

Raylı Sistem Araçları İmalatında Kullanılan 6061 ve 5083 Alaşımlarının TIG ve MIG Kaynaklarının Tahribatlı ve Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Karşılaştırılması

Ayşe Betül Akman

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2018

Comparison of TIG and MIG Welding of 6061 and 5083 Alloys Used in Railway Systems
with Destructive and Non-Destructive Inspection Methods

Ayşe Betül Akman

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Metallurgy Engineering

Aug 2018

Raylı Sistem Araçları İmalatında Kullanılan 6061 ve 5083 Alaşımlarının TIG ve MIG Kaynaklarının Tahribatlı ve Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Karşılaştırılması

Ayşe Betül AKMAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Remzi GÜRLER

Ağustos 2018

ONAY

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ayşe Betül AKMAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Raylı Sistem Araçları İmalatında Kullanılan 6061 ve 5083 Alaşımının TIG ve MIG Kaynaklarının Tahribatlı ve Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Remzi GÜRLER

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Remzi GÜRLER

Üye : Prof. Dr. Bekir KARASU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Neşe ÖZTÜRK KÖRPE

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım klavuzuna göre, Prof. Dr. Remzi GÜRLER danışmanlığında hazırlamış olduğum “Raylı Sistem Araçları İmalatında Kullanılan 6061 ve 5083 Alaşımlarının TIG ve MIG Kaynaklarının Tahribatlı ve Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Karşılaştırılması “ başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 31.08.2018

Ayşe Betül Akman

ÖZET

Raylı taşıtlarla ulaşım, günümüzde en konforlu ve güvenli ulaşım seçeneği olmuştur. Yeni araç ve yol teknolojilerin uygulanması ile erişilebilen seyir hızları ve kullanım sıklığı artmıştır. Artan seyir hızları için araçların hafifliği ve kalite kontrolü çok büyük önem arz etmektedir.

Özellikle yolcu taşımacılığında tercih edilen Yüksek Hızlı Trenlerin gövde kısmında alüminyum malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca Habis kayar kapaklı tip gibi bazı vagonlarda da yan duvarlar, kapaklar gibi taşıyan yükü dış etmenlerden koruyan aksamalarda alüminyum bölümler bulunmaktadır. Bu sayede hafifletilen vagonlarla daha fazla yük taşınması sağlanmaktadır. İmalat yöntemi olarak kaynaklı birleştirme çalışmaları yapılmakta ve kalite kontrol yöntemi olarak tahribatlı ve tahribatsız birçok test kullanılmaktadır.

Bu çalışmada farklı serilerden olan 6061 T651 - 10 mm ve 5083 H111 - 10 mm kalınlıktaki alüminyum levhaların birbiri ile kaynakları tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleriyle incelenmiştir. ER5356 ve ER4043 dolgu teli kullanılan numuneler MIG kaynak yöntemi ve TIG kaynak yöntemi kullanılarak kaynak edilmiştir. Elde edilen kaynaklı numunelere; sıvı penetrant test, radyografik test, sertlik deneyi, makro inceleme, mikroyapı inceleme ve çekme testi uygulanmıştır. Sıvı penetrant testiyle yüzeye açık herhangi bir hatanın olmadığı, Radyografik test ile de kaynak dikişlerinde hacimsel hataların olmadığı tespit edilmiştir. Makro inceleme ile kaynak paso yapısı, mikroyapı incelemesi ile de kaynak kök bölgesinde oluşan içyapı incelenmiştir. Sertlik deney sonuçları ile sertlik dağılım grafikleri oluşturulmuştur ve çekme deney sonuçları göz önüne alınarak mukavemet karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmalar sonunda 10mm gibi yüksek kalınlıkta farklı cins alüminyumların, yüksek saflıkta argon gazı altında Metal Inert Gas yöntemiyle ER5356 dolgu teli kullanılarak başarıyla kaynaklanabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Tahribatlı Test, Tahribatsız Test, MIG Kaynağı, TIG Kaynağı, Kaynak İşlemleri

SUMMARY

Transportation by rail is now the most comfortable and safe transportation option. The application of new vehicles and road technologies has increased the speed of travel and the frequency of use. The lightness and quality control of the vehicles are of great importance for the increased cruising speeds.

Aluminum materials are used in the body part of High Speed Trains which are preferred especially for passenger transportation. In addition, some wagons, such as the Habis slip-on type, also have aluminum sections in the side walls, lids that protect the load carrying the lids from external factors. This allows more cargo to be transported to the wagon. Combination studies are performed as a manufacturing method and many destructive and non-destructive tests are used as quality control methods.

In this study, welds of 6061 T651 - 10 mm and 5083 H111 - 10 mm thickness aluminum plates from different series were investigated by non destructive and destructive inspection methods. The samples used with ER5356 and ER4043 filler metals were welded using the MIG welding method and the TIG welding method. The obtained welded samples are; liquid penetrant test, radiographic test, hardness test, macro examination, microstructure examination and tensile test were applied. It is determined that there is no fault open to the surface by the liquid penetrant test and there are no volumetric faults in the welding seams by radiographic test. Microstructure examination and microstructure examination have also examined the internal structure of the weld root zone. Hardness distribution graphs were prepared with the hardness test results and the strength comparison was made considering the tensile test results. At the end of the studies it has been shown that aluminum of different thicknesses such as 10 mm can be successfully welded by using ER5356 filler metal under Metal Inert Gas method under high purity argon gas.

Keywords: Aluminium, Welding, Non - destructive Inspection, Destructive Test, MIG Welding, TIG Welding

TEŞEKKÜR

Raylı sistem araç imalatında gelecekte yaygınlaşacak bir konuda bana çalışma imkanı veren ve tez çalışması boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Remzi GÜRLER' e teşekkür ederim.

TÜLOMSAŞ' ta yürüttüğüm tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Kalite Kontrol Daire Başkanı Ali Rıza ISIN' a, Kaynak Eğitim, Teknoloji ve Laboratuvarlar Şube Müdürü V. Serkan ÇÖKMEZ' e, teknik detaylar konusunda yardımcı olan mesai arkadaşlarım, Ş. Baha BAYDIR' a, Serkan KARABULUT 'a, Aytül EMRAN İLERİ' ye, numunelerin kaynak işlemlerini gerçekleştiren Sayın Şükrü ÇELİK' e ve TÜLOMSAŞ Deney Laboratuvarı personelleri Recep BAYRAKTAR' a, Musa AKARSU' ya ve Recep KARAMAN' a en içten dileklerle teşekkürü bir borç bilirim.

Değerli eşim Ali Nihat AKMAN' a, canım kızım Betüş' e ve sevgili aileme eğitim ve çalışma hayatım boyunca manevi desteklerini esirgemediği yanımda oldukları ve bana her zaman inandıkları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1. Raylı Sistemle Ulaşım	2
2.1.1. Raylı sistem araçları	3
2.1.2. Türkiye’de raylı sistem araç üretimi	4
2.1.3. Alüminyum	5
2.2. Kaynak İşlemi ve Sınıflandırılması	10
2.2.1. MIG - MAG kaynağı.....	13
2.2.2. MIG/MAG kaynak donanımı	14
2.2.2.1. <u>Güç ünitesi</u>	15
2.2.2.2. <u>Tel sürme</u>	15
2.2.2.3. <u>Hortum paketi</u>	16
2.2.2.4. <u>Kaynak torcu</u>	16
2.2.2.5. <u>Kumanda ve avar elemanları</u>	17
2.2.3. MIG/MAG kaynağında dikiş formuna etki eden faktörler	18
2.2.3.1. <u>Ark geriliminin etkisi</u>	18
2.2.3.2. <u>Kaynak akımı</u>	19
2.2.3.3. <u>Kutuplama</u>	21
2.2.3.4. <u>Kaynak hızı</u>	22
2.2.3.5. <u>Serbest elektrot uzunluğu</u>	23
2.2.3.6. <u>Elektrot açıları</u>	23
2.2.3.7. <u>Kaynak pozisyonları</u>	25

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.3.8. <u>Elektrot çapı</u>	27
2.2.3.9. <u>Koruyucu gazlar</u>	27
2.2.4. TIG kaynağı	30
2.2.5. TIG kaynağı donanımı	33
2.2.5.1. <u>TIG torcu</u>	33
2.2.5.2. <u>Tungsten elektrotlar</u>	34
2.2.5.2. <u>Kaynak makinası</u>	35
2.2.5.4. <u>Kontrol ünitesi</u>	35
2.2.6. TIG kaynağına etki eden faktörler	36
2.2.6.1. <u>Koruyucu gaz akış debisi</u>	36
2.2.6.2. <u>Elektrodun durumu</u>	37
2.2.6.3. <u>Akım türü ve kutuplama</u>	38
2.2.6.4. <u>Akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızını etkisi</u>	38
2.2.7. Kaynak hataları	39
2.3. Tahribatsız Muayene Yöntemleri	44
2.3.1 Görsel muayene.....	45
2.3.1 Sıvı penetrant muayenesi	46
2.3.3. Manyetik parçacık yöntemi.....	48
2.3.4. Girdap akımları yöntemi	52
2.3.5. Ultrasonik muayene	53
2.3.6. Radyografik muayene	56
2.4. Tahribatlı Muayene Yöntemleri.....	58
2.4.1. Sertlik testi	58
2.4.2. Çekme deneyi.....	62
2.4.3. Çentik darbe testi.....	64
2.4.4. Makro inceleme.....	66
2.4.5. Mikroyapı inceleme	67
2.4.6. Kimyasal analiz.....	69
2.4.7. Eğme deneyi.....	69

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.5. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar	71
3. MATERYAL VE YÖNTEM	74
3.1. Kullanılan Materyal	74
3.2. Yöntem.....	78
3.2.1. Penetrant test	79
3.2.2. Radyografik test	80
3.2.3. Makro yapı	81
3.2.4. Sertlik deneyi	82
3.2.5. Mikroyapı inceleme	82
3.2.6. Çekme deneyi.....	83
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	84
4.1. Kaynaklı Numunelerin Tahribatsız ve Tahribatlı Testleri.....	84
4.1.1. Penetrant test sonuçları	84
4.1.2. Radyografik test sonuçları	87
4.1.3. Makro yapı inceleme sonuçları	89
4.1.4. Sertlik deneyi sonuçları.....	91
4.1.5. Çekme deneyi sonuçları	94
4.1.6. Mikroyapı inceleme sonuçları.....	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Metal kaynağı çeşitleri.....	12
2.2. MIG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	13
2.3. MIG/MAG kaynak düzeneği.....	14
2.4. Alaşımız çelik elektrotlar için kaynak akımları ile elektrot besleme hızları arasındaki ilişki.....	19
2.5. ER4043 Alüminyum elektrotlar için kaynak akımları ile elektrot besleme hızları arasındaki ilişki.....	20
2.6. 300 Serisi Paslanmaz çelik elektrotlar için kaynak akımları ile elektrot besleme hızları arasındaki ilişki.....	20
2.7. Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi.....	22
2.8. Hareket ve Çalışma Düzlemleri ve Elektrot Açıları.....	24
2.9. Elektrot Açısının ve Kaynak Tekniğinin Etkileri.....	24
2.10. İçköşe kaynağı için normal çalışma açısı.....	25
2.11. İş parçasının eğiminin kaynak dikişinin şekline etkisi.....	27
2.12. Çeşitli koruyucu gazların nüfuziyete etkisi.....	30
2.13. TIG kaynağının prensip şeması.....	31
2.14. TIG kaynağında arkta yük taşıyıcıların üç farklı hareketi.....	32
2.15. TIG Kaynak Donanımı.....	33
2.16. Parça kalınlığına ve gaz memesinin çapına bağlı olarak argon tüketimi.....	37
2.17. Yetersiz ergime.....	39
2.18. Tamamlanmamış kök nüfuziyeti.....	39
2.19. Aşırı nüfuziyet.....	40
2.20. Yanma oluşu.....	40
2.21. Aşırı dışbükeylik.....	41
2.22. Üste binme.....	41
2.23. Yetersiz dolgu.....	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.24. Sıçrantı.....	42
2.25. Soğuk çatlak	43
2.26. Gözenek.....	43
2.27. Sıralı gözenek	44
2.28.Penetrant muayene adımları	47
2.29. Manyetik parçacık yöntemiyle çatlak tespiti	49
2.30. El yokesi	50
2.31. Girdap akımları ile muayene: a) Bobin b) Bobinde manyetik alan oluşumu	52
2.32.Ultrasonik muayeneyle çatlak tespiti.....	53
2.33.Ultrasonik test problemleri	55
2.34. Çeşitli kalibrasyon blokları.....	55
2.35. Radyografik muayene düzeneği	57
2.36.Brinell sertlik deneyi prensibi	59
2.37.Rockwell sertlik deneyi	60
2.38.Vickers sertlik deneyi	61
2.39. Çekme numunesi deney öncesi ve deney sonrası.....	63
2.40. Düşük karbonlu bir çeliğin çekme diyagramı	63
2.41. Çentik darbe deney düzeneği.....	65
2.42. Çentik darbe numunesi	66
2.43. Makro örneği	67
2.44. Lamel grafitli dökme demir mikroyapısı.....	69
2.45. Eğme deney düzeneği.....	70
3.1. Temsili kaynak kesidi.....	78
3.2. Uygulanan Penetrant ürün ailesi.....	79
3.3. Radyografi Cihazı.....	80
3.4. Makro cihazı foto.....	81
3.5. QNESS sertlik cihazı foto	82
3.6. Optik mikroskop foto	82

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.7. Çekme numunesi temsili şekil.....	83
3.8. Çekme test cihazı.....	83
4.1. 1 No'lu kaynaklı parçanın PT sonucu	85
4.2. 2 No'lu kaynaklı parçanın PT sonucu	85
4.3. 3 No'lu kaynaklı parçanın PT sonucu	86
4.4. 4 No'lu Kaynaklı parçanın PT sonucu	86
4.5. 1 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu.....	87
4.6. 2 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu.....	87
4.7. 3 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu.....	88
4.8. 4 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu.....	88
4.9. 1 No'lu kaynaklı numunenin makro yapısı.....	89
4.10. 2 No'lu numunenin makro yapısı	89
4.11. 3 No'lu kaynaklı numunenin makro yapısı.....	90
4.12. 4 No'lu kaynaklı numunenin makro yapısı	90
4.13. 1. Numunenin sertlik dağılım grafiği	92
4.14. 2. Numunenin sertlik dağılım grafiği	92
4.15. 3. Numunenin sertlik dağılım grafiği	93
4.16. 4. Numunenin sertlik dağılım grafiği	93
4.17. ER5356 ile MIG kaynağı mikroyapı, 100X	95
4.18. ER4043 ile MIG kaynağının mikroyapı görüntüsü, 200X.	95
4.19. ER5356 ile TIG kaynağının mikroyapı görüntüsü, 100X.	96
4.20. ER4043 ile TIG kaynağının mikroyapı görüntüsü, 100X.	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bazı alaşım elementlerinin alüminyumun özelliklerine etkileri.....	9
2.2. Alüminyum alaşımlarında işlem durumları gösterimleri.....	10
2.3. Tungsten elektrot çeşitleri.....	34
2.4. Malzemelerin ve dolgu tellerinin kimyasal kompozisyonu.....	71
3.1. 6061 T651 alüminyum plakanın kimyasal kompozisyonu.....	74
3.2. 5083 H111 alüminyum plakanın kimyasal kompozisyonu.....	74
3.3. 5083 H111 alüminyum plakanın mekanik değerleri.....	75
3.4. 6061 T651 alüminyum plakanın mekanik değerleri.....	75
3.5. Kaynak numaraları ve kullanılan kaynak yöntemi.....	75
3.6. ER5356 dolgu teli kimyasal kompozisyonu.....	75
3.7. ER4043 dolgu teli kimyasal kompozisyonu.....	75
4.1. Numunelerin Sertlik deney sonuçları.....	91
4.2. Çekme deneyi sonuçları.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Kısaltmalar****Açıklama**

AC	Alternative Current
BSD	Brinell Sertlik Değeri
DCEN	Doğru Akım Negatif Elektrot
DCEP	Doğru Akım Pozitif Elektrot
HAZ	Heat Affected Zone
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal InertGas
MT	Manyetik Parçacık Testi
NDT	NonDestructive Testing
PT	Penetrant Test
R _m	Çekme Mukavemeti
R _{p0,2}	Akma Mukavemeti
RT	Radyografik Test
UT	Ultrasonik Test
TIG	Tungsten InertGas
TM	Tahribatsız Muayene
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
VSD	Vickers Sertlik Değeri

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ülkemizde Raylı sistem araçlarıyla yük ve yolcu ulaşımı her zaman tercih edilmiştir. Dünya’da günümüz şartlarında raylı sistemlerle ulaşım bir ihtiyaca dönüşmüştür. Teknoloji ilerledikçe farklı niteliklere sahip malzemeler kullanarak çok çeşitli araçlar üretilmeye başlanmıştır ve üretim safhasındaki kalite kontrolün de önemi artmıştır.

