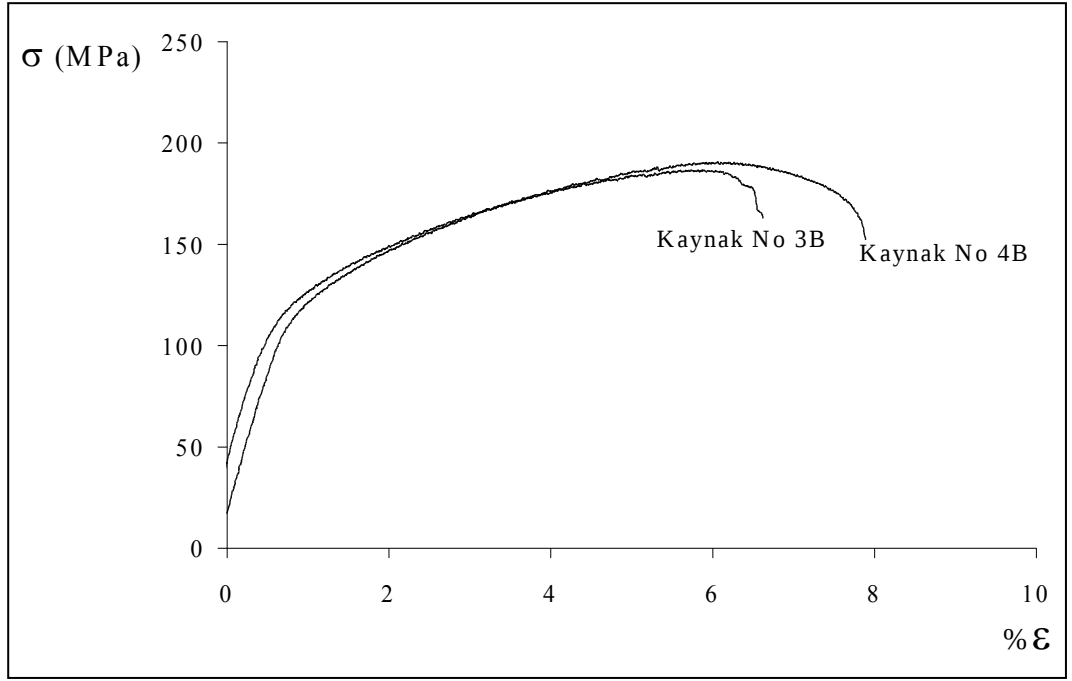
Radyografik muayene sonuçlarına göre, en iyi kaynak dikişleri, kaynak numarası 3, 4 ve 14 olan numunelerde olduğu belirlenmiştir.

8.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

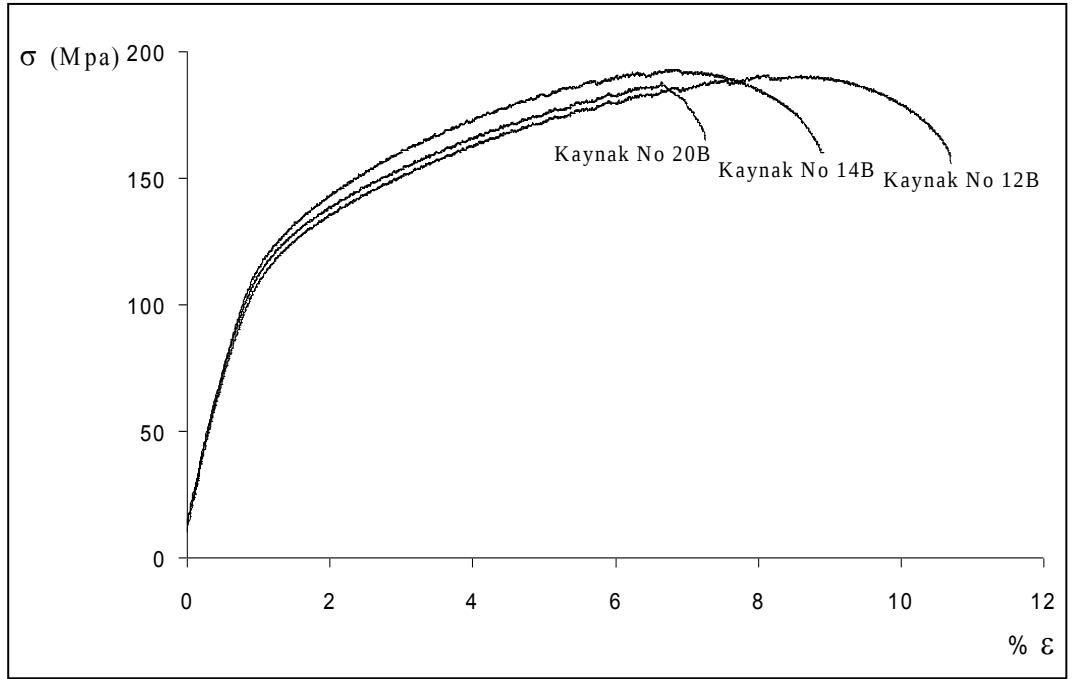
6082 T6 alaşımlı alüminyum boru malzemesinin sertliği, 2,5 mm çapında Tungsten-Carbür bilyalı uç ve 187,5 kg yük kullanılarak sertliği 100 BSD olarak tespit edilmiştir. Parametresel ve görsel muayenelerde en uygun sonuçlar elde edilen üç değişik kaynağın kaynak kesitlerine, esas metalden başlayarak kaynak metaline doğru 5 değişik bölgede mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil E.2, Tablo E.2). Tablo E.2 'de görüldüğü gibi, sertlik değeri esas metalden kaynak metaline doğru azalmaktadır. Kaynak numarası 4 olan numunenin kaynak kesiti kaynak bölgesinin merkezinden başlayarak asıl metale kadar, 150 ile 350 µm mesafe aralıklarla mikro sertlik ölçümü yapılmış ve ısının tesiri altındaki bölgenin (ITAB) uzunluğu sertlik değerlerinin değişiminden belirlenmiştir (Şekil E.3). Isının tesiri atındaki bölgenin uzunluğu 11908 µm olarak tespit edilmiştir. Şekil E.3'de görüldüğü gibi sertlik değeri kaynak merkezinden esas metale doğru artmaktadır.

8.4. Çekme Testi Sonuçları

Kaynatılmış borulardan, kesilerek çıkarılan çekme numunelerine uygulanan çekme testiyle, kaynatılmış malzemelerin, çekme mukavemetleri (R_m), akma mukavemetleri ($R_{q0,2}$), kopmadan sonra yüzde uzama değerleri (% A), ve çekme numunelerinde kopmanın gerçekleştiği bölgelerine göre değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 8.2, Şekil 8.3, Tablo 8.1).



Şekil 8.2. 3B ve 4B kaynak numaralı numunelerin çekme diyagramı.



Şekil 8.3. 12B, 14B ve 20B kaynak numaralı numunelerin çekme diyagramı.

Tablo 8.1. Çekme testi sonuçları

Kaynak No:	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Kopma Bölgesi
3 A	169,36	109,83	4,39	Kaynak Dikişi 
3 B	186,50	123,28	8,17	Kaynak Dikişi 
4 A	193,50	110,20	8,15	Kaynak Dikişi 
4 B	190,55	109,83	8,70	Asıl Metal 
12 A	190,36	119,60	8,12	Kaynak Dikişi 
12 B	190,55	114,99	11,68	Asıl Metal 
14 A	198,66	126,23	8,58	Asıl Metal 
14 B	193,13	120,15	10,21	Asıl Metal 
20 A	180,23	109,46	5,91	Kısmen Ergimiş Bölge 
20 B	187,67	115,34	7,76	Kısmen Ergimiş Bölge 

Çekme testi sonucunda, kaynak dikişı dışından asıl metalden kopmalar kaynak numaralarına göre 4A, 4B, 12B, 14A ve 14B numunelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu numunelerin kaynak metalinden kopma gösteren numunelere kıyasla genellikle daha mukavemetli olduğu belirlenmiştir.