Bu çalışmada Türkiye Lokomotif ve Motor San. A.Ş. (TÜLOMSAŞ) tesislerinde üretilen araçlarda kullanılması düşünülen farklı seri alüminyum malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri için dolgu metali ve kaynak parametreleri belirlenmiş, uygulama aşamasında tahribatlı ve tahribatsız muayenesi yapılmış ve elde edilen test sonuçlarına göre önerilerde bulunulmuştur. Kullanılan dolgu metali ve kaynak yöntemi de değiştirilerek sonuçlar incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada farklı alüminyum parçaların kaynaklı birleştirmelerinde kullanılan kaynak yöntemlerinden, bu birleştirmelerde kullanılan kaynak parametrelerinden de bilgiler verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Raylı Sistemle Ulaşım

Raylı taşıtlarla ulaşım, günümüzde en konforlu ve güvenli ulaşım seçeneklerinden birisidir. Raylı sistemle ulaşım, enerji tasarrufu sağlaması, güvenli, ucuz, konforlu ve hızlı olması, trafik kazalarının nadiren görülmesi gibi sebeplerle karayolu taşımacılığına alternatif olmaktadır. Yatırım maliyetlerinin nispeten ucuz olması, çevre dostu olması gibi üstünlükleri de göz ardı edilememektedir. Sağladığı birçok avantajla raylı sistem taşımacılığı, dünyada en çok tercih edilen taşımacılık seçeneğidir ve raylı sistem taşımacılığının ülkemiz açısından da önemi büyüktür. Ülkemizde son yıllarda yapılan ve yapılması planlanan yeni projelerle demiryolu ağımızın daha verimli ve aktif kullanılması amaçlanmaktadır. Böylece insanların daha güvenli, konforlu ve ucuz seyahat etmeleri sağlanacak ve yük taşımacılığı da geliştirilecektir.

Raylı taşımacılık, gelişmiş birçok Avrupa ülkesi (Fransa, İngiltere, Almanya, vb...) ve Japonya'da yüksek teknolojilerle uygulanmaktadır.

Raylı sistem taşımacılığının avantajları;

- Enerji tüketimi diğer ulaşım sistemlerine kıyasla azdır.
- Hızlı tren teknolojisi sayesinde ulaşılan hızlar yüksektir.
- İstatistikler, trafik kazası açısından demiryolu ulaşımının en güvenilir ulaşım sistemi olduğunu göstermektedir.
- Yolcu taşıma ve yük taşıma yönlerinden raylı sistemle taşıma toplu taşıma için en elverişli ulaşım sistemidir. Raylı taşımanın en belirgin özelliği taşıtların iki dizi ray üzerinde kılavuzlu olarak yuvarlanması ve bu nedenle de metal-metal üzerinde yuvarlanmasıyla sürtünme direncin küçük olmasıdır. Bu da ağır yüklerin küçük çekiş kuvvetleri ve az sayıda personelle taşınabilmesini olanak verir.
- Çok büyük arazi kullanımı olmadan büyük yükler taşınmasına olanak sağlar.
- Sistem otomasyona elverişlidir.
- Çekiş sistemleri bakımından teknolojik gelişmelere ayak uydurabilme olanağına sahiptir.

- Bugüne kadar buharlı, dizelli ve elektrikli çekim kullanılmış olup şimdi de helikopter motorlarından esinlenerek gaz türbin motorları başarı ile uygulama alanına girmiş bulunmaktadır.
- Elektrikli çekişin kullanıldığı araçlarda yerleşim bölgeleri başta olmak üzere havanın kirlenmesi önlenmektedir.
- Hava koşulları değişiminden en az etkilenen taşıma sistemidir.
- Ekonomik yönden ise demiryolları artan verimle çalışan kuruluşlardır. Yani trafiğin artması halinde doğacak giderler elde edilecek gelir yanında küçük kalır.

Raylı sistem taşımacılığın dezavantajları;

- İnşa yatırımları yüksektir.
- Raylı sistemde hareketin iki rayın kılavuzluğunda belirlenmiş bir eğri üzerinde olması zorunluluğu, faydaları yanı sıra ayrıca sakıncaları da getirmektedir. Hem yatırım hem de işletme maliyetleri bu yüzden yüksektir.

Raylı sistem taşımacılığın avantaj ve dezavantajlarını dikkate aldığımızda yük ve yolcu taşımacılığında açık ara en iyi ulaşım sisteminin demiryolu taşımacılığı olduğu görülmektedir.

2.1.1. Raylı sistem araçları

Raylı sistemler çeken ve çekilen araçlardan oluşmaktadır. Çeken araçlar lokomotifler, çekilen araçlar ise vagonlardır. Dünya'da ülkelerdeki gelişmişlik seviyesine göre bu araçların çok çeşitleri bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bazıları aşağıda verilmiştir.

Çeken araçlar;

- Buharlı lokomotifler,
- Dizel lokomotifler,
- Elektrikli lokomotifler,
- Gaz türbin-elektrikli lokomotifler,

- Maglev lokomotifler,
- Melez lokomotiflerdir.

Çekilen araçlar;

- Yolcu vagonları,
- Kapalı Yük Vagonları,
- Rinss Tenteli Vagonu,
- Habıs Cevher Vagonu,
- Tanıs Tahıl Vagonu,
- SGSS Konteynır Vagonu,
- Sarnıç Vagonu,
- Özel amaçlı vagonlardır.

2.1.2. Türkiye’de raylı sistem araç üretimi

Türkiye’de çeken araç üretimi, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi’ne bağlı ortaklık olan Türkiye Lokomotif ve Motor San. A.Ş. (TÜLOMSAŞ) ‘ta yapılmaktadır. TÜLOMSAŞ, 1894 yılında lokomotifler için bir Bakım ve Revizyon Atölyesi olarak kurulmuştur. Seneler içinde gelişip ağır sanayi kuruluşuna dönüşen ve 1986 yılında TÜLOMSAŞ adını alan bir İktisadi Devlet Teşekkülüdür.

Günümüzde TÜLOMSAŞ'ta dizel, dizel-elektrikli ve elektrikli lokomotif ve çeşitli yük vagonları üretimleri yapılmaktadır.

Çekilen araçlar ise TÜLOMSAŞ'ın yanı sıra yine Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi’ne bağlı ortaklıklar olan TÜDEMSAŞ ve TUVASAŞ'ta üretilmektedir.

2.1.3. Alüminyum

Çeşitli bileşikler hallerinde bulunan ve yer kabuğunun %8'ini oluşturan alüminyum hafif metallere aittir. Doğada en çok bileşiği bulunan metaller arasında oksijen ve silisyumdan sonra üçüncü sıradadır.

Alüminyum doğal olarak oksit, sülfat, florür ve silikat hallerinde birçok değişik hallerde bulunsa bile, kullanılabilen alüminyum cevheri, yalnızca boksit adı verilen, hidratlaşmış haldeki bir alüminadır. Doğal şartlarda korundum, zımpara, yakut ve göl yakutu biçiminde bulunanları da vardır. İçlerinden sadece korundum (saf alümina) doğada kendiliğinden oluşabilir. Öteki polimorfik yapıların oluşması ise boksitin yani hidratin cinsiyle kristalizasyon olurkenki şartlara bağlıdır . (Darıdereli, 2010)

Alüminyum periyodik tabloda 3A grubunda bulunan, atom numarası 13 olan, yüzey merkezli kübik kristal yapıda mat gümüşü renkli yumuşak bir metaldir. Atom ağırlığı 26.98 g/mol olan ve hafif metallerden kabul edilen alüminyumun iyon çapı 0.86 Å ve atom çapı 1.43 Å'dür.

Alüminyumun erime noktası 658°C'dir ve -269°C' den erime noktasına kadar kararlı bir yapı gösterir herhangi bir fiziksel dönüşüm olmaz. Ancak, havadaki oksijen ile temas ettiğinde alüminyumun üzeri çok ince bir oksit tabakasıyla kaplanır. (Kadayıfçı, 2013)

Alüminyum, kıvılcım çıkarmayan, zehirleyici etkisi olan ve diyamanyetik bir metaldir yani mıknatıslanmaz. Isıl iletkenlik ve elektriki iletkenlik yönünden bakırdan zayıf olmasına rağmen spesifik ısıl iletkenlik (ısı iletkenliği/yoğunluk) ve spesifik elektriki iletkenlik (elektrik iletkenliği/yoğunluk) değerleri bakırdan daha iyidir.

Alüminyumun yoğunluğu 2,7 g/cm³ civarında olup çeliğin (7,83 g/cm³) ve bakırın (8,93g/cm³) yoğunluklarının neredeyse üçte biri kadardır. Alaşımız alüminyumun çekme dayanımı 49 MPa civarında iken alaşımlandırılınca bu değer 700 MPa' a kadar çıkabilir. Dayanç değerleri çelikten düşük olsa da malzeme kesidi arttırılınca çeliğe eşdeğer

dayançlar sağlanmaktadır. Konstrüksiyonlarda çelik yerine alüminyum ve alaşımları kullanılarak ağırlıkta düşme avantajından yararlanılmaktadır.

Alüminyumun elastiklik modülü de çeliğin üçte biri civarındadır. Bu sebeple basma gerilmesine maruz kalan, alüminyumdan üretilmiş elemanlarda birçok kritik durum oluşabilir. Fakat alüminyum çeliğe nazaran şok darbeli yüklere daha yüksek direnç gösterir. Eğer konstrüksiyonda tasarım doğru yapılırsa, basit yapı çeliği yerine alüminyum seçilerek toplam ağırlıktan %50 gibi yüksek bir oranda hafifletme sağlanabilir.

Yeni nesil yolcu taşımacılığında ve yük vagonlarında hafiflik avantajından yararlanmak için bazı araç elemanlarının üretiminde ana malzeme olarak alüminyum tercih edilmektedir.

Ticari alanda kriter olarak yalnızca yüksek elektrik iletkenliğinin arandığı uygulamalarda saf alüminyum kullanılırken, mekanik işleme ve döküm özelliklerini iyileştirmek için çoğunlukla çeşitli alaşım elementleri kullanılır. Elde edilen alüminyum alaşımının mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini kullanılan alaşım elementleri ve oluşan mikroyapı belirler. Bazı alaşım elementlerinin alüminyumunun özelliklerine etkisi Çizelge 2.1’de örneklenmiştir.

Alüminyum alaşımları oluşturulurken kullanılan alaşım elementlerinin başında bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinko gelir.

Alüminyumun alaşım çeşitleri işleme ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılır. İşleme alaşımları plastik şekil değişim kabiliyetleri çok iyi olduğundan basitçe şekillendirilebilirler. Hem işleme ve hem de döküm alüminyum alaşımlarının çok büyük bir kısmına ısıl işlem uygulanabilmektedir. Alüminyum işleme alaşımlarından yassı ürün olarak çeşitli kalınlıklarda sac ürünler, folyo ve levhalar, yuvarlak ürün olarak tel ve borular, ayrıca farklı ebatlarda ve şekillerde profil ürünler üretilir.

Amerika’ daki alüminyum birliğinin sınıflandırmasına göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır.

Dört rakamlı olan simgenin ilk rakamı alaşımın hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir. 2 XXX' den 8 XXX' e kadar olan gruplarda ilk rakam alaşımın türünü ikinci rakam oluşan değişimleri belirtir, sondaki iki rakamın özel bir anlamı olmayıp, bir alaşımı gruptaki diğer alaşımlardan ayırmak için kullanılan sıra numarasıdır. Bu alaşımların işlem durumlarını göstermek için de harfler ve rakamlar kullanılır, ana işlem durumu bir harfle belirtilirken, varsa bu işlemde oluşan değişimler ise bir rakam ile belirtilir. Çizelge 2.2' de bu gösterimler verilmiştir.

1 XXX grubu saf alüminyum (% 99.00) belirtir. Sadece bu grupta son iki rakam % 99 değerinin noktadan sonraki değerini gösterir. Ayrıca soldan ikinci rakam da özellikle kontrol edilen katkı elementlerin sayısını söyler ve 1' den 9' a kadar farklılık gösterebilir.

İşleme alaşımları soğuk işleme tabii tutularak mukavemet kazananlar ve ısıl işleme tabii tutularak mukavemet kazananlar olmak üzere iki farklı gruba ayrılırlar. Birinci gruba göre ikinci grup daha çok sayıda katkı elementi bulundurur.

Alüminyum dövme alaşımlarının sınıflandırması şu şekildedir:

1XXX grubu: %99'un üzerinde alüminyum içeren alaşımlar bu gruba aittir. İyi elektriksel iletkenliklerinden ötürü, uygulama alanlarından biri elektrik mühendisliğidir.

Ayrıca bu malzemeler, iyi termik iletkenlikleri ve yüksek yansıtma faktörleri ile kendilerini ayırt ederler.

Korozyon direnci de yüksektir. Bu da, aygıt ve tank konstruksiyonu gibi ek uygulama alanlarını getirir. Buna ilaveten, bu malzeme grubundan yapılan yan mamuller ambalaj malzemesi gibi, gıda endüstrisinde çok uygundur.

Bu malzemelerin saflığı arttıkça mukavemetin düşmesi ise bir dezavantajdır.

Saf alüminyum kaynağa son derece uygundur ve iyi bir şekilde sert lehimleme yapılabilir.

2XXX grubu: Bu grupta Al-Cu alaşımları bulunur. Ana alaşım elementi bakır olup, magnezyum başta olmak üzere farklı alaşım elementleri de bulunabilir, malzemelerde yüksek dayanç değerleri istenen havacılık sektöründe epey yaygın olarak kullanılmaktadır.

3XXX grubu: Bu grupta Al-Mn alaşımları bulunur. Ana alaşım elementi mangan olup, transfer boruları, sıvı depolama tankları ve bazı mimari uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır.

4XXX grubu: Bu grupta Al-Si alaşımları bulunur. Ana alaşım elementi olarak silisyum kullanılır. Korozyona dayancın ve aşınmaya direncin yüksek olduğu, termal genleşme katsayısının ise düşük olduğu alaşım türüdür. Özellikle kaynaklı yapılarda, levha gibi yassı malzeme üretiminde ve otomobil elemanları imalatında tercih edilmektedir.

5XXX grubu: Bu grupta Al-Mg alaşımları vardır. Temel alaşım elementi magnezyum olup, magnezyumun alaşım içindeki oranı arttıkça sertlik değeri ve mukavemet artar ancak süneklikte azalma olur. Bu alaşım gurubunun tuzlu su ortam korozyonuna karşı direnci yüksek olduğundan, denizel ortam şartlarında çalışacak yapı elemanları üretiminde kullanılmaktadır.

6XXX grubu: Bu grupta Al-Mg-Si alaşımları bulunur. Ana alaşım elementleri olarak magnezyum ve silisyum bulunur. Şekillendirilme yeteneği gayet yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilecek parçalarda sıkça tercih edilir.

7XXX grubu: Bu grup Al-Zn alaşımlarından oluşur. Ana alaşım elementi çinkodur. İlave alaşım elementi olarak magnezyum, krom ve zirkonyum kullanılır. Bu gruptaki alaşımlar alüminyum alaşımları içindeki en yüksek dayanç değerlerine sahip olanlarıdır. Uçak parçaları gibi çok yüksek dayanç istenen elemanların imalatında tercih edilmektedir.

8XXX grubu: Al-Li alaşımlarından oluşan bu grubun temel alaşım elementi lityumdur. Bazı durumlarda kalay da ilave edilmektedir. Son yıllarda havacılık ve uzay yapı elemanları imalatında sıkça kullanılan bu alaşım, yorulma direncinin yüksek olması ve iyi tokluk özellikleri için tercih edilmektedir. Ancak diğer alüminyum alaşımlarına göre üretim maliyetleri daha yüksektir. (Kadayıfçı, 2013)

Alaşımlamada kullanılan bazı ilave elementlerin alüminyumun özelliklerini nasıl etkilediği Çizelge 2.1’ de belirtilmiştir.

Gurupların sayısal gösterimlerinden sonra kullanılan “NHT” kısaltması ısıtıl işlem göremez anlamına gelir ve “HT” ise ısıtıl işlem görebilen alaşım anlamındadır.

Yalnızca soğuk şekillendirme yolu ile sertleştirilen, ısıtıl işleme tabi tutulamayan dövme alüminyum alaşımları 1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX gurubu alaşımlardır.

Isıtıl işlem ile sertleştirilebilen alaşım gurupları ise 2XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX guruplarıdır.

Çizelge 2.1. Bazı alaşım elementlerinin alüminyumun özelliklerine etkileri

Alaşım Elementi	Etkileri
Bakır	%12 Cu’ a dek dayancı artırır, daha fazlası gevreklik yaratır; genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artır.
Çinko	Dökülebilirliği düşürür; yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler; %10 Zn’ dan yüksek gerilim yenimi çatlama gösterir; diğer alaşım elementleri ile birlikte dayancı çok artırır; %3 Zn’ dan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarda belirgin bir etkisi yoktur.
Demir	Alüminyum cevherlerinde doğal katışkı olarak bulunur; az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayancını artırır; dökümleri sıcak çatlama eğilimlerini azaltır.
Magnezyum	Katı çözeltili sertleşmesi yaratır; %6’ dan fazla magnezyum içeren alaşımlarda çökelme sertleşmesi olur; dökümleri zordur.
Mangan	Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır; metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir, çekmeyi azaltır, alaşımların süreklilik ve tokluk özelliklerini artırır.
Silis	Akışkanlığı artırır; sıcak çatlama eğilimini azaltır, %13’ den fazla silis içeren alaşımların işlenmesi çok zordur; yenim direncini artırır.

Çizelge 2.2. Alüminyum Alaşımlarında İşlem Durumları Gösterimleri

O	Tavlanmış
F	Üretildiği gibi
H	Sertleştirilmiş
T	Isıl işleme tabi tutulmuş
T1	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
T2	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
T3	Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
T4	Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
T5	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış.
T6	Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış.
T7	Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.
T8	Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.
T9	Çözeltiyeye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.
T10	Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş,

2.2. Kaynak İşlemi ve Sınıflandırılması

Dolgu malzemesi kullanarak veya kullanmadan, ısı ve/veya basınç yardımıyla malzemelerin atomik ve moleküler seviyede birleştirilmesine kaynak denir. Metaller kaynak işlemi sırasında metalik bağ oluşturarak birleşirler. Camlar da kaynak işlemiyle iyonik bağ oluşturarak birleştirilebilir. Seramikler de aynı şekilde iyonik, kovalent veya bunların hepsinin bir arada olduğu karma bağlarla kaynaklanabilirler. Termoplastik polimerler ise molekül zincirleri arasında kovalent ve Van der Waals bağları ile kaynaklanabilmektedir. Birleşimi mümkün hale getirebilmek için yardımcı malzemeler kullanılabilir. Kaynak için gerekli enerji dışarıdan sağlanır.

Bir kaynaklı birleştirmede genellikle aranan şartlar aşağıdaki gibidir:

- Mukavemet ve tokluk,
- Düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı direnç gösterme kabiliyeti
- Aşınmaya ve korozyona karşı direnç
- Gaz, buhar, basınç ve vakuma karşı sızdırmazlık

Birçok ana malzeme(çelik, demirdışı metaller) ve bunlardan üretilen kalınlığı 0,001 mm ile 1000 mm arasında değişen yarı mamuller (levha, boru, profil vb) ve çeşitli enerji kaynakları, cihaz teknolojileri, kaynak dolgu malzemeleri (çubuk elektrotlar, tel elektrotlar, koruyucu gazlar vs.) göz önüne alındığında günümüzde pratik anlamda 50' den fazla farklı kaynak yöntemi uygulanmaktadır.

Buna ilaveten, değişik tipteki dolgu malzemeleri, cihaz düzenekleri, yardımcı ekipmanlar ve farklı üretim koşullarından doğan teknolojik şartlar göz önüne alındığında 100' ün üzerinde varyasyon ortaya çıkmaktadır.

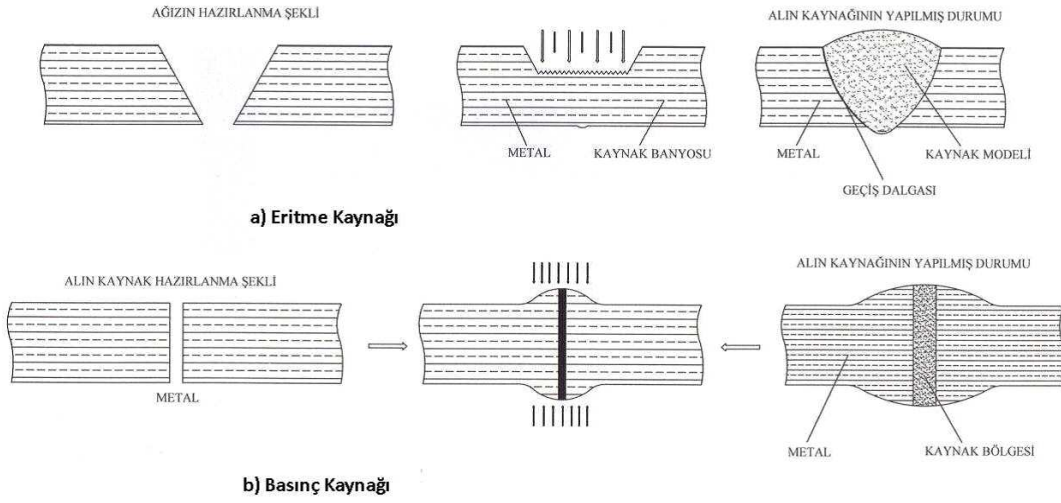
Metal kaynağı ikiye ayrılır (Şekil 2.1):

Eritme kaynağı: Birleştirme, birleştirilecek iki parçanın, ilave metal ekleyerek ya da eklemeyerek eritilmesiyle gerçekteştirilir.

Örnek: Gaz kaynağı (G), Metal koruyucu gaz kaynağı (MIG/MAG), Tungsten Inert gaz kaynağı (TIG), Elle ark kaynağı (E), Tozaltı kaynağı (UP), Basınçlı veya vakum altındaki oda içindeki kaynak, Lazer ışın kaynağı (LB), Elektrocüruf kaynağı (RES),... gibi.

Basınç kaynağı: Birleştirilecek her iki malzeme üzerine yeterli kuvvet uygulanarak az ya da çok plastik şekil değişimi oluşturmak suretiyle gerçekteştirilen kaynak işlemdir. Bu tip kaynak işlemlerinde ilave metal kullanılmaz ancak genellikle birleştirme yüzeyleri bağlantıyı sağlamak veya kolaylaştırmak amacıyla ısıtılır. Isıtma uygulansa bile ana malzemelerde erime gerçekteşmez.

Örnek: Direnç nokta kaynağı (RP), Direnç dikiş kaynağı (RR), Basınç alın kaynağı (RPS), Yakma alın kaynağı (RA), Ultrasonik kaynak yöntemi, Difüzyon kaynağı, Ateş kaynağı, Gaz basınç kaynağı, Ark basınç kaynağı, Döküm basınç kaynağı... gibi



Şekil 2.1. Metal kaynağı çeşitleri

Kaynak işleminin avantajları;

- Birleşimi kalıcıdır.
- Uygulanabilecek çok çeşitli yöntem vardır.
- Belli bir çerçeve içinde çok farklı metal kaynaklanabilir.
- Manuel çalışma veya otomasyona uygundur.
- Kolaylıkla taşınan ekipmanları olan yöntemler mevcuttur.
- Genellikle üretim maliyeti makul seviyelerdedir.
- Sürekli kaynaklarda sızdırmazlık kolaylıkla sağlanabilir.

Dezavantajları ise,

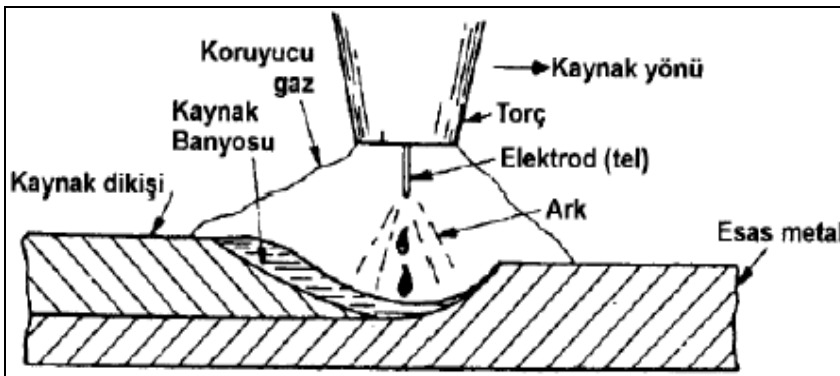
- Birleştirilen parçaların kaynaktan sonra demontesi zordur.
- Kaynak sırasında metalin ısınması, malzeme özelliklerini etkiler.
- Farklı malzemelerin kaynaklarında problemler görülebilir.
- Uygun olmayan ısı yoğunluğu malzemelerin çarpılmasına veya kalıntı gerilmelere sebep olabilir.
- Kalifiye eleman zorunludur.
- Bazı ekipmanların, özellikle otomasyon varsa yatırım maliyetleri çok yüksektir.

2.2.1. MIG - MAG kaynağı

MIG /MAG kaynak yönteminde, koruyucu gaz atmosferi altında oluşan ark ile eriyen sonsuz boydaki tel elektrot kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilir. (Şekil 2.2). Koruyucu gaz, asal bir gaz (Helyum, Argon gibi) ise, bu yöntem Metal İnerit Gaz Ark Kaynağı (MIG), koruyucu gaz aktif bir gaz (CO₂ ve/veya oksijen içeren karışım gazı) ise, Metal Aktif Gaz Ark Kaynağı (MAG) olarak isimlendirilir. (Karadeniz, 2009)

Eriyen elektrotla gazaltı kaynağı 1920'lerde ortaya çıkan bir düşünce olmakla birlikte, ticari hayata girişi 1948'de olmuştur. Yöntemin kullanılmaya başladığı ilk yıllarda kaynak işlemleri asal gaz atmosferi altında, yüksek akım değerleri kullanılarak düşük kalınlıktaki elektrotlarla gerçekleştirilmiştir. Çoğunlukla alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır.