8.5. Metalografik Muayene Sonuçları

En iyi görsel ve mekaniksel özelliklerin elde edildiği 3, 4, 14 ve 20 numaralı kaynak numunelerinin mikro-yapıları incelenmiştir. Mikro-yapı incelemelerinde muayene bölgeleri Şekil E.4'e göre belirlenip, esas metalden başlayıp kaynak bölgesine kadar tane yapıları ve mikroskobik hatalar tespit edilmiştir (Şekil E.4, Şekil E.5, Şekil E.6, Şekil E.7, Şekil E.8).

9. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMESİ

Bu çalışmada, 6082 T6 alaşımlı alüminyum boruların MIG gaz altı kaynak yöntemi kullanarak kaynakla birleştirme işlerinde, kaynak parametrelerinin, kaynatılmış yapıya etkileri incelenmiştir. Farklı parametrelerin kombinasyonu ile kaynak yapılan boruların özellikleri, her kaynatılmış boruya “kaynak numarası” verilerek takip edilmiştir (Tablo D.1). Kaynak işleminde akım şiddeti, gerilim, koruyucu gaz tipi ve debisi, elektrod tipi, torç açısı ve mesafesi ve ön ısıtma sıcaklığı parametreleri farklı değerlerde değiştirilerek kaynak yapılmıştır.

Yapılan kaynak işlemi sonucunda parametrelerin etkileri hasarlı ve hasarsız muayene yöntemleriyle belirlenmiştir;

- Kaynak numarası 1 ve 2 olan kaynakta, malzeme kalınlığına göre seçilen akım değerinin (110 Amper) düşük olduğu belirlenmiştir. Kaynak işleminde, kaynak hızı sabit tutulduğu için bazı bölgelerde erime olmamış ve kaynak formu görülememiştir (Şekil 8.1.a).
- Kaynak numarası 3 ve 4 olan kaynaklarda, malzeme kalınlığına göre ideal akım (131 Amper) uygulandığı belirlenmiştir. Kaynağa başlangıçta kaynak formu olumlu olduğu belirlenmiştir, fakat ilerleyen kaynakla beraber az da olsa çukurlaşmalar meydana gelmiştir. Kaynak numarası 4 olan kaynakta çukurlaşmaların biraz daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, 4 numaralı kaynakta, 3 numaralı kaynakta kullanılan Argon gazından farklı olarak Hemix 50 (% 50 Argon, % 50 Helyum) gazının kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Helyum gazı, Argon gazına kıyasla daha iyi ısı yoğunluğu sağlamasından bu sonuç elde edilmiştir.
- Kaynak numarası 5 ve 6 olan kaynaklarda, malzeme kalınlığına göre yüksek akım (157 Amper) uygulandığı, kaynak dikişinin ortasında çukurlaşmaların derinleşmesinden ve kaynak kökünde sarkmalar oluşmasından anlaşılmıştır.

- Kaynak numarası 7 ve 8 olan kaynaklarda, torç açısı değiştirilmiştir. Torç açısı 7 numaralı numunede 60°'ye düşürüldüğü zaman, nüfuziyetin yetersiz kaldığı belirlenmiştir (Şekil 8.1.a). Nüfuziyet yetersizliğinin elektrotan ark ile çıkan kaynak metalinin hepsinin malzemeye ulaşmaması nedeniyle olduğu gözlemlenmiştir. Torç açısı 85°'ye artırıldığında, 8 numaralı kaynağın ölçülerinde kesit daralması belirlenmiştir (Şekil 8.1.a). Bu kesit daralmasının sebebi nüfuziyetin fazla artmasıdır. Artan nüfuziyet nedeniyle delinmeler ve kaynak kenarlarında yanma olukları gözlemlenmiştir (Şekil 8.1.a).
- Kaynak numarası 9 ve 10 olan kaynaklarda, torç mesafesi değiştirilmiştir. Torç mesafesi (9 numaralı kaynakta 15 mm'den 9 mm'ye) azaltıldığında nüfuziyetin arttığı belirlenmiştir (Şekil 8.1.a). Torç mesafesi (10 numaralı kaynakta 15 mm'den 21 mm'ye) arttırılınca kaynak dikişinde gözenek oluşumu belirlenmiştir (Şekil 8.1.b).
- Kaynak numarası 11, 12 ve 13 olan kaynaklara, kaynak işleminden önce uygulanan ön ısıtma sıcaklığının etkisi incelenmiştir. 50, 75 ve 100°C ön ısıtma sıcaklıkları uygulanmış, artan ön ısıtma sıcaklığı ile kaynak nüfuziyetinin ve çukurlaşmanın arttığı belirlenmiştir (Şekil 8.1.a).
- Kaynak numarası 14 olan kaynakta farklı elektrod teli (AlMg5) kullanılmıştır. AlMg5 elektrod telinin kullanılması, AlMg4.5Mn elektrod teli kullanılan kaynak dikişine (4 numaralı numune) kıyasla, görsel olarak önemli bir fark oluşturmamasına karşın, kaynak dikişinin mekanik özellikleri biraz artmıştır (Şekil 8.1a, Tablo 8.1).
- Kaynak numarası 15, 16, 17, 22 ve 23 olan kaynaklarda kalın etli (5 mm) borular kullanılmıştır. Ön ısıtma sıcaklığı ve farklı gaz türleriyle, nüfuziyet ve kaynak formu değişimi gözlemlenmiş ve artan ısıyla beraber nüfuziyetin arttığı görülmesine rağmen, bu numunelerin hepsinde tam nüfuziyet elde edilememiştir.
- Kaynak numarası 18 ve 19 olan kaynaklarda borunun dönüş yönünün tersinden belirli bir torç açısıyla (80°) kaynak işlemi yapılmıştır. Bu durumda kaynak önünün tavlandığı, bu nedenle aşırı nüfuziyet nedeniyle delinmelerin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8.1.b).

- Kaynak numarası 20 ve 21 olan kaynaklarda, daha düşük gaz debisi (12 lt/dk) kullanılmıştır ve kaynak yüzeyinde gözenek oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 8.1.b).

Kaynaklanmış borularda, kaynak işleminin başlangıç ve bitiş bölümlerinden çıkarılan numunelere uygulanan çekme testinde, kaynak numarası 4 ve 14 olan numuneler hariç, kaynak bitişinde daha yüksek mekanik özellikler belirlenmiştir. Bu yüksek mukavemetlerin nedeni kaynak işleminin ilerlemesiyle malzemedeki ısı yoğunluğunun artması ve böylece daha yüksek nüfuziyet elde edilmesidir. Kaynak numarası 4 ve 14 olan numunelerde, çekme testi sonunda meydana gelen kopma olayı asıl metalde meydana gelmiştir ve artan ısı yoğunluğuyla birlikte kaynağın ITAB bölgesinde aşırı yaşlanma oluşmuş, bunun sonucunda da kaynak bitiş bölümünün mekanik özellikleri daha düşük çıkmıştır.

Kaynak dikişlerinin mikroskop altında incelenmesinde, kaynak bölgesinde büyük gözenekler haricinde ince gözenek kümeleri tespit edilmiştir. Alüminyumun, yüksek ısı iletkenliği nedeniyle, hızlı katılaşma olduğu ve ince gözeneklerin birleşmeden küme halinde tane sınırlarında ve içinde kaldığı belirlenmiştir. Bu ince gözenek kümelerinin kaynak metalinin mukavemetine etkisinin az olduğu çekme deneyi sonuçlarından anlaşılmıştır.