MIG/MAG kaynağı, elle yönetilen torç ile yarı mekanize biçimde veya torcu da mekanize kumanda ederek tam mekanize olarak uygulanabilir. Bu kaynak yönteminde haricen sağlanan gaz atmosferiyle korunan ve otomatik olarak daimi beslenen ve eriyen bir tel elektrot kullanılır. Kaynak öncesinde kaynakçı ilk ayarları yapar, sonrasında ise arkın elektriki karakteristiğinin ayarı kendiliğinden otomatik olarak kaynak makinesi tarafından sağlanır. Bu sebeple yarı otomatik gaz altı kaynağında kaynakçının gerçekleştirdiği manuel ayarlar, kaynak hızı, kaynak doğrultusu ve torç pozisyonudur. Uygun kaynak donanımı seçilip, uygun parametre ayarları yapıldığında kaynak makinası otomatik olarak ark boyu, akım şiddeti ve elektrot besleme hızını otomatik şekilde sabit değerlerde tutar. (Eryürek, 2004)



Şekil 2.2. MIG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi

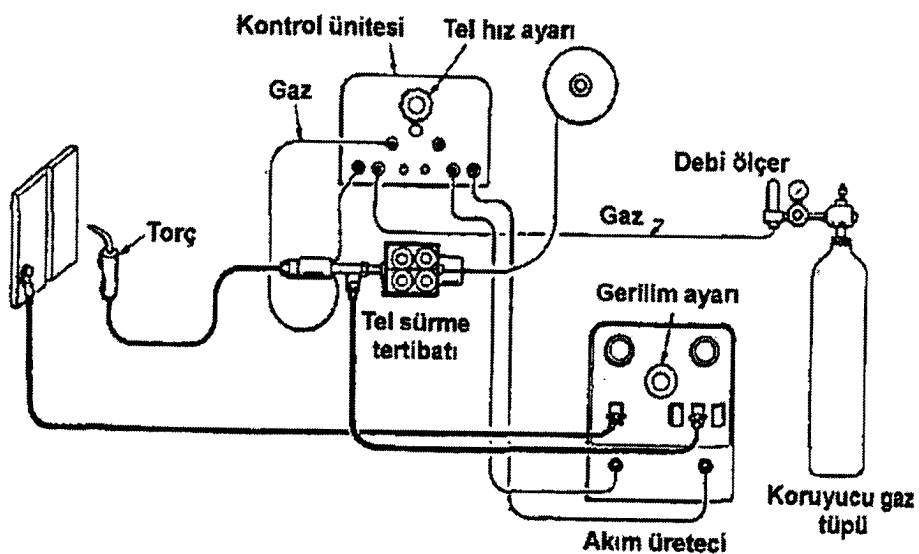
MIG/MAG kaynak yönteminde doğru akım kullanılır ve ters kutuplama ile elektrot genellikle pozitif kutba bağlanır. Son dönemlerde alternatif akımla MIG yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle kaynakta derin bir nüfuziyet sağlanır ve malzeme üzerindeki oksit tabakası parçalanır. Paslanmaz çeliklerle çalışılırken, iç köşe kaynaklarında ve doldurma kaynaklarında negatif kutuplu elektrot kullanılır. (Karadeniz, 1989)

Alaşımsız ve alaşımlı çelikler, CrNi çelikleri MAG yöntemi ile kaynaklanır. Alüminyum, magnezyum, nikel bazlı malzemeler, bakır, titanyum vb gibi malzemeler, koruyucu asal gazlar altında gerçekleştirilen MIG yöntemi ile kaynaklanır.

2.2.2. MIG/MAG kaynak donanımı

MIG/MAG Kaynak donanımının ana bileşenleri (Şekil 2.3);

- Güç ünitesi
- Tel sürme birimi
- Hortum Paketi
- Kaynak torcu
- Soğutma ünitesi
- Koruyucu gaz ünitesi
- Kumanda ve ayar elemanlarıdır.



Şekil 2.3. MIG/MAG kaynak düzeneği

2.2.2.1. Güç ünitesi

Bir MIG/MAG cihazının güç ünitesi, sabit halde veya darbeler halinde doğru akım üretir. Konvansiyonel cihazlardaki güç ünitesi, primer ve sekonder tarafta çıkışlar bulunan bir transformatör ve buna bağlı bir diyot grubu ile gerektiğinde bir indüktif dirençten meydana gelmektedir.

Güç ünitesinin sağladığı gerilim basamaklı şalterle ayarlanabilir. Güç ünitesinin yüklenmesi durumunda, gerilim değerinde çok az bir düşme meydana gelmektedir. Bu tür cihazlar, sabit gerilim veya CP-akım üreteçleri olarak adlandırılır. Burada bütün işletme şartlarında sabit ark boyu elde edebilmek üzere sadece hafif düşey statik gerilim-akım karakteristik çizgisi gerekmektedir.

Genel olarak 3 çeşit güç ünitesi vardır;

- Konvanyisonel kaynak redresörü
- Tristör kontrollü kaynak redresörü
- Transistörlü kaynak redresörü

2.2.2.2. Tel sürme

MIG/MAG kaynağındaki tel elektrot, tel makarasından sağılır ve bir tel sürme ünitesi tarafından birkaç metre uzunluğundaki hortum paketi içerisinden torcun ucundaki akım kontak memesine kadar itilir. İyi bir kaynak dikişi elde etmek için, tel elektrodun akım kontak memesinden son derece düzenli hızla çıkması gerekir. Telin frenlenmesi, ark boyunu uzatır ve aşırıya varan durumlarda arkın akım kontak memesine kadar geri yanmasına sebep olur.

Telin düzensiz sürülmesi, kaynakta kısa devrelere ve bu nedenle aşırı miktarda sıçranta oluşmasına sebep olur. Tel sürme ünitesinde kural olarak üzerinde kama formunda veya yumuşak tellerde tel çapına uygun biçimde yuvarlak oluk açılmış sertleştirilmiş makaralar kullanılmaktadır. Burada, bir veya daha fazla makaradan tahrik alınabilmektedir. İnce tel elektrotlar, özellikle alüminyumdan yapılmış olanlar, iyi sürülmediğinde kolayca kırılabilirler.

2.2.2.3. Hortum paketi

MIG/MAG kaynağında hortum paketi ve kaynak torcu, aşırı yüklenen ve aşınan parçalar arasında yer alırlar. Hortum paketi, tel elektrodu, kaynak akımını, koruyucu gazı ve soğutma suyunu torca iletir.

Hortum paketi mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. En çok kullanılan uzunluklar 2-3 metredir. Çelik tel elektrotlarda 1.2 mm çaptan itibaren 5 metre hortum uzunluğuna kadar çıkılabilir. Daha ince çelik tellerde veya yumuşak tellerde (örneğin alüminyum) tel sürme aksaklıkları beklenmelidir. Bu nedenle mekanize uygulamalarda torç içerisinde veya yakınında ilave bir tahrik sisteminin kullanılması mutlaka tavsiye edilmektedir.

Hortum paketinin içerisindeki akım kablosu, yüksek akımlarda suyla soğutulur. Bakır kablo, torçtan geri gelen soğutma suyunu taşıyan hortumun içerisine yerleştirilmiştir. Bu şekilde soğutulması sayesinde kablo kesiti ve dolayısıyla hortum paketinin ağırlığı düşük tutulabilmektedir. Çelik tel elektrotlar, hortum paketi içerisinde uygun çaplı bir spiral tel kılavuzu içerisinde ve alüminyum tel elektrotlar ise plastik bir boru kılavuz içerisinde yol almaktadır.

2.2.2.4. Kaynak torcu

Bir MIG/MAG kaynak torcu, torç gövdesinden, kontak memesinden, koruyucu gaz nozulundan ve üzerinde açma/kapama düğmesi olan kabzadan ve mekanize torçlarda sabitleme borusundan oluşur. Kontak memeden çıkan telle iş parçası arasında bir ark yanmaktadır. Ark ve yüksek sıcaklıktaki kaynak banyosu, gaz nozulundan çıkan koruyucu gaz tarafından atmosfer etkisinden korumaktadır.

Su soğutmalı torçlarda arktan ışıma yolu ile yayılan ısı, kontak meme ve gaz nozulu üzerinden soğutma suyuna iletilir.

Gaz veya hava soğutmalı torçlarda kontak ve gaz memelerindeki sıcaklık kısa bir kaynak süresinden sonra bile 700 C 'ye kadar ulaşır. Bundan dolayı kontak memedeki bakır yumuşar, aşınma daha büyük olur ve yüksek sıcaklık nedeniyle sıçrantılar gaz

memesine daha kolay yapışır. Bu nedenle yüksek akımlarda daima su soğutmalı torçlar kullanılmalıdır.

Boyutları büyük olan torçlar ağırdır ve kaynakçıları zorlar, çok küçük torçlar da aşırı ısıyla yüklendikleri için kaynak torçları akım değerlerine göre dizayn edilmektedir.

Akım kontak memesi, kaynak akımını tel elektroda iletmek zorundadır. Çelikte tel çapının 0,2 mm, alüminyumda ise tel çapından 0,4 mm daha büyük olan akım kontak meme deliği, telin çıkış noktasında konik biçimde genişler. Cu, CuCr veya CuCrZr' dan yapılmış kontak memeleri aşındıkları zaman değiştirilmelidir.

2.2.2.5. Kumanda ve ayar elemanları

Konvansiyonel kaynak cihazlarında arkı ve malzeme transferini ayarlayabilmek için iki veya üç ayar büyüklüğü gereklidir. Bunlar gerilim (ark boyu) ve tel sürme hızıdır (akım şiddeti). Daha gelişmiş kaynak makinalarında bulunan ve aynı zamanda malzeme geçişi üzerinde de etkili olan üçüncü ayar ise drosseldir (kaynak akım devresindeki indüktif direnç). Gerilim dağılımı ile ilgili değerler volt cinsinden ve tel sürme hızı metre/dakika cinsinden kalibre edilmiş olmalıdır.

Gerçek ark gerilimi, ayarlanan boşta çalışma geriliminden belirgin olarak daha düşüktür. Gerilimdeki bu azalmanın sebebi, statik akım/gerilim karakteristik çizgisindeki eğim ve ohm kayıplarıdır. Gerçeğe en yakın ark gerilimi, kontak meme ile iş parçası arasında ölçülebilir. Ancak bu pratikte pek mümkün değildir. Gerilim değeri akım üreticinin kablo bağlantı noktalarından ölçüldüğünde, hortum paketi ve şase kablosu içerisindeki gerilim düşmeleri göz ardı edildiğinden ölçülen değer gerçek ark geriliminden yüksektir.

Elektronik kumandalı kaynak cihazlarının hemen hepsinde, ayarlanan parametreler küçük bir ekranda gösterilir. İlgili kumanda elemanları vasıtasıyla farklı menü seçenekleri çağrılabilir.

Cihaz imalatçıları genellikle ayarlanan kaynak parametrelerinin kaydedilerek saklanması olanağını sunar. Bu durum doğru parametrelerin seçilmesini kolaylaştırmaktadır.(As Kaynak, 2009)

2.2.3. MIG/MAG kaynağında dikiş formuna etki eden faktörler

2.2.3.1. Ark geriliminin etkisi

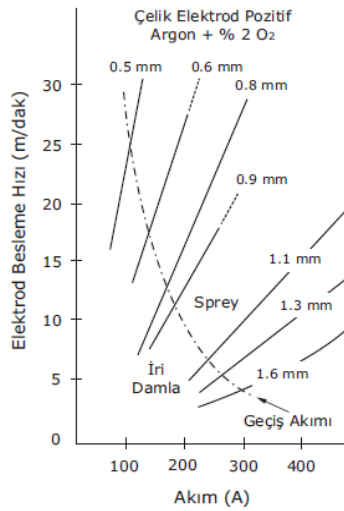
Ark geriliminden arkın uzunluğu ve dikişin genişliği etkilenir. Ark gerilimi yüksek olduğunda, kaynak dikişi yassı ve geniş olur, yanma olukları ve arkın manyetik sapması oluşabilir. Çoğunlukla ark gerilimi ile ark boyu birbirlerinin yerine kullanılan terimlerdir. Fakat ikisinin arasında yakın bir ilişki olmasına rağmen birbirlerinden farklı şeylerdir. Ark boyu gaz altı kaynağı için dikkatle kontrol edilmesi gereken önemli bir parametredir. Örnek olarak, argon korumasında oluşan spreyci arkta arkın çok kısa olması bazen kısa devreye neden olur. Oluşan kısa devreler ise basınç değişimleri oluşturup ark bölgesinin içine hava pompalanmasına sebep olur. Bunun sonucunda havadan emilen oksijen ve azot nedeniyle gevreklik ve porozite oluşur. Diğer yandan ark çok uzun olursa gezinmeye meyilli olur ve nüfuziyet ve dikiş profiline etki eder. Uzun olan ark gaz korumasının da bozulmasında rol oynar. Karbondioksit korumasının altındaki gömülmüş arkta ise, arkın uzun olması aşırı gözeneklilik ve aşırı sıçrıntı oluşumuna sebep olur. Arkın çok kısa olduğu durumlarda ise, elektrodun ucu kaynak havuzuyla kısa devre yaparak arkta kararsızlığı meydana getirir. (Anık, 1991)

Ark boyu ise bağımsız olarak değişir. Fakat ark gerilimi ark boyuna ve başka birçok değişkene bağlı olarak değişim gösterir. Ark gerilimini etkileyen ark boyu dışındaki diğer değişkenler;

- a) Elektrot bileşimi ve çapı
- b) Koruyucu gazın cinsi
- c) Kaynak tekniği
- d) Kaynak kablosunun uzunluğudur.

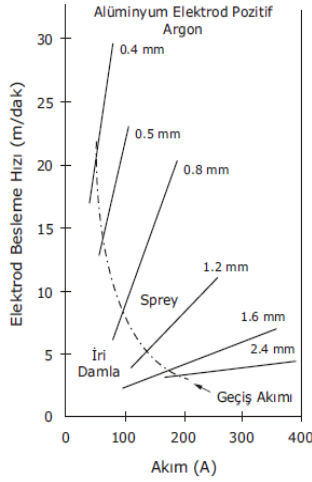
2.2.3.2. Kaynak akımı

Kaynak akım şiddeti eğer diğer parametreler sabitse elektrot besleme hızı ya da ergime hızı ile lineer olmayan bir şekilde değişim gösterir. (Şekil 2.4.) Elektrot besleme hızında değişim yapıldığında şayet sabit gerilimli bir güç ünitesi kullanılıyorsa kaynak akımında da benzer şekilde bir değişim olur.

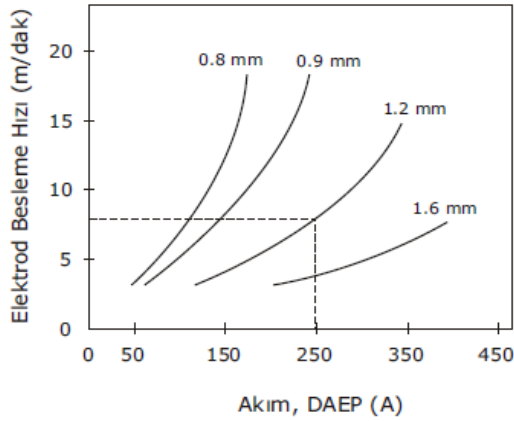


Şekil 2.4. Alaşım-sız çelik elektrotlar için kaynak akımları ile elektrot besleme hızları arasındaki ilişki

Oluşturulan eğrilere bakıldığında, düşük akım değerlerinde, her bir elektrot çapı için doğrusala yakın oldukları görülür. Ama daha yüksek akım değerlerine çıkıldığında bilhassa küçük olan elektrot çaplarında eğrilerin doğrusallıktan saptığı ve kaynak akımının artmasıyla sapmaların daha fazla arttığı görülür. Eğrilerdeki bu değişimin sebebi serbest elektrot uzunluğunda oluşan direnç ısıtması olarak tespit edilmiştir. Elektrodun kimyasal bileşimi de elektrodun besleme hızı ile kaynak akımı arasındaki ilişki üzerinde etkilidir.



Şekil 2.5. ER4043 Alüminyum elektrotlar için kaynak akımları ile elektrot besleme hızları arasındaki ilişki



Şekil 2.6. 300 Serisi Paslanmaz çelik elektrotlar için kaynak akımları ile elektrot besleme hızları arasındaki ilişki

Şekil 2.4' de, Şekil 2.5'de ve Şekil 2.6' daki eğrilerin farkı konumlarda ve eğimlerde olmasının sebebi farklı metallerin ergime sıcaklıklarının ve elektrik dirençlerinin aynı olmayışından kaynaklanmaktadır. Serbest elektrot uzunluğundaki değişim de bu ilişki üzerinde etkilidir.

Diğer tüm parametreler sabit kalır iken kaynak akımındaki ve elektrot besleme hızındaki artışın yarattığı sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Kaynak dikişindeki nüfuziyet derinliğinde ve dikiş genişliğinde artış,
- Metal yığma hızında artış,
- Dikişin boyutlarında artıştır. (As Kaynak, 2009)

2.2.3.3. Kutuplama

Bir kaynak torcunun bir doğru akım ünitesindeki kutuplara elektriksel olarak bağlanmasını belirtmek için kullanılan terim kutuplamadır. Torç, kaynak ünitesindeki pozitif kutuba bağlanırsa, buna doğru akım elektrot pozitif kutuplama **DAEP** ya da "**ters kutuplama**" adı verilir. Eğer kaynak torç güç kablosu negatif kutuba bağlanırsa bu kutuplamaya da doğru akım elektrot negatif kutuplama **DAEN** veya **düz kutuplama** denir.

MIG/MAG kaynak uygulamalarında çoğunlukla ters kutuplama kullanılır. Bunun sebebi bu tip kutuplamanın geniş bir kaynak akım aralığında kararlı bir arkta çalışma olanağı vermesi, yumuşak geçişli metal iletimi, nispeten az sıçrama, düzgün bir kaynak dikişi ve nüfuziyette artış sağlamasıdır.

Düz kutuplama ise ender kullanılır. Bunun sebebi ise eksenel sprej iletimin ticari yönden pek de kabul görmemiş bazı değişiklikler olmadan yapılamamasıdır. Düz kutuplamayla yüksek ergime hızlarına ulaşmak mümkün olsa da damla geçiş tipi iri damlalı iletim olduğu için bu avantajdan fayda getirememektedir. Çeliklerin kaynağında, saf argona %5 oranında O₂ ilave ederek ya da elektrot maliyetini arttırmayı göze alarak elektrodu termoiyonik yaparak damla geçişini iyileştirilebilir. Ne yazık ki iki durumda da metal yığılma hızında düşme olur ve kutup değiştirmeye sağlanması planlanan üstünlük ortadan kalkar. Bununla beraber, düz kutuplama, yüksek metal yığılma hızı ve nispeten düşük nüfuziyet oluşturması sebebiyle, yüzey doldurma uygulamalarında kullanılmaktadır.

MIG/MAG kaynak yönteminde alternatif akım (AC) kullanımı genellikle başarısız sonuçlar meydana getirmiştir. AC'de akım sıfırdan geçerken her seferinde arkın sönme meyili göstermesi arkın kararsız olmasına sebep olmaktadır. Bu sorunu çözmek için elektrotların yüzeylerine bazı özel işlemler uygulanmalıdır ancak bu işlemler elektrotları üretim maliyetlerini arttırarak pahalı hale getirir.

2.2.3.4. Kaynak hızı

Kaynaklı birleştirme sırasındaki arkın ilerleme hızına kaynak hızı denir. Diğer tüm parametreler sabit olduğunda, kaynak dikişi nüfuziyetinin en fazla olduğu kaynak hızları orta değerlerdir. Kaynak hızındaki azalma, birim kaynak uzunluğunda yığılan metal miktarını artırır. Bahsedilen ilişki aşağıdaki denklem ile verilebilir :

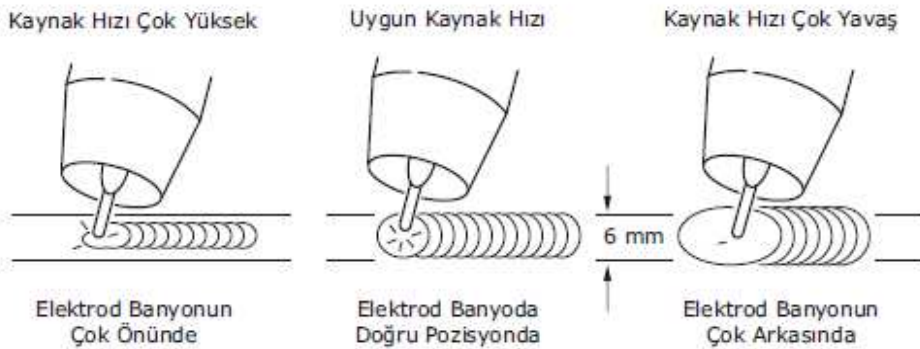
$$G_{(kg/m)} = 7.8 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot g \cdot d^2 \cdot (V_e / V_k)$$

Denklem 2.1 Yığılan metal ve kaynak hızı ilişkisi

Denklemdaki G (kg) bir metre kaynak dikişi başına yığılan kaynak metalini, h sıçramayla yaşanan kayıpları göz önünde bulunduran metal yığıma verimini, g (gr/cm³) elektrot malzemesinin yoğunluğunu, d (mm) elektrodun çapını, V_e (m/dak) otomatik elektrot besleme hızı, V_k (m/dak) ise kaynak hızını gösterir.

Çok düşük kaynak hızlarında, oluşan ark esas metal yerine ergimiş kaynak havuzu üstünde yanar ve bu sebeple nüfuziyette azalma ve geniş bir kaynak dikişi ortaya çıkar.

Şayet kaynak hızı arttırılırsa bu sefer de ark ana malzemeye doğrudan daha çok etki ettiğinden, birim dikiş uzunluğu başına arkta ana malzemeye iletilen ısı enerjisi önce artış gösterir. Kaynak hızı daha da arttırılacak olursa, birim dikiş uzunluğu başına, arkta ana malzemeye iletilen ısı enerjisinin düşmesi sonucu ortaya çıkar. Bu sebeple, artan kaynak hızıyla ana malzemenin ergimesi önce artar ancak daha sonra azalır. Eğer kaynak hızı daha da çok arttırılırsa, ark tarafından ergitilen dikiş yolunu doldurabilecek yeterli miktarda ilave metal yığılması mümkün olmadığından dikiş kenarlarında yanma olukları oluşur.



Şekil 2.7. Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi

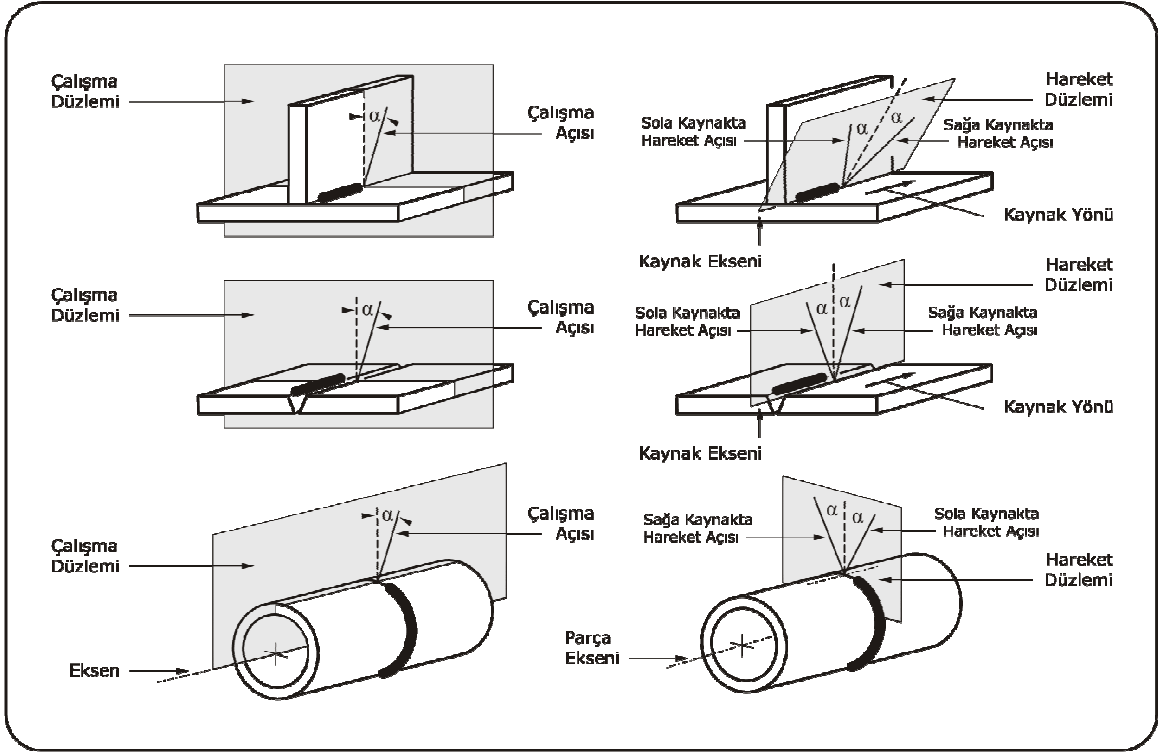
2.2.3.5. Serbest elektrot uzunluğu

Kaynak torcundaki elektrot ucu ile temas tüpü ucu arasındaki mesafe serbest elektrot uzunluğudur. Serbest elektrot uzunluğundaki artış elektrik direncinde artmaya sebep olur. Dirençteki bu artış direnç ısıtmasının artmasına, bu da elektrotun sıcaklığının yükselmesine sebep olur. Elektrottaki sıcaklığın yükselmesi ise ergime hızında küçük de olsa bir artışa sebep olur. Bundan daha da önemlisi ise artmış elektrik direncinin temas tüpü ile iş parçası arasında daha büyük bir gerilim düşüşüne sebep olmasıdır. Bunun sonucunda güç ünitesi tarafından akım azaltılarak durum dengeye getirilir. Böylece elektrodun ergime hızı hemen düşürülerek elektrodun fiziksel olarak ark boyunun kısaltılması sağlanır. Yani kaynak makinasında gerilimde bir artış yapılmadıkça, dolgu metali dar ve yüksek bir kaynak dikişi yığar. Genellikle tercih edilen serbest elektrot uzunluğu kısa devre metal geçişi için 6-13 mm, diğer tip metal geçişleri için ise 13-25 mm arasındadır.

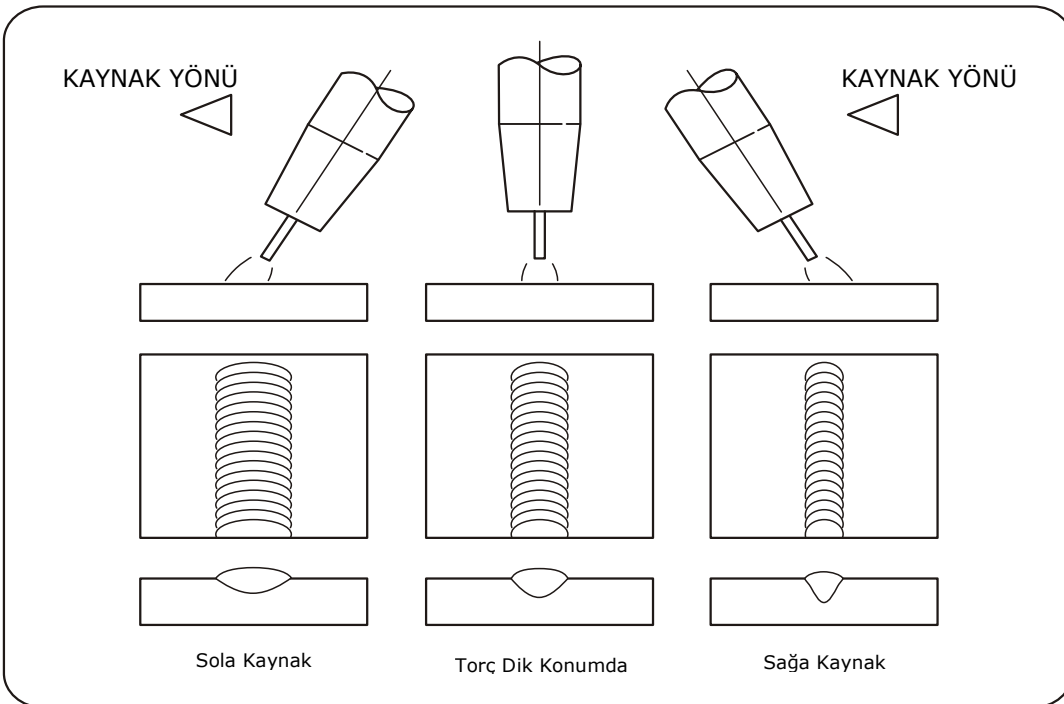
2.2.3.6. Elektrot açıları

Kaynak dikişinin şeklini ve nüfuziyet durumunu etkileyen faktörlerden biri de kaynak elektrodunun kaynak bağlantısına göre açısıdır. Bu durum diğer tüm ark kaynağı yöntemlerinde de geçerlidir. Kaynak dikişinin şekli ve nüfuziyeti üzerinde elektrot açısının etkisi, ark gerilimi ve kaynak hızının etkisinden daha büyüktür. Elektrot açısını anlatabilmek için çalışma düzlemi ve hareket düzlemi olmak üzere iki düzlemin tanımlanması gerekmektedir. Kaynak (hareket) doğrultusuna dik olan düzleme "**çalışma düzlemi**", kaynak doğrultusu ile elektrottan geçen düzleme de "**hareket düzlemi**" adı verilir.

Bu düzlemler göz önünde bulundurularak elektrot açıları şu şekilde tanımlanır: Hareket açısı, hareket düzlemi içindeki elektrot eksenine kaynak doğrultusuna dik olan doğrultu arasındaki açıdır. Çalışma açısı ise çalışma düzlemi içindeki elektrot eksenine en yakındaki iş parçası yüzeyi arasındaki açıdır. Elektrot ucu kaynak yönünün tersi yönde yönlenmişse, buna sağa kaynak tekniği, şayet elektrot ucu kaynak doğrultusuna doğru yönlenmiş ise buna da sola kaynak tekniği denir. (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrot açıları



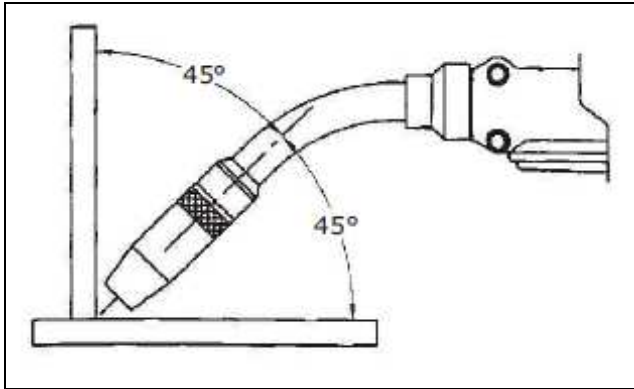
Şekil 2.9. Elektrot açısının ve kaynak tekniğinin etkileri

Diğer tüm parametreler değiştirilmeden, hareket açısı sıfırdan başlayarak sola kaynak tekniğine doğru arttırıldığında, nüfuziyette artış olur ancak kaynak dikişi geniş ve düz bir şekil alır. Nüfuziyetin en yüksek olduğu durum ise sağa kaynak tekniği ile hareket açısının 25° olduğu durumdur. Bunun yanı sıra bu teknikle, hem daha dışbükey ve daha dar bir kaynak dikişi elde edilmesi hem de daha kararlı bir arkla çalışılıp ana malzeme üzerine daha az sıçrama olması sağlanır. (Şekil 2.9).