10. GENEL SONUÇLAR

6082 T6 alaşımlı alüminyum boruların MIG gaz altı kaynak yöntemi kullanarak kaynakla birleştirme işlerinde, kaynak parametrelerinin, kaynatılmış yapıya etkileri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

1. Yapılan kaynak işlemleri sonunda Hemix 50 gazının, ihtiva ettiği helyum nedeniyle daha iyi sonuçlar verdiği, daha yüksek ısı yoğunluğu sağladığı belirlenmiştir.
2. Kaynak işleminde 110-157 Amperler arasında kullanılan kaynak akımlarında, akımın artmasıyla birlikte nüfuziyetin arttığı belirlenmiştir. Fakat çok yüksek akımlarda, fazla nüfuziyet nedeniyle çukurlaşmalar ve gözenek oluşumları gözlemlenmiştir. 131 Amper akım değerinde en uygun görsel kaynak formunun sağlandığı ve buna bağlı olarak en az hatalı ve mekanik özellikleri geliştirdiği saptanmıştır.
3. Torç açısının azalması (60°) durumunda, ark ile kaynak metalinin malzemeye taşınmadığı ve birleşmenin olmadığı, açının artmasıyla (85°) veya ters açı (80°) kullanılması durumunda ise fazla ısı yoğunluğu oluşması nedeniyle aşırı nüfuziyet meydana gelmesi ile delinmeler oluştuğu belirlenmiştir. 75° 'lik torç açısı değeri en uygun görsel kaynak formunu sağladığı ve buna bağlı olarak daha az hatalı kaynak dikişi oluşturduğu saptanmıştır.
4. Torç mesafesinin kısa olması (9 mm) nüfuziyeti arttırmakta ve çukurlaşmalara neden olmaktadır. Torç mesafesinin fazla olması (21 mm) halinde gözenek oluşumu ve yetersiz nüfuziyet oluştuğu belirlenmiştir. En uygun torç mesafesinin, kararlı ark oluşumu, uygun görsel kaynak formu ve az hatalı kaynak dikişi oluşumu sağlaması nedeniyle 15 mm olduğu saptanmıştır.
5. Kaynaklara uygulanan ön ısıtma işlemi ile, ısı iletiminin azaltıldığı ve bu şekilde nüfuziyetin arttırıldığı belirlenmiştir. Ön ısıtma, alüminyum alaşımlarının,

kaynağında ITAB bölgesinde aşırı yaşlanmaya neden olmakta, bunun etkisi de mekanik özelliklerdeki azalma olduğu belirlenmiştir. 2.5 mm et kalınlığındaki borular için ısıtma işlemi uygulanmayan kaynaklarda, en uygun sonuçların olduğu saptanmıştır.

6. 18 lt/dk'lık koruyucu gaz debisi yerine 12 lt/dk'lık koruyucu gaz debisi kullanıldığında kaynak dikişinde daha fazla miktarda gözenek hatalarının olduğu tespit edilmiştir.
7. AlMg4,5Mn elektrod teli yerine AlMg5 elektrod teliyle çalışıldığında, kaynaklanmış borularda biraz daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiş olmasına rağmen elektrod telindeki “Mn” ihtivasının kaynakta meydana gelebilecek çatlamalara karşı kaynak bölgesine daha dayanıklı bir özellik vermesi nedeniyle incelenen alüminyum alaşımlarının kaynağında AlMg4,5Mn elektrod teli tercihen uygun görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışmada 6082 T6 alaşımlı alüminyumdan ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş 2,5 mm et kalınlığındaki boruların MIG gaz altı ark kaynak yöntemiyle alın kaynağında, en iyi kaynak işleminin sağlanacağı kaynak koşullarının aşağıda belirtilen şekilde olduğu tespit edilmiştir.

- Kaynak akımı ve gerilimi: 131 Amper – 23 Volt
- Koruyucu gaz türü: HEMIX 50
- Koruyucu gaz debisi: 18 lt/dk
- Tel elektrod: AlMg4,5Mn
- Ön ısıtma sıcaklığı: Yok
- Torç açısı: 75°
- Torç mesafesi: 15 mm

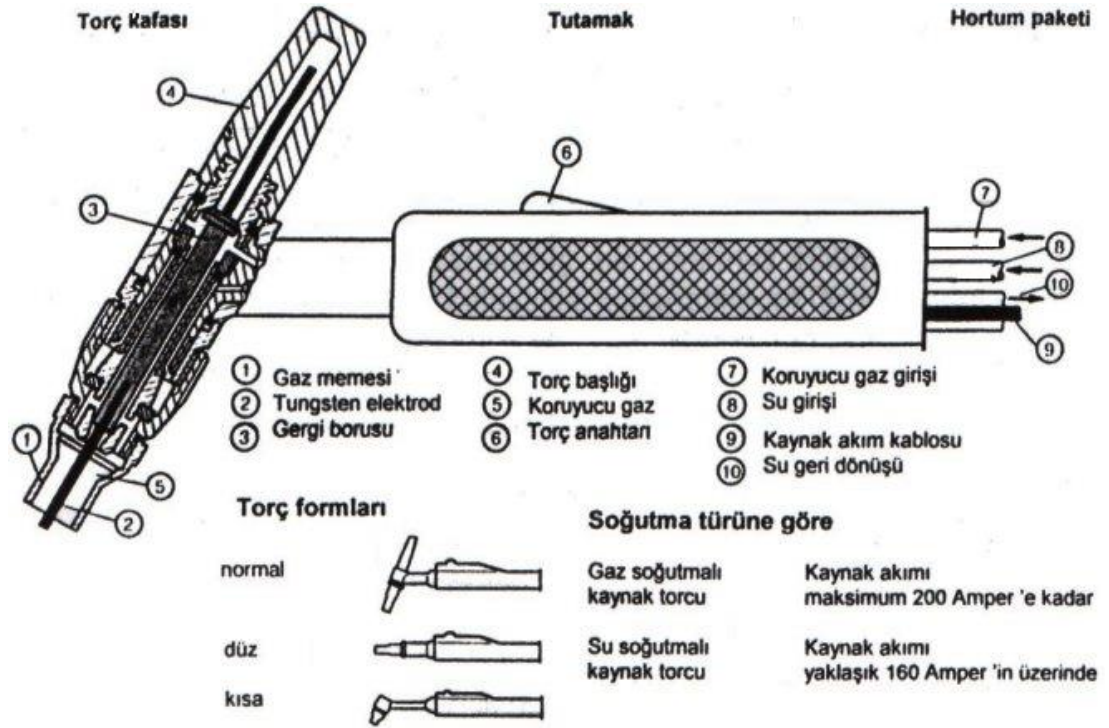
KAYNAKLAR

- [1] **Erşen, N., Karakuş, S.** 1986. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı.
- [2] **Anık, S.,** 1960. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [3] **Kou, S.,** 1987. Welding Metallurgy, John Willey & Sons, United States of America.
- [4] **ed. Burkin, A.R.,** 1987. Production of Aluminium and Alumina, John Wiley, Chichester.
- [5] **Smith, W.F.,** 1996. Principles of materials science and engineering 3rd edition, Mc Graw-Hill, New York.
- [6] **ed. Davis, J.R.,** 1987. Alüminyum and Alüminyum Alloys.
- [7] **ed. Weisman, C.,** 1976. Welding Handbook; c.4. Metals and Their Weldability, American Welding Society, Miami, United States of America.
- [8] **Kisse, J.R., and Ferry, R.L.,** 1995. Aluminium structures : a guide to their specification and design, Willey, New York.
- [9] 1986. The 4th International Conference on Age-Hardenable Aluminium Alloys, Balatonfüred, Hungary.
- [10] **Anık, S., Anık, E.S., Vural, M.,** 2000. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [11] **Anık, S., Vural, M.,** 1996. Gazaltı Ark Kaynağı : (TIG-MIG-MAG), GEV, İstanbul.