Eriyik kaynak havuzunun daha iyi kontrol edilmesi ve korunması için kullanılan elektrot açısı bütün pozisyonlarda 5° - 15° arasında değişen hareket açısıdır.

Alüminyum gibi kaynaklanması zor bazı metallere sola kaynak tekniği kullanımı tercih edilmektedir. Bu teknikle ergimiş kaynak metalinin önünde temizlik etkisi oluşturulur ve bu sayede ıslatma iyileştirilmiş ve ana metalin oksidasyonu azaltılmış olur.

Eğer yatay pozisyonda iç köşe kaynağı yapılıyorsa torç, elektrodun açısı düşey parçayla 45° çalışma açısı olacak biçimde tutulmalıdır. (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. İçköşe kaynağı için normal çalışma açısı

2.2.3.7. Kaynak pozisyonları

Sprey geçişli kaynak işlemlerinin pek çoğu oluk ve yatay kaynak pozisyonlarında yapılır. Fakat, düşük enerji seviyelerindeki darbeli ve kısa devre geçişli kaynaklar tüm pozisyonlarda kullanılabilir. İçköşe kaynakları oluk pozisyonunda spreysel metal geçişi ile yapıldığında, yatay pozisyonda yapılan benzer kaynaklara göre daha düzenlidir. Yani değişik ayak uzunluklarının ve içbükey kaynak dikişi şeklinin oluşma olasılıkları ve yanma

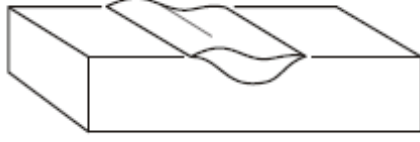
oluğu meydana gelme meyilleri daha azdır. Düşey ve tavan pozisyonlarındaki kaynaklarda yerçekiminin kaynak banyosu üzerindeki çekme kuvveti etkisini yenebilmek için düşük çaplı elektrotlarla ya kısa devre metal geçişi ile ya da darbeli spreyci geçişi kullanmak gerekmektedir. Çapı 1.1 mm ve daha küçük olan elektrotlar genellikle zor pozisyonların kaynağında kullanılır. Düşük ısı girdisi seçimi zor pozisyonların kaynağı için çok uygundur. Bu yolla ergimiş kaynak havuzunun hızla katılaşması sağlanmış olur. İnce saçların düşey pozisyondaki kaynağında çoğunlukla yukarıdan aşağıya kaynak tekniğı seçilmelidir.

Kaynak işleminin oluk pozisyonunda yapılıyor ise, dikiş şeklini, nüfuziyetini ve kaynak hızını etkileyen faktörlerden biri kaynak ekseninin yatay düzleme göre eğimli hale getirilmesidir. Oluk pozisyonunda yapılan çevresel kaynaklar sırasında iş parçası kaynak torcunun altında döner ve bu eğim kaynak torcunun tepe ölü merkezinden itibaren iki taraftan sadece birine doğru hareket ettirilmesi ile meydana getirilir. Doğrusal bağlantılarda, parça oluk pozisyonunda iken, aşırı dikiş taşması oluşturabilecek kaynak şartlarında, kaynak eksenini yatayla 15° açı yapacak şekilde yerleştirilerek ve aşağı doğru kaynak yaparak dikiş taşması azaltılabilir. Aynı anda, aşağı doğru kaynak yaparken kaynak hızında da artış yapılabilir. Bu gibi şartlarda yapılan kaynakta nüfuziyet daha azdır ve bu durum metal saçların kaynağında faydalıdır.

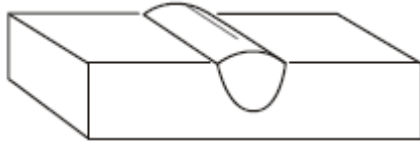
Aşağı doğru kaynak tekniğı dikişin yapısını ve nüfuziyet derinliğini etkiler. Bu pozisyonla kaynak yaparken, yer çekiminden dolayı kaynak havuzu elektroda doğru akma meyli gösterir ve özellikle ana malzemenin yüzeyinde ön tavlama sebep olur. Böylece düzenli olmayan bir ergime bölgesi oluşur. Eğim açısındaki artışla kaynak dikişinin orta yüzeyinde çökme meydana gelir, nüfuziyette azalma ve dikişin genişliğinde artış meydana gelir. (Şekil 2.11). Bu kaynak tekniğı, temizleme etkisinin ortadan kalkması ve yetersiz gaz koruması sebebiyle alüminyum kaynağı için önerilmez.

Yukarı doğru kaynak işleminin ise dikişin yapısını ve nüfuziyetini aşağı doğru kaynak tekniğinden daha farklı etkiler. Yerçekimi kuvvetinin etkisiyle kaynak havuzu geriye doğru akar ve elektrodun arkasında kalır. Eriyen metalin merkeze doğru akması nedeniyle kaynağın kenarlarında metal kaybı yaşanır. Eğim açısındaki artış ile dikişin taşmasında ve nüfuziyetinde artma, dikiş genişliğinde ise daralma olur.

Oluşan etkiler aşağı doğru kaynak tekniğinde görülenlerle tam zıttır. Normalden daha yüksek kaynak akımları ile çalışılırken, uygulanabilecek maksimum eğim açısı değeri de azalır.



(a) Aşağı Doğru Kaynak



(b) Yukarı Doğru Kaynak

Şekil 2.11. İş parçasının eğiminin kaynak dikişinin şekline etkisi

2.2.3.8. Elektrot çapı

Dikiş profilini ve ebatlarını etkileyen bir diğer faktör elektrot çapıdır. Aynı metal geçiş tipi için, kalın elektrotlara ince elektrotlara göre daha yüksek minimum akım değerleri gerekir. Daha yüksek akımlar ise, ilave elektrot ergimesi ile daha büyük ve akışkan kaynak havuzları oluşturur. Ayrıca yüksek akımlar daha yüksek metal yığıma hızına ve yüksek nüfuziyete sebep olur. Fakat dik ve tavan pozisyonundaki kaynak işlemleri ince elektrotlarla daha düşük akım değerleri kullanılarak yapılır.

2.2.3.9. Koruyucu gazlar

Genellikle metaller oksit oluşturmak için oksijenle birleşmeye kuvvetli bir meyil gösterirken ve metal nitritleri oluşturmak için oksijene nispeten daha düşük ölçüde olsa da azotla birleşmeye de bir meyil gösterirler. Oksijen gazı ergimiş çelikteki karbonla, sonucunda karbonmonoksit gazı oluşan bir reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucu oluşan ürünler sebebiyle aşağıdaki kaynak hataları oluşabilir;

- Oluşan oksitler sebebiyle ergime hataları,
- Gözenekler, oksitler ve nitritler sebebiyle mukavemetteki kayıplar,
- Oluşan oksitler ve nitritler sebebiyle kaynak metalinin gevrekleşmesidir.

Atmosferde yaklaşık %80 azot ve %20 oksijen bulunduğundan, kaynak işlemi sırasında metal bu gazlarla çok kolay tepkimeye girebilir. Koruyucu gazın en temel görevi ergimiş kaynak banyosunun çevredeki atmosferle temasını kesmektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrotlardaki örtünün görevini görür. Ana görevinden başka koruyucu gazın kaynak operasyonuna ve sonuçta ortaya çıkan kaynak dikişine aşağıda belirtilen maddeler ile bazı önemli tesirleri vardır:

- Arkın karakteristiği,
- Metal iletim tipi,
- Nüfuziyet durumu ve kaynak dikişinin şekli,
- Kaynak hızı,
- Yanma oluğu oluşma eğilimi,
- Temizleme etkisi,
- Kaynak metalinin mekanik özellikleridir.

MIG kaynağında kullanılan soy gazlar argon ve helyumdur. Bu gazlar tek başına ya da farklı oranlarda karışımları ile demirdışı metallerin kaynağında mutlak bir şekilde kullanılırlar. Ayrıca bu gazlar paslanmaz çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında da tercih edilirler.

Argon ve helyum gazlarının bazı özellikleri birbirinden oldukça farklıdır. Bunlar;

- a) Yoğunlukları,
- b) Isıl iletkenlikleri,
- c) Oluşturdukları ark karakteristikleridir.

Argon gazı havadan daha ağırdır çünkü yoğunluğu havanın yoğunluğunun yaklaşık 1,4 katı kadardır. Helyum ise havadan daha hafiftir çünkü yoğunluğu havanın yoğunluğunun neredeyse 0.14'üdür. Aynı debide koruyucu gaz ağırlaştıkça arkı koruma ve kaynak alanını örtme konusundaki etkinliği artar.

Bu sebeple koruyucu gaz olarak helyum kullanıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için kullanılan debinin argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğine çıkarılması gerekir.

Helyum gazı argondan daha yüksek bir ısı iletkenliğe sahiptir ve bununla birlikte içinde ark enerjisinin daha düzgün şekilde dağıldığı bir ark hüzmesi oluşturur. Argon gazının oluşturduğu ark hüzmesinde ise arkın çekirdek bölgesinde çok yüksek bir enerji bulunur ve bu bölge daha az ısı enerjisi içeren bir kabukla sarılmış durumdadır. Bu konudaki farklılık kaynak dikişinin profilini ve şeklini önemli ölçüde etkiler. Helyumla oluşan ark derin, geniş ve parabolik kaynak dikişi oluştururken, argon gazı ile oluşan ark ise biberon emziğine benzeyen bir nüfuziyet meydana getirir.

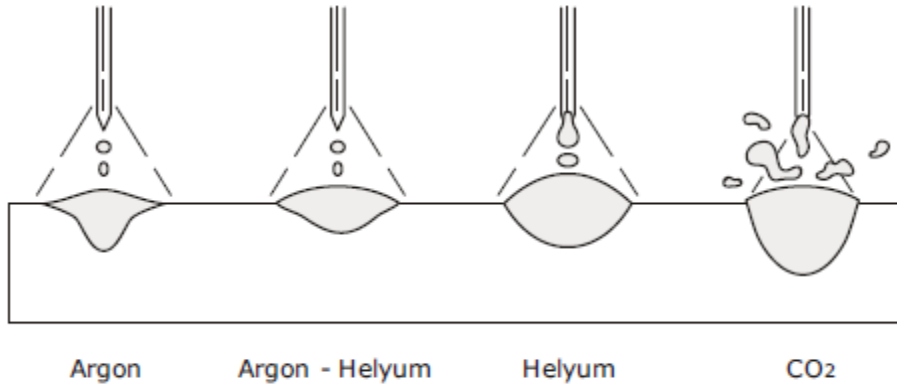
Seçilen sabit bir elektrot besleme hızında argon arkının gerilimi helyum arkının geriliminden ciddi derecede düşüktür. Bundandır ki, argonla oluşan arkta ark boyundaki değişime bağlı olarak gerilimde daha az bir değişme meydana gelirken, ark helyum arkına göre daha kararlı yapıda olacaktır. %80 argon gazı karışımına kadar olan gazların arkı da dahil olmak üzere argon arkı geçiş akımı üzerindeki akım değerlerinde aksel sprej ark transferi oluşturur.

Helyum gazı altında oluşan ark normal çalışma aralığında iri damlalı metal geçişi oluşturur. Bu sebeple helyum arkıyla argon arkına göre daha fazla sıçrıntı ve daha kötü görünüşlü kaynak dikişi meydana gelir. Çok çabuk iyonize olabilen argon gazı bu sebeple arkın tutuşmasını kolaylaştırır ve ters kutuplamayla birlikte uygulandığında iyi bir yüzey temizleme etkisi yaratır. (As Kaynak, 2009)

Saf argon demir dışı metallerin kaynağında koruyucu gaz olarak sıkça tercih edilir. Saf helyum ise ark kararlılığını sınırlı bir şekilde sağlaması sebebiyle koruyucu gaz olarak bazı özel uygulamalarda sınırlı kalmıştır.

Fakat helyum arkıyla derin, geniş ve parabolik kaynak dikiş formu nitelikleri ortaya çıkması sebebiyle, argon-helyum gaz karışımları koruyucu gaz olarak uygulanmaktadır. Sonuçta kaynak dikişi özelliklerinde iyileşme sağlandığı gibi, argonun aksel sprej metal transferi oluşturma özelliğinden de faydalanılır.

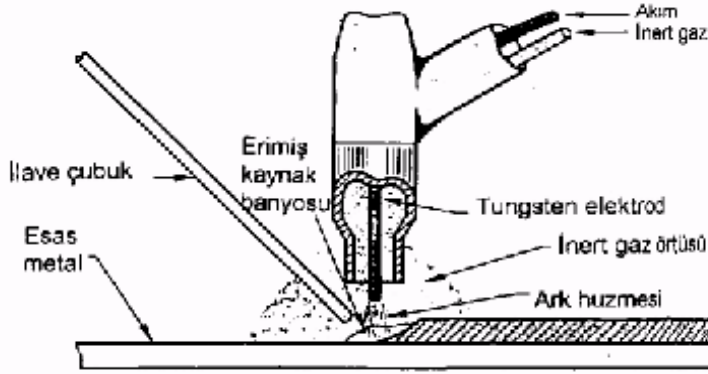
Kısa devre geçişte, daha iyi bir ergime sağlamak için %60'dan %90'a kadar helyum içeren argon-helyum karışımı koruyucu gazlar tercih edilir. Paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelikler gibi bazı metaller için daha yüksek ısı girdisi elde etmek için karbondioksit CO₂ ilavesi yerine helyum ilavesi yapılır. (Şekil 2.12). Bunun sebebi karbondioksitin tersine helyumun bir soy gaz olarak, dikişin mekanik özelliklerini kötü yönde etkileyen kaynak metali tepkimeleri yaratmamasıdır. (Aksoy, 2010)