- [12] **Tülbentçi, K.**, 1990. MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding, İstanbul
- [13] **Tülbentçi, K.**, 1998. MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Artech, İstanbul
- [14] **TS-10387 EN-30042**, 1995. Alüminyum ve Kaynak Edilebilir Alaşımlarında Ark Kaynaklı Birleştirmeler-Kusurlar İçin Kalite Seviyeleri Kılavuzu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara. **Kural**
- [15] **TS EN-573-3**, 1996. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Kimyasal Bileşim ve Biçimlendirilmiş Mamullerin Biçimi Bölüm 1: Nümerik Kısa Gösterme Sistemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara. **Terim, Sembol.**
- [16] **TS EN-755-3**, 1997. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları-Ekstrüzyonla İmal Edilmiş Tellik ubuk/ubuk, Boru ve Profiller Bölüm 2: Mekanik zellikleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara. **Kural.**
- [17] **AWS A5.10**, 1992. Aluminium Welding Filler Alloy, *American Welding Society*, United states Of America. **Terim, Sembol.**
- [18] **ed. Bray, E., McBride.**, 1992. Nondestructive testing Techniques, A Willey Interscience, New York.
- [19] **Cartz, L.**, 1996. Nondestructive Testing, ASM International, United States of America
- [20] **TS-138 EN-10002-2**, 1996. Metalik Malzemeler-ekme Deneyi Blm 1-Ortam Sıcaklığında Deney metodu , *Trk Standartları Enstits*, Ankara. **Kural.**
- [21] **Petzow, G.**, 1999. Metallographic Etching : techniques for metallotraphy, ceramography, plastography, Materials Park, United States of America.

EKLER

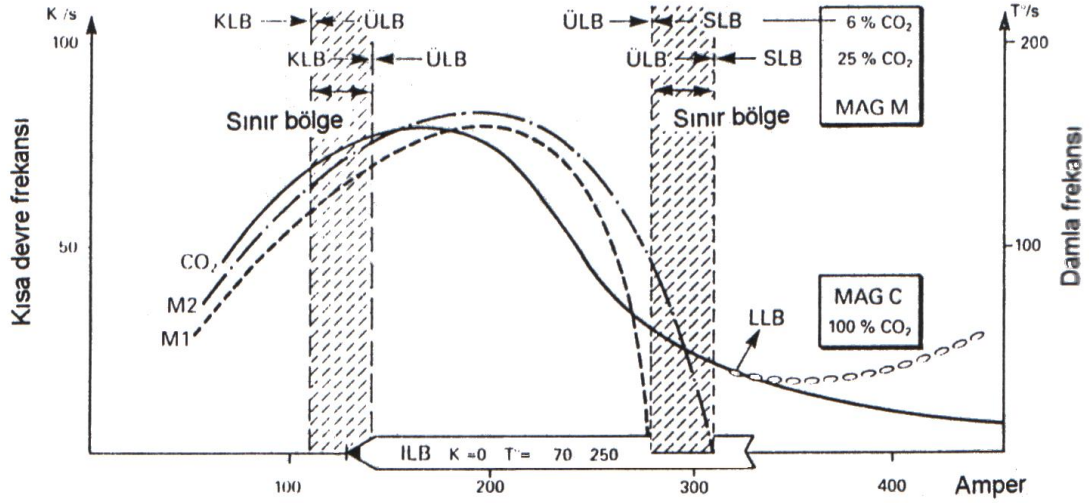
EK A



Şekil A.1. Su soğutmalı bir TIG torcunun elemanları [11].

Tablo A.1. Tungsten elektrodların gösterilişleri ve uygulama alanları [11].

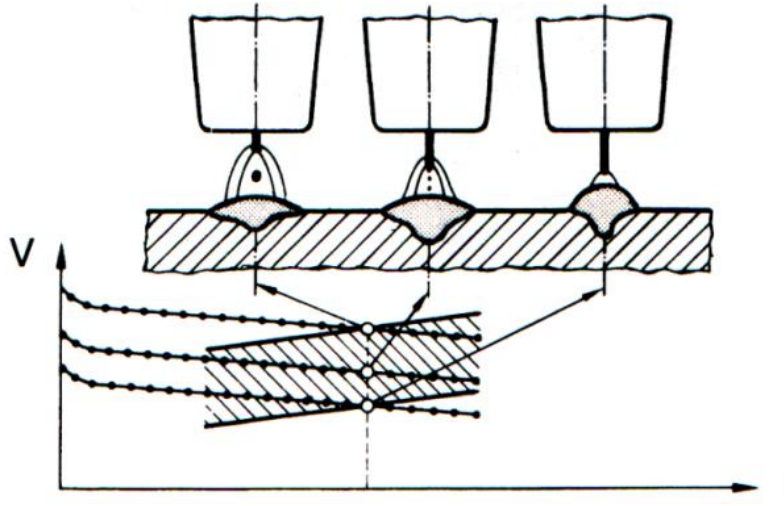
Uygulama	Kısa Gösterim	İlave	Tanınma Rengi
Doğru akımla kaynak (çelik, bakır) ve alternatif akım ile kaynak (alüminyum)	WT 10	Yaklaşık % 1 toryumoksit	sarı
Yüksek akımda ve 4 mm'nin üzerinde elektrod çaplarıyla alüminyumun doğru akımla kaynağı	W	İlavesiz	yeşil
Örneğin tam otomatik kaynakta yüksek tutuşma emniyeti	WT 30	Yaklaşık %3 toryumoksit	mor
Nükleer reaktör yapımında ışına maruz parçalar için	WZ 8	Zirkonyumoksit ilaveli	beyaz



KLB: Kısa ark Koruyucu gazlar:
 ÜLB: Ara (geçiş) ark M1 = %6 CO₂, %90 Ar, %4 O₂ K⁰/s = Kısa devre frekansı
 SLB: Sprey ark M2 = %25 CO₂, %75 Ar T⁰/s = Damla frekansı
 LLB: Uzun ark CO₂ = %100 CO₂
 ILB: Impuls ark

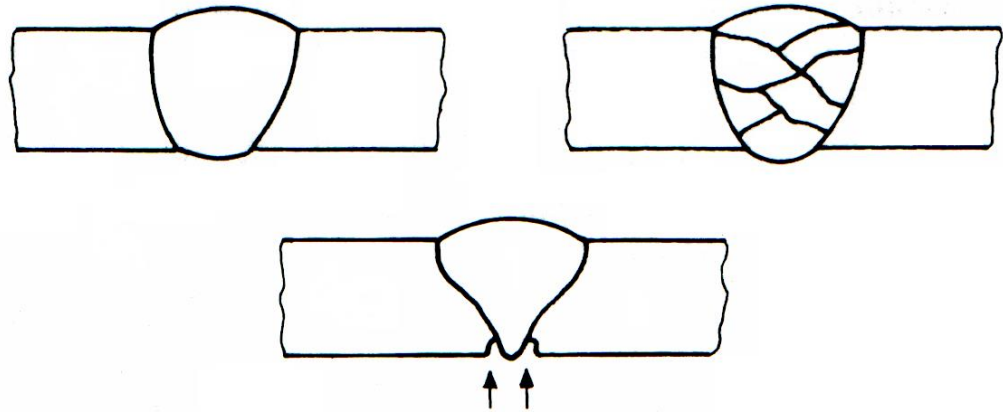
Şekil A.2. 1,2 mm tel elektrodla MAG kaynağında güç bölgeleri ve malzeme geçişini gösteren çalışma bölgeleri [10].

EK B

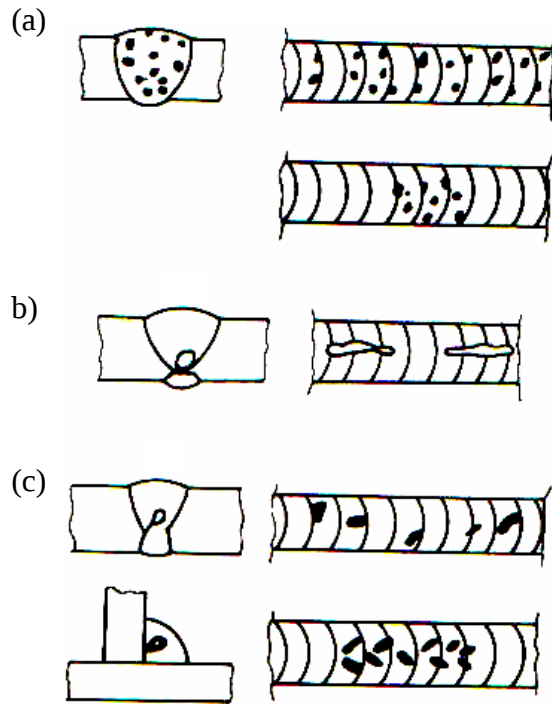


Şekil B.1. Ark gerilimi ve akım şiddetinin kaynak dikişinin biçimine etkileri [13].

EK C



Şekil C.1. Birleşme azlığı [12].



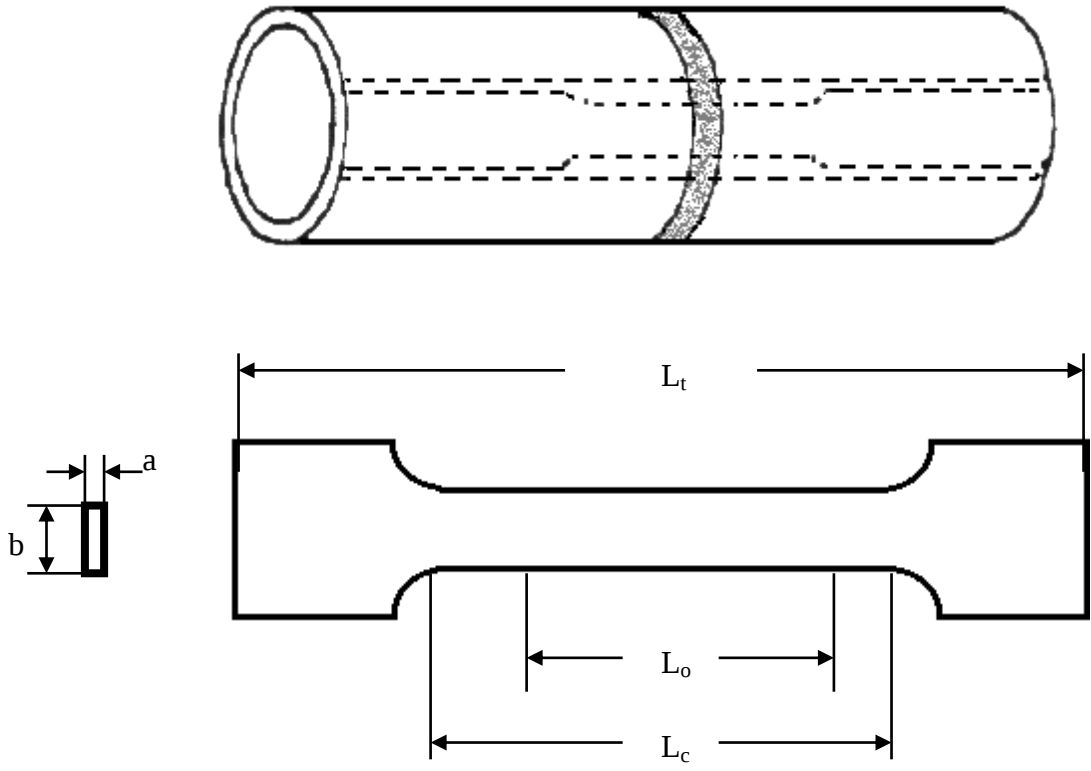
- a) Yuvarlak gözenekler
- b) Boylamasına gözenekler
- c) Gözenek kanalları

Şekil C.2. Kaynak dikişlerinde karşılaşılan çeşitli gözenek tipleri [12].

EK D

Tablo D.1. Yapılan kaynak işlemlerinin parametreleri

Kaynak Numarası	Kaynak Akımı (Amper)	Kaynak Gerilimi (Volt)	Gaz Tipi	Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)	Torç Açısı	Torç Mesafesi (mm)	Elektrod Tel Tipi	Gaz Debisi (lt/dk)
1	110	21	ARGON	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
2	110	21	HEMİX 50	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
3	131	23	ARGON	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
4	131	23	HEMİX 50	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
5	157	23	ARGON	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
6	157	23	HEMİX 50	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
7	131	23	HEMİX 50	YOK	60°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
8	131	23	HEMİX 50	YOK	85°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
9	131	23	HEMİX 50	YOK	75°	9 mm	AlMg4,5Mn	18
10	131	23	HEMİX 50	YOK	75°	21 mm	AlMg4,5Mn	18
11	131	23	HEMİX 50	50	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
12	131	23	HEMİX 50	75	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
13	131	23	HEMİX 50	100	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
14	148	24	HEMİX 50	YOK	75°	15 mm	AlMg5	18
15	131	23	HEMİX 50	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5 Mn	18
16	131	23	HEMİX 50	200	75°	15 mm	AlMg4,5 Mn	18
17	131	23	ARGON	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5 Mn	18
18	131	23	HEMİX 50	YOK	Ters 80°	15 mm	AlMg4,5Mn	18
19	148	24	HEMİX 50	YOK	Ters 80°	15 mm	AlMg5	18
20	131	23	HEMİX 50	YOK	75°	15 mm	AlMg4,5Mn	12
21	148	24	HEMİX 50	YOK	75°	15 mm	AlMg5	12
22	131	23	ARGON	200	75°	15 mm	AlMg4,5 Mn	18
23	131	23	HEMİX 50	250	75°	15 mm	AlMg4,5 Mn	18

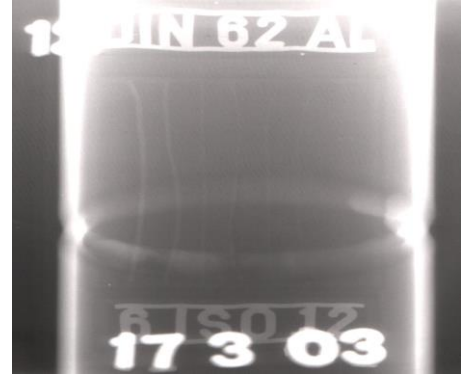


Şekil D.1. Kaynaklanmış borulardan çekme numunesinin çıkarıldığı bölgenin ve ölçümlendirilmesinin gösterimi.

Ek E



A)



B)



C)



D)

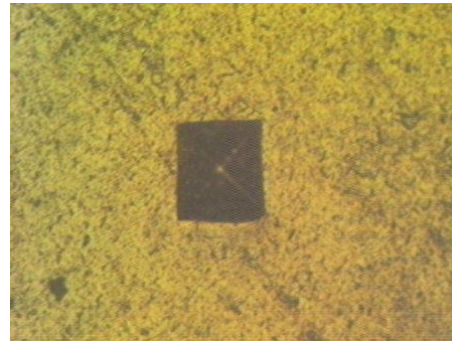
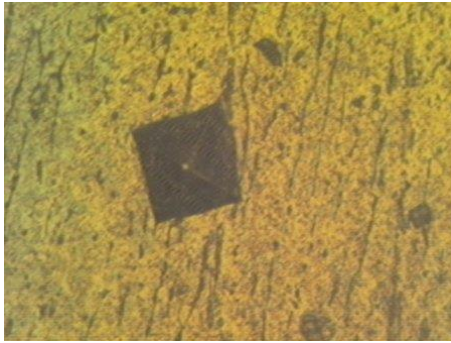
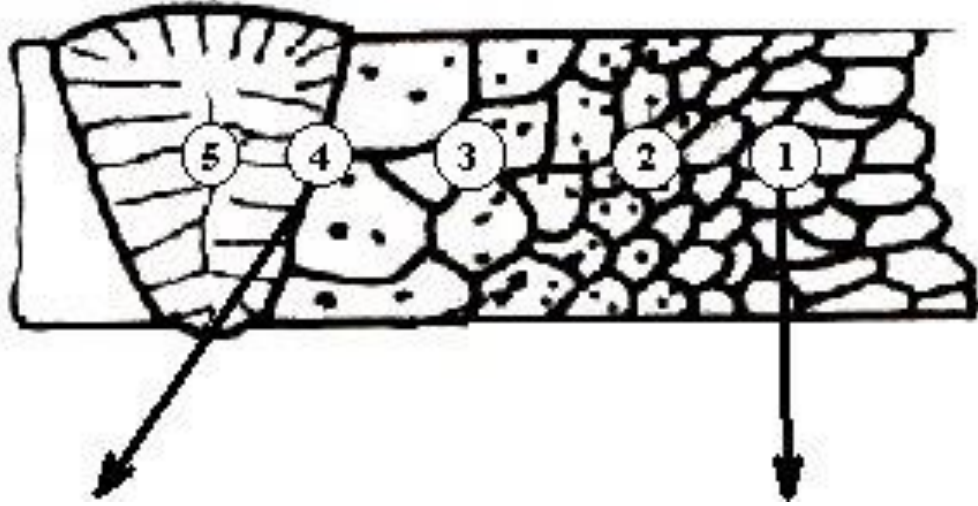