Şekil 2.12. Çeşitli koruyucu gazların nüfuziyete etkisi

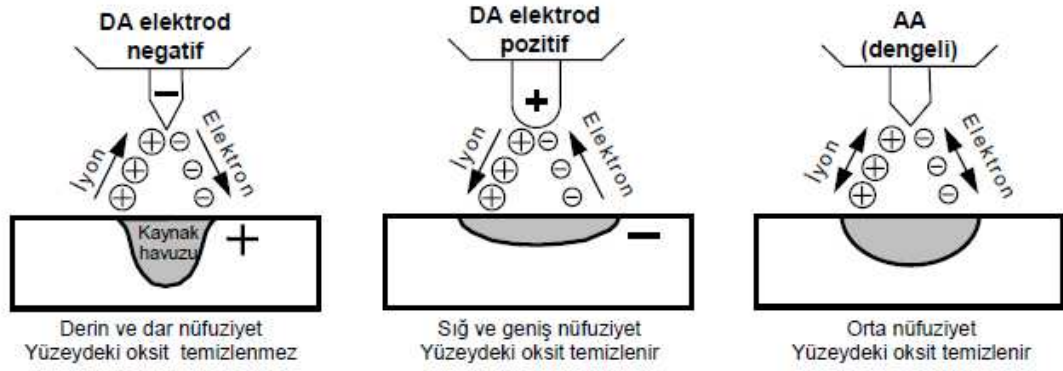
2.2.4. TIG kaynağı

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yönteminde, kaynak işlemini gerçekleştirecek ısı, ergime derecesi çok yüksek olan tungsten elektrot ile kaynatılacak ana malzeme arasında oluşur. Kaynak banyosu, ark ve elektrot, elektrodu çevreleyen bir kanaldan gönderilen argon veya helyum gazı tarafından kaynak esnasında ve hatta kaynak sonrasında bir süre daha korunur. Koruyucu gazın bir asal gaz olması sebebiyle oksit ve nitrür oluşumu gibi istenmeyen reaksiyonlar ortaya çıkmaz. TIG kaynağında kullanılan tungsten elektrotlar kendileri erimeden, dolgu telini eriterek kaynaklı birleşimi sağlarlar. Gerekli olduğu durumlarda dolgu telleri, manuel ya da otomatik tel sürme mekanizmalarıyla kaynak bölgesine ilave edilir (Şekil 2.13). (Serfiçeli, 2003)



Şekil 2.13. TIG kaynağının prensip şeması

- **Doğru Akım Negatif Elektrot (DCEN):** Bu aynı zamanda düz bağlama olarak ta bilinir, TIG yönteminde en genel bağlama şeklidir. Elektrot güç kaynağının negatif ucuna bağlanır. Elektronlar tungsten elektrottan çıkar ve arkın içinden geçerken hızlanır. Elektrottan elektron fırlatabilmek için iş fonksiyonu denilen önemli miktarda enerji gereklidir. Elektron iş parçasına girdiğinde iş fonksiyonuna eşit miktarda enerji serbest kalır. Bu, TIG yönteminde DCEN bağlantısı gücün fazlasının (üçte ikisi) neden arkın iş parçası kısmında, az kısmının (üçte birinin) ise elektrotun ucunda görüldüğünü açıklar. Bu yöntemle nispeten dar ve derin nüfuziyetli kaynak elde edilir.
- **Doğru Akım Pozitif Elektrot (DCEP):** Bu aynı zamanda ters bağlantı olarak adlandırılır. Elektrot güç kaynağının pozitif kutbuna bağlıdır. Elektronlar iş parçası yerine tungsten elektrot üzerindedir. Bu yöntemde nüfuziyet daha azdır. Elektrot ucunun ergimemesi için daha büyük çaplı ve su soğutmalı elektrotlar kullanılır. Koruyucu gazın pozitif yüklü iyonları iş parçasını bombardıman eder, bu gaz bombardımanı oksit filmine çarpar ve temiz bir kaynak yüzeyi elde edilir. Bundan dolayı DCEP derin nüfuziyet istenmeyen ince, alüminyum ve magnezyum gibi kuvvetli oksit oluşturan malzemelerin levhaların kaynağında kullanılabilir.
- **Alternatif Akım (AC):** Şekilde gösterildiği gibi oldukça iyi nüfuziyet ve oksit temizleme özelliklerinin istendiği durumlarda kullanılır. .Bu genellikle alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. TIG kaynağında arkta yük taşıyıcıların üç farklı hareketi

Tungsten ark kaynak yönteminde kullanılan dolgu teli akım taşımadan eriyen kaynak telleri veya çubukları formundadır. Ana malzemenin türüne uygun olarak seçilen kaynak telleri için aşağıdaki standartlar kullanılır;

- TS EN ISO 18273 – Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı için tel elektrotlar, teller ve çubuklar – Sınıflandırma
- TS EN ISO 636 – Alaşımsız ve ince taneli çeliklerin tungsten asal gaz kaynağı için çubuklar, teller ve yığılmış kaynaklar - Sınıflandırma
- TS EN 13347 – Kaynak telleri- Bakır ve bakır alaşımları için
- TS 6206 EN ISO 18274- Kaynak telleri- Nikel ve nikel alaşımları için
- TS EN ISO 24034- Kaynak telleri- Titanyum ve titanyum-paladyum alaşımları için
- TS EN ISO 14343- Kaynak telleri- Paslanmaz ve sığağa dayanıklı çelikler için

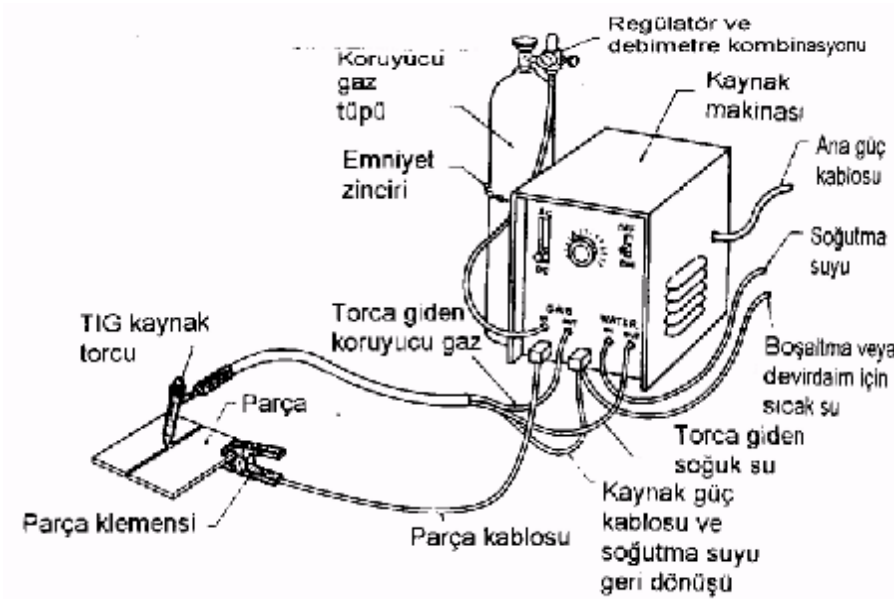
Tungsten elektrot ve ana malzeme arasında bir ark oluşması gerektiği zaman, bu aralığın elektriki yönden iletken hale getirilmesi gerekmektedir. Arkın tutuşturulması esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık sayesinde, koruyucu gaz elektrikselleşen hale dönüşür.

Kullanılan kaynak düzeneğinde yüksek frekans ya da yüksek gerilim uyarı etkili cihazlar var ise, temassız tutuşma mümkündür. akım rölesi devreye girdiğinde, eğer elektrodun ucu parçaya 3 mm mesafede tutulmuşsa arkı kendiliğinden tutuşturur. Tutuşturma düzeneği olmadığı durumlarda ise elektrot parçaya birkaç saniye temas ettirilerek kısa devre yapılır ve tutuşma gerçekleşir.

Elektrodu değdirerek arkı tutuşturma yönteminde önce kaynak makinesi çalıştırılır koruyucu gaz akışı başladıktan sonra elektrot iş parçasına temas edene kadar yaklaştırılır ve temastan hemen sonra hafifçe geri çekilir böylece ark oluşur. Ark değdirilerek tutuşturulurken şayet dikkat edilmezse tungsten elektrottan bir parça kaynak ağzına yapışabilir ve bu durum kaynak dikişinde tungsten kalıntısı olmasına sebep olur.

2.2.5. TIG kaynağı donanımı

TIG kaynağı için gereken donanım ve malzemeler, içinden koruyucu gaz geçen ve bu gazı ark çevresine yönlendiren bir meme ile erimeyen bir tungsten elektrot içeren bir torç, bir koruyucu gaz tüpü, bir basıncı düşürme manometresi olan basıncı regülatörü ile debimetre denilen bir akış ölçer, bir elektrik akımı retecisi ve bazı makinelerde bir soğutma suyu devresinden oluşur.



şekil 2.15. TIG Kaynak Donanımı

2.2.5.1. TIG torçu

TIG torçu, özel olarak tasarlanmış bir elektrot tutucusudur. Torç, çeşitli ebatlardaki tungsten elektrotları kolaylıkla kullanabilecek şekilde üretilmiş olup, koruyucu gazın akışını yönlendirecek, deforme olunca değiştirilebilen bir gaz memesi ile donatılmıştır.

TIG kaynağında gereken ark gücüne bağlı olarak gaz veya su soğutmalı torçlar kullanılmaktadır. Hava ile soğutulan TIG torçları yaklaşık 250 A ark akım şiddetlerine kadar kullanılabilir ancak su soğutmalı olanlar yüksek ark akım şiddetlerinde uzun süreler kullanılabilir.

2.2.5.2. Tungsten elektrotlar

TIG kaynağında kullanılan ergimeyen tungsten elektrotlar için TS EN 26848 standardı oluşturulmuştur. (Çizelge 2.3.) Şekilleri silindirik çubuklar olup, tungsten metalinin yüksek erime sıcaklığı 3390°C olduğundan bu elektrotlar genellikle döküm yöntemiyle değil sinterlenerek ve bağlayıcı ile birleştirilerek üretilir. Standartlaştırılmış çaplar 0,5; 1,0; 1,6; (2,0); 2,4; (3,0), 3,2; 4,0; (5-0);(6,0); 6,4; 8,0 mm dir. Eğriliklerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Yuvarlak kesitli elektrotlardan başka, dikdörtgen kesitli elektrotlar da vardır. Bunlar özel tip elektrot olarak standartlaştırılıp, boyları 50; 75; 150 ve 175 mm'dir.

Doğru akımla kaynak işleminde sivri uçlu elektrot ark esnasında yüksek ısı dayanca sahip olmalıdır. Üretim aşamasında tungsten elektroda toryum oksit ilave edildiğinde, tutuşma emniyeti artar ve yüklenebilirlik iyileşir. Fakat alüminyum AC'de yüksek akım şiddetiyle kaynaklanırken elektrot ucunun düzgün küresel bir şekilde olması istenir. Kaynak operasyonu tam mekanizeyken ve nükleer reaktör çalışmalarında elektrot seçimi özenli yapılmalıdır çünkü yanlış elektrot seçimi durumunda tutuşmada zorluklar yaşanır ve uygunsuz dayanma süreleri ya da stabil olmayan ark oluşumu meydana gelir.

Çizelge 2.3. Tungsten elektrot çeşitleri

	İşareti	Oksit İçeriği (%)	Katkıskar (%)	Renk Kodu	Bazı özellikleri
Katkısız	W	-	<0.20	Yeşil	Alternatif akımda ark kararlılığı iyi, elektrod ucu düzgün yarı küre şeklinde olmalı
Toryum oksit	WT 10	0.90-1.20 ThO ₂	<0.20	Sarı	Toryum oksit oranı yükseldikçe, elektron çıkışında açığa çıkan enerji azalmaktadır. Bu nedenle tutuşma özellikleri, dayanma süresi ve akım yüklenebilme kapasitesi artmaktadır.
Toryum oksit	WT 20	1.80-2.20 ThO ₂	<0.20	Kırmızı	
Toryum oksit	WT 30	2.80-3.20 ThO ₂	<0.20	Leylak	
Toryum oksit	WT 40	3.80-4.20 ThO ₂	<0.20	Portakal	
Zirkonyum oksit	WZ 4	0.30-0.50 ZrO ₂	<0.20	Kahverengi	Kaynak banyosu elektrod tarafından daha az kirlenir.
Zirkonyum oksit	WZ 8	0.70-0.90 ZrO ₂	<0.20	Beyaz	
Lantan oksit	WL 10	0.90-1.20 LaO ₂	<0.20	Siyah	Toryum oksitli elektrotlara oranla daha uzun dayanma süreleri. (plazma ark yöntemleri)

2.2.5.2. Kaynak makinası

TIG kaynağında kullanılan kaynak makinası tipi düşen statik karakteristikli akım üreteçleridir. Bu sebeple prensip olarak, elektrik ark kaynağında kullanılan makineler TIG kaynağında da kullanılabilir.

TIG kaynağında, elektrik ark kaynağına kıyasla devrede kalma süresindeki kesiklikler çok daha az sayıya olduğundan, uygun kuvvette akım üreteçlerinin seçimi çok önemlidir.

TIG kaynağında alternatif akım da doğru akım da kullanılabilirdiğinden, kaynak transformatörleri ve kaynak redresörlerinden biri seçilir. Bazı makineler hem doğru akım hem de alternatif akım verebilen bileşik makinelerdir.

Günümüz şartlarında TIG kaynağında, çok düşük akımlarla çalışılabildiği için, akım üreteçlerinde ince ayar mekanizması ile hassas biçimde ayarlanabilmesi gerekir.

Düşey karakteristikli kaynak makinelerinde akım şiddeti, makine üzerinde başka bir karakteristik eğrisi seçilerek ayarlanır. Bu şekilde aynı ark boyunda ark gerilimi de bir miktar yükselmiş olur fakat kaynakçı bunu, elektrot ile parça arasındaki mesafeyi değiştirerek daha iyi etkileyebilir.

2.2.5.4. Kontrol ünitesi

Çoğu durumda kaynak akımının çalışılan noktada veya kaynak yaparken değiştirilmesi gerekmektedir. Bu gibi durumlarda gerek elle gerekse ayakla çalışan uzaktan kumandalı cihazlar avantaj sağlamaktadır.

Kaynak sırasında her bir fonksiyonun değiştirilebilmesini mümkün kılan kontrol cihazları mevcuttur. Bu cihazlar ya makinadan ayrı veya makinenin içinde entegre bir ünite şeklindedir.

Basit bir cihazın aşağıdaki fonksiyonları yerine getirmesi gerekir;

1. akım rölesini çalıştırmalıdır
2. elektrot tutuşturucuyu çalıştırmalıdır
3. koruyucu gaz ventilini açıp kapatabilmelidir
4. krater doldurma tertibatını çalıştırmalıdır.

Bu fonksiyonlar, ya iki (iki zamanlı) ya da dört kademedede (dört zamanlı) görev yapacak formdadır. Kaynak makinası, toplam kaynak işlemi süresince açık kaldığından, elektrot, bir koruyucunun devreye sokulmasıyla ve çıkarılmasıyla akım yüklenir ya da yüklenmez. Tutuşturma için gereken yüksek frekanslı gerilim veya yüksek gerilim impulsları da kaynak akımıyla birlikte devreye sokulur. Kayıplardan kaçınmak için koruyucu gaz da sadece esas kaynak işlemi sırasında akmalıdır. Diğer taraftan tutuşturma sırasında da tungsten elektrodun tatminkâr şekilde korunması gerekir. Bu durum, kaynağın başlangıcından kısa bir süre önce, koruyucu gaz akışını kontrol eden magnet ventilin gaz akışını serbest bırakması ile sağlanır.

2.2.6. TIG kaynağına etki eden faktörler

Her bir kaynak yönteminde kaynak parametreleri ve ortam şartları, kaynak işleminin sonucuna etki yapar. TIG kaynağında en önemli parametreler;

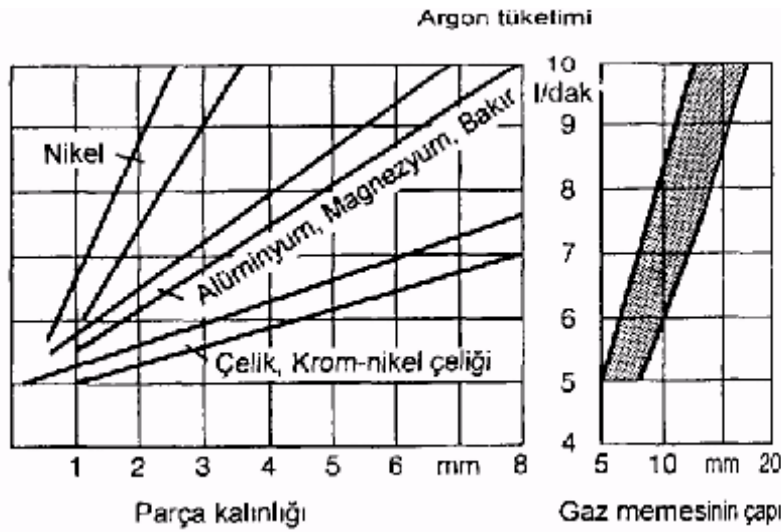
- koruyucu gaz akış debisi,
- tungsten elektrodun durumu,
- akım türü,
- kutuplanma şekli,
- akım şiddeti,
- ark gerilimi,
- kaynak hızı'dır.

2.2.6.1. Koruyucu gaz akış debisi

Koruyucu gaz tüketimi ve dolayısıyla ayarlanması gereken gaz debisi, malzemenin kalınlığından, esas metalden, elektrot çapından, ilave tel çapından etkilenir.

Ayrıca bu değerlerden, kaynak banyosunun büyüklüğü, ısının tesiri altındaki bölge, kaynak hızı, torcun hareketleri ve kaynak ağzının şekli ve çevredeki hava hareketleri (rüzgar vs.) nedeniyle sapmalar ortaya çıkabilir.

Koruyucu gaz tüketimi, akış miktarının bağlı olduğu gaz memesinin çapı tarafından belirlenir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Parça kalınlığına ve gaz memesinin çapına bağlı olarak argon tüketimi

2.2.6.2. Elektrodun durumu

Doğru akımla TIG kaynağında, toryum oksit, zirkonyum oksit, lantan oksit, seryum oksit, ve bu oksitlerin karışımlarını içeren tungsten elektrotlar kullanılır. % 1-5 arası oksit ilavesi, arkın tutuşturulmasını iyileştirmekte ve elektrodun akım yüklenebilirliğini artırmaktadır.

Alternatif akımla TIG kaynağında, çoğunlukla %100 tungsten elektrotlar kullanılır. Elektrodun yüklenebileceği azami akım değeri, elektrodun çapına, kutuplamaya, akım formuna ve az da olsa torcun soğutulma şartlarına bağlıdır.

Uygun akım şiddetiyle yüklendiğinde, ark sakin bir şekilde yanar ve elektrodun ucunda sıvı tungsten küçük bir küre oluşur. Bu nedenle elektrotların taşlanmaması,

aksine kaynaktan kısabir süre önce, uygun bir küre erimesi için elektrodun kızdırılması tavsiye edilmektedir.

2.2.6.3. Akım türü ve kutuplama

Akım türü ve kutuplarına, her şeyden önce nüfuziyet formunu etkiler. Negatif kutuplamanın aksine pozitif kutuplamalı kaynaktaki düşük nüfuziyet, pozitif kutuplu kaynakta gerekli olan kalın elektrotlarda daha düşük enerji yoğunluğu ve daha düşük akım yüklenebilirlik sağlar. Bu durum, alternatif akımla kaynakta da benzer form oluşturur. Kalın elektrot uçları, düz ve geniş bir nüfuziyet oluşturur. Kaynak sırasındaki aşınma nedeniyle elektrodun kütleşmesinin, nüfuziyet derinliğindeki bir azalmaya yol açacağı da hesaba katılmalıdır.

2.2.6.4. Akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızını etkisi

Akım şiddeti, diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, herşeyden önce nüfuziyet derinliğini etkiler. Ayarlanan akım şiddeti bu nedenle kaynak edilen parça kalınlığına uygun olmalıdır. Parça kalınlığının her mm'si için gerekli akım şiddeti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Çelik - doğru akım (negatif kutup) - 45 A / mm

Alüminyum - alternatif akım - 40 A / mm

TIG kaynağında ark gerilimi, arkın tam bir gaz örtüsü ile korunmasının mümkün olduğu kadar kısa olması için daima çok düşük olmalıdır. Bu nedenle dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Yine de ark geriliminin yükseltilmesi yani ark boyunun arttırılması halinde, dikiş genişliği artar ve alaşım yanması problemi azalır.

Ark gerilimi gibi kaynak hızı da, diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu derecede dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Kaynak sırasındaki şartlara göre ayarlanır ve aynı değerde tutulur. Bu sayede esas metal yeterli derecede erir ve katılma sırasında eşölçülü bir dikiş oluşur.

Kaynak hızının arttırılması, birleşme hatalarına, düşürülmesi ise dikişin genişlemesine ve istenmeyen aşırı ısı girdisine yol açar. TIG kaynağında en yaygın kaynak hızları 10 ila 40 cm/dak arasındadır. (GSI SLV, 2017)

2.2.7. Kaynak hataları

Kaynak ısı girdisinin düşük olması, yanlış kaynak tekniği kullanıldığında, yanlış kaynak ağız hazırlığı yapıldığında, kaynak hızının yüksek olduğu durumlarda yetersiz ergime görülebilir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Yetersiz ergime



Şekil 2.18. Tamamlanmamış kök nüfuziyeti

Kaynak akımı yüksek veya az olduğunda, bağlantı hatalarında, uygulama hatalarında aşırı nüfuziyet meydana gelebilir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Aşırı nüfuziyet

Yanma oluğu (Şekil 2.20) yüksek amper kullanıldığında, ark uzun olduğunda, torcun açısının yanlış olduğunda ya da hızlı kaynak durumlarında oluşur.



Şekil 2.20. Yanma oluğu

Fazla dışbükeylik (Şekil 2.21) ark gücünün yüksek olduğunda, gerilim yüksek olduğunda, kaynak hızı düşük olduğunda oluşabilir.



Şekil 2.21. Aşırı dışbükeylik

Kaynak hızı düşük olduğunda üste binme oluşabilir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Üste binme

Yetersiz dolgu, hızlı kaynak yapıldığında, yanlış kaynak tekniği kullanıldığında görülür (Şekil 2.23).



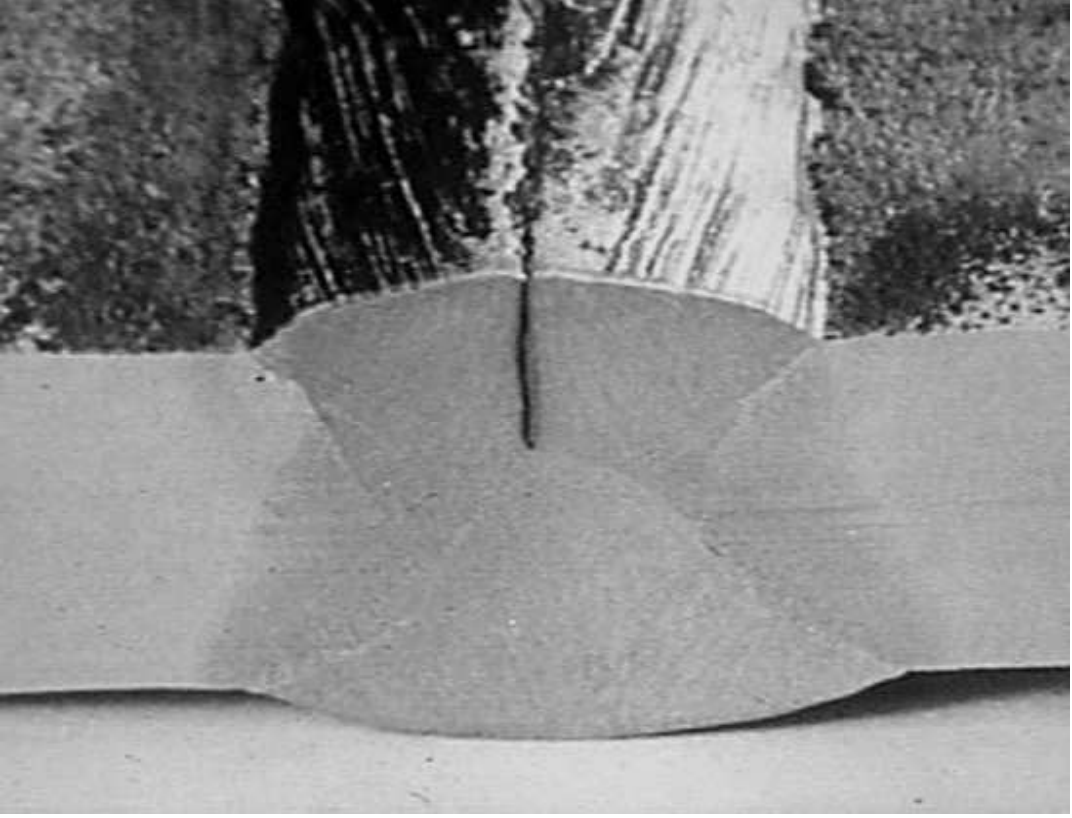
Şekil 2.23. Yetersiz dolgu

Yanlış koruma gazı kullanıldığında, torcun açısının yanlış olduğu durumlarda, iş parçası kontak meme mesafesinin büyük olduğu durumlarda, yanlış ark türü seçildiğinde sıçranta oluşabilir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Sıçranta

Soğuk çatlak (Şekil 2.25) büzülme sırasında oluşan gerinimler neden olur. Yanlış kaynak ağızı hazırlığı geniş ve kalın kaynak yapılması, çok yüksek ısı girdisi, malzemede içinde bulunan kükürt ve fosfor neden olabilir.

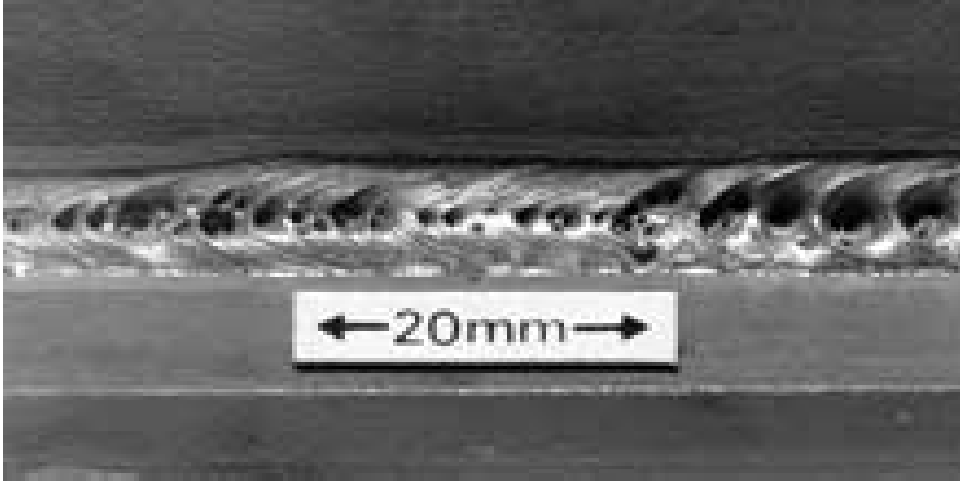


Şekil 2.25. Soğuk çatlak

Kaynak edilecek parçanın temiz olmaması, uygun olmayan gaz-tel kombinasyonları, yetersiz gaz koruması olduğunda, serbest tel boyu fazla olduğunda, yanlış torç açısıyla kaynak yapıldığında, gaz deliği tıkanıldığında veya su sızıntısı varsa gözenekler (Şekil 2.26, Şekil 2.27) oluşabilir.



Şekil 2.26. Gözenek



Şekil 2.27. Sıralı gözenek

2.3. Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Tahribatsız muayene (TM); malzemelerin fiziki yapısını ve kullanılabilirliğini bozmadan içyapısında ve yüzeyinde bulunan süreksizliklerin tespit edilmesidir. TM yöntemleri ile malzemelerde üretim sırasında ya da belirli bir süre kullanıldıktan sonra oluşabilecek çatlaklar, döküm ve kaynak operasyonları sonucu içyapıda ya da yüzeyde oluşan gözenekler, korozyon sebebiyle kesit daralması gibi malzeme kusurları tespit edilebilir. Bu tip muayenelerde, kontrol edilecek malzemelerden herhangi bir numune almaya gerek yoktur. Muayeneler direkt iş parçası üzerinde yapılır. Uygulanacak muayene yöntemi, kontrol edilen malzemenin özelliklerine ve aranan hata türüne göre tespit edilir.

Kaynak dikişlerine uygulanan TM yöntemleri;

- Görsel Muayene Yöntemi
- Sıvı Penetrantla Muayene Yöntemi
- Manyetik Parçacık Yöntemi
- Ultrasonik Muayene Yöntemi
- Radyografi Yöntemi
- Girdap Akımları Yöntemidir.

2.3.1 Görsel muayene

Yüzey kontrolü amaçlı kullanılan en yaygın TM yöntemi görsel muayenedir. Uygulanması basit, düşük maliyetli ve diğer birçok tahribatsız muayene yöntemlerinden önce yaygın olarak kullanılır. Optik cihazlar veya endoskoplar gibi ekipmanlar yardımıyla ya da bunlar olmadan da yapılabilir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle beraber otomasyonlu yüksek hızlarda diğer TM yöntemleri için hazırlanmış uygulama standartlarının çoğu da öncelikle görsel muayene yapılmasını ve bulguların kayıt altına alınmasını ister. (Rajendran, 2009)

Görsel muayenenin amacı gözle görülebilen kusurların tespiti ya da önceden belirlenmiş kriterlerden sapmaların tespiti ve tanımlanmasıdır.

Görsel muayenede en önemli husus iyi aydınlatmadır. Genellikle aydınlatma şiddetinin en az 350 lux olması istenir ancak birçok standartta 500-1000 lux aydınlatma şiddeti tavsiye edilir.

Muayene edilecek bölge mutlaka kuru, yağsız, temiz ve muayene yüzeyinden en az 30° bakma açısını sağlanacak şekilde ulaşılabilir olmalıdır. Genellikle muayene yüzeyi hazırlığı olarak yüzey temizliği yapılması istenmez. Daha doğrusu yüzey beklenen hataların en iyi tespit edileceği halde olmalıdır. Kayıt yöntemi olarak fotoğraflama, video kaydı veya replika alma tekniği seçilebilir

Görsel muayene ile kaynak dikişinde, yanma çentikleri, dikiş boyutlarındaki uygunsuzluk, iç köşe