E)

Şekil E.1. A) Kaynak numarası 10, B) Kaynak numarası 12, C) Kaynak numarası 13, D) Kaynak numarası 2, E) Kaynak numarası 9, olan kaynatılmış boruların radyografik muayene filmleri

Tablo E.1. Kaynatılmış boruların radyografik muayene sonuçları

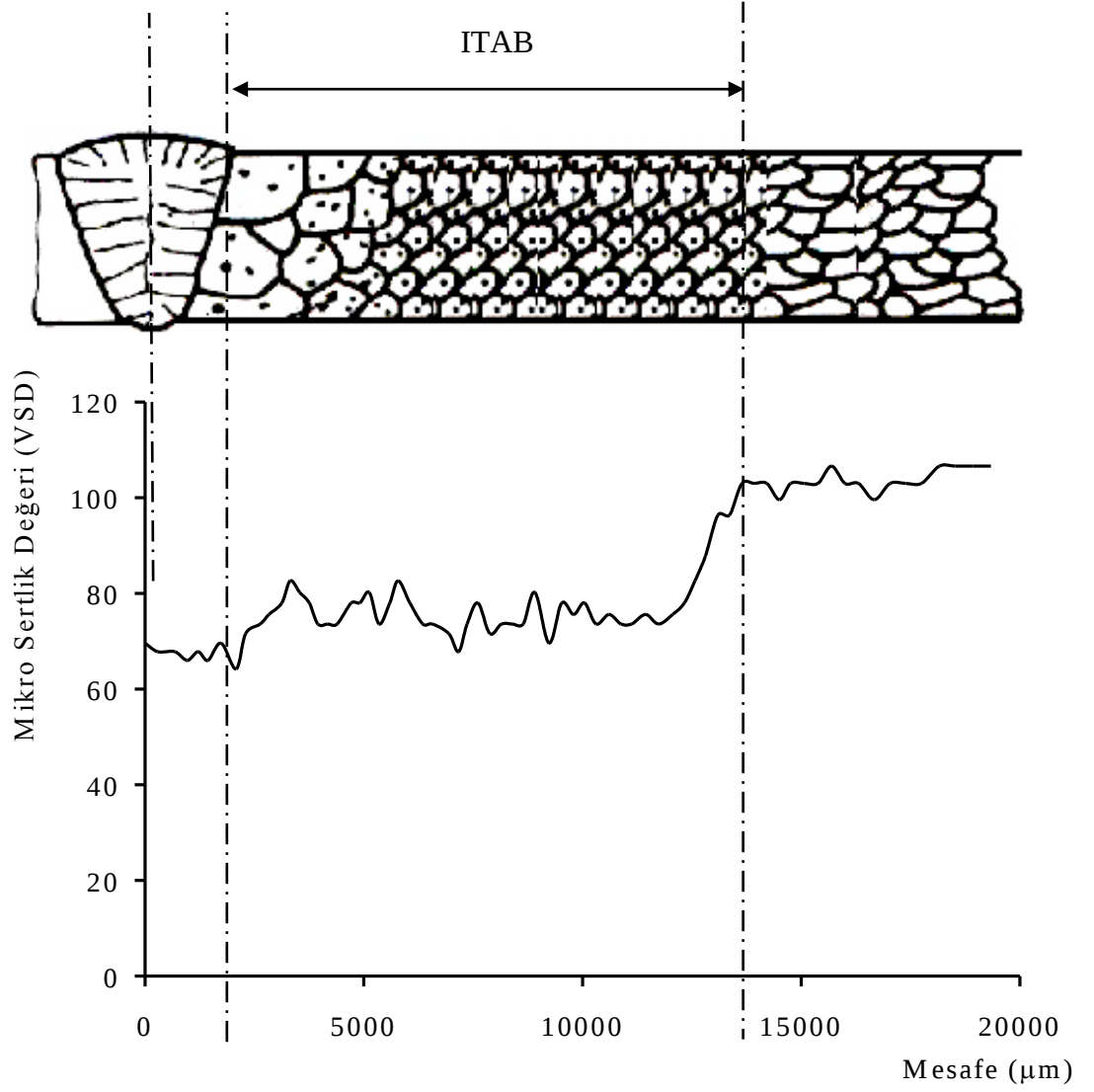
Kaynak numarası	Poz süresi (dakika)	Poz mesafesi (mm)	Belirlenen hata tipleri
2	8	400	Gözenek, Tek taraflı kök hatası
3	8	400	Kötü yüzey
4	8	400	Kötü yüzey
5	8	400	Kötü yüzey
6	8	400	Kötü yüzey
9	8	400	Gözenek, Kötü yüzey
10	8	400	Tek taraflı kök hatası
11	8	400	Tek taraflı kök hatası
12	8	400	Kökte çukurluk, Kötü yüzey
13	8	400	Kökte çukurluk, Tek taraflı kök hatası
14	8	400	Kötü yüzey
15	8	400	Tek taraflı kök hatası
16	8	400	Tek taraflı kök hatası
17	8	400	Tek taraflı kök hatası
20	8	400	Kötü yüzey
21	8	400	Kötü yüzey
22	8	400	Nüfuziyet noksanlığı
23	8	400	Nüfuziyet noksanlığı



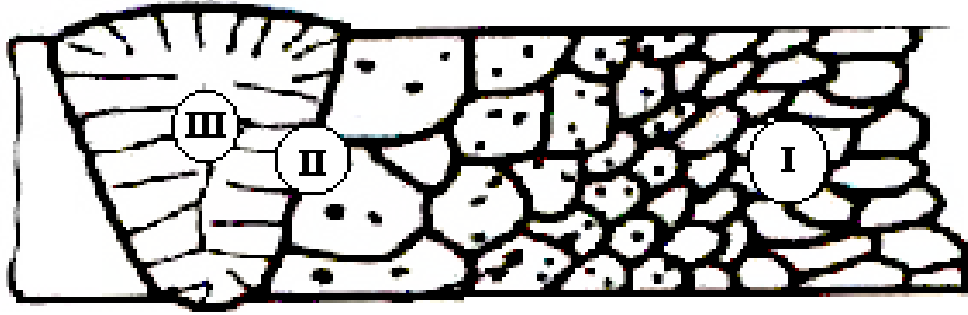
Şekil E.2. Kaynak bölgesinden mikro sertlik ölçüm yerlerinin ve mikro sertlik izinin gösterimi.

Tablo E.2. Şekil E.2’de gösterilen ölçüm yerlerine göre kaynak dikişlerinin mikro sertliği

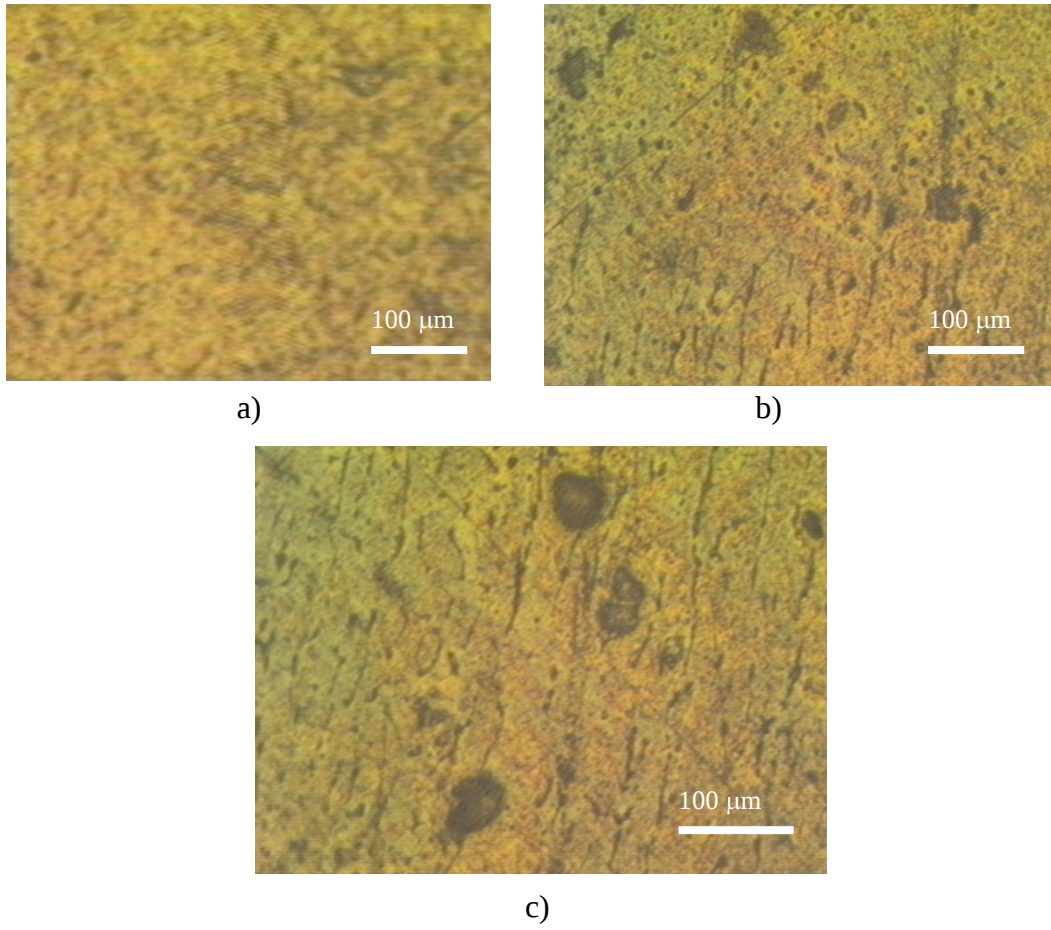
Kaynak Numarası	Sertlik Ölçüm Yerlerine Göre Sertlik Değerleri (VSD)				
	1	2	3	4	5
14	85,2	82,6	71,6	73,6	66
4	87,8	69,6	67,8	71,6	66
3	85,2	69,6	67,8	75,6	66



Şekil E.3. 4 numaralı kaynak numunesinin kaynak merkezinden itibaren asıl metale doğru mikro sertlik profili.

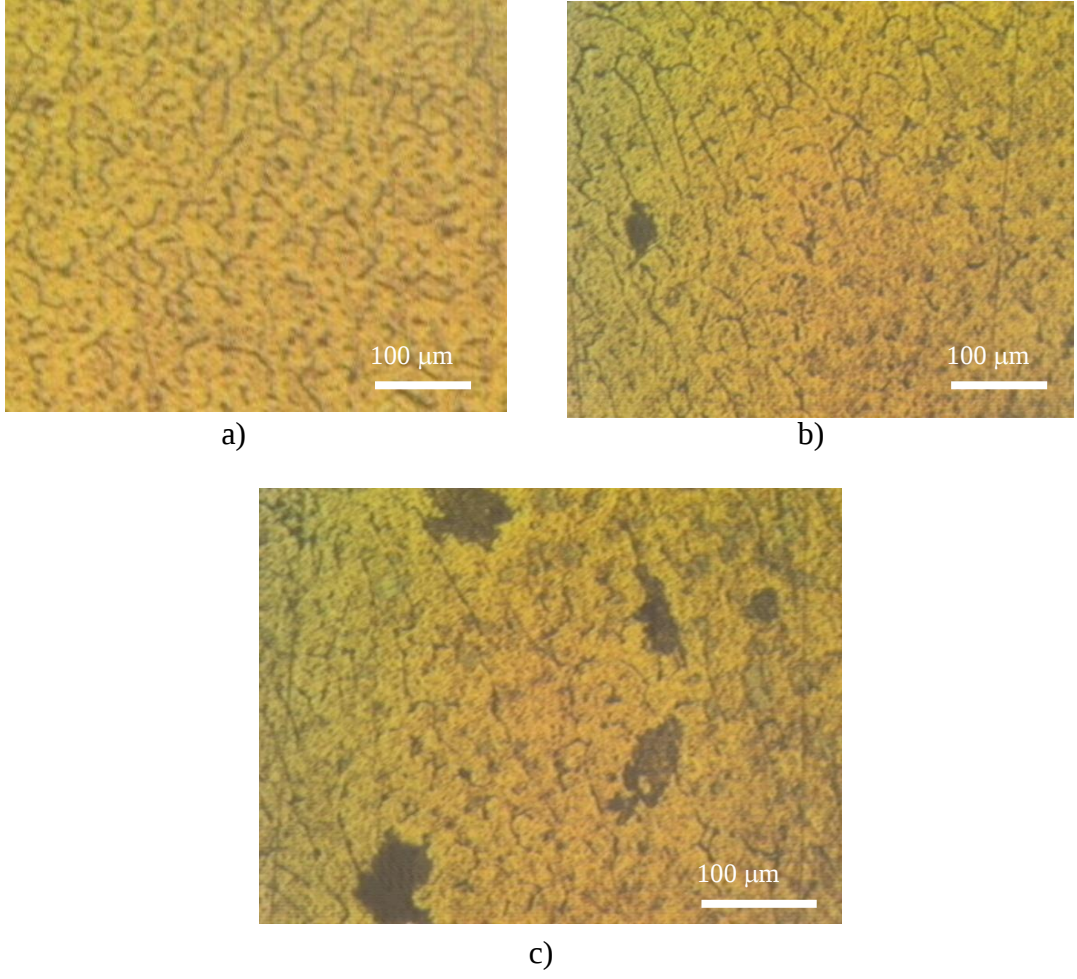


Şekil E.4. Kaynak dikişinde metallografik muayenenin yapıldığı bölgelerin gösterimi.



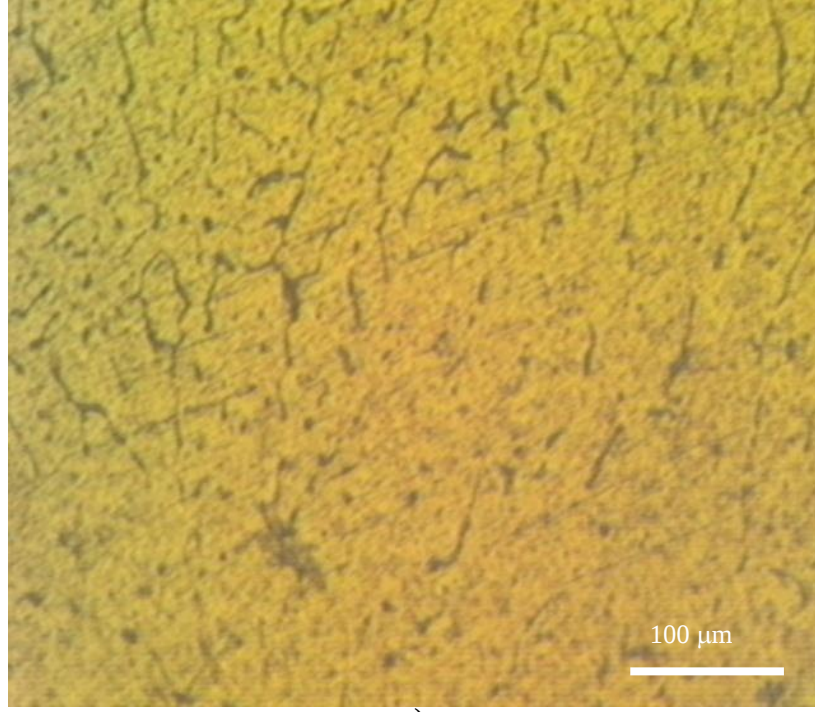
Şekil E.5. 14 kaynak numaralı numunenin, kaynak dikişinin Şekil E.4’de gösterilen bölgelere göre tane yapısı ve hataları

- (a) Şekil E.4’e göre “I” bölgesinin tane yapısı ve hataları
- (b) Şekil E.4’e göre “II” bölgesinin tane yapısı ve hataları
- (c) Şekil E.4’e göre “III” bölgesinin tane yapısı ve hataları

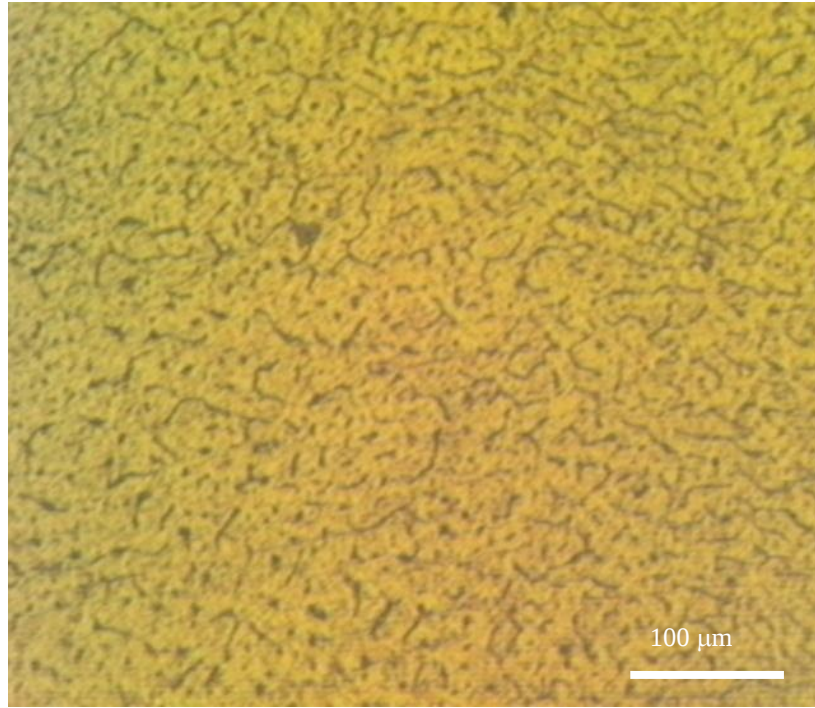


Şekil E.6. 4 kaynak numaralı numunenin, kaynak dikişinin Şekil E.4’de gösterilen bölgelere göre tane yapısı ve hataları

- (a) Şekil E.4’e göre “I” bölgesinin tane yapısı ve hataları
- (b) Şekil E.4’e göre “II” bölgesinin tane yapısı ve hataları
- (c) Şekil E.4’e göre “III” bölgesinin tane yapısı ve hataları



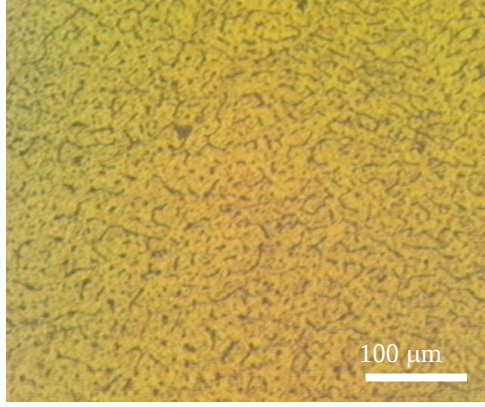
a)



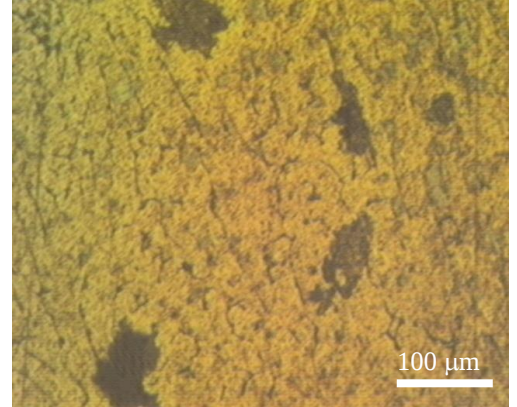
b)

Şekil E.7. 3 kaynak numaralı numunenin, kaynak dikişinin Şekil E.4’de gösterilen bölgelere göre tane yapısı ve hataları

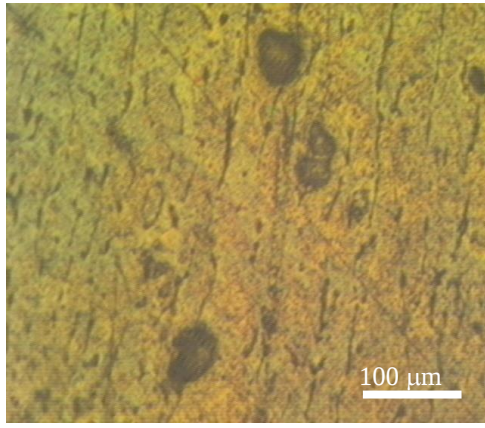
- (a) Şekil E.4’e göre “II” bölgesinin tane yapısı ve hataları
- (b) Şekil E.4’e göre “III” bölgesinin tane yapısı ve hataları



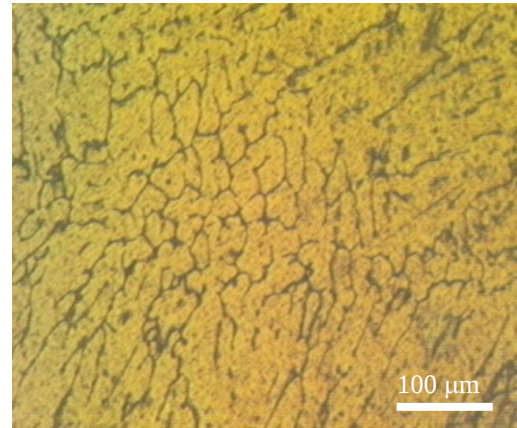
a)



b)



c)



d)

Şekil E.8. 3, 4, 14, 20 kaynak numaralı numunelerin, kaynak dikişlerinin Şekil E.4
'de gösterilen “III” bölgelerinin tane yapıları ve hataları

- (a) 3 kaynak numaralı numune
- (b) 4 kaynak numaralı numune
- (c) 14 kaynak numaralı numune
- (d) 20 kaynak numaralı numune

ÖZGEÇMİŞ

Ali Ufuk NOYAN, 1977-Diyarbakır doğumlu ve bekardır. Orta öğretimi Profilo Anadolu Teknik Lisesi – Bilgisayar bölümünden 1995 yılında tamamlamıştır. Lisans eğitimini, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji fakültesi, Metalurji mühendisliği bölümünde 1999 yılında tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimine 1999 yılında başlamıştır. 2001 yılında askerlik görevini tamamlamak için yüksek lisans eğitimini dondurmış ve 2002 yılının Mart ayında askerlik görevini tamamlamıştır.

Şu anda USKON A.Ş.’de kalite kontrol mühendisi olarak çalışmaktadır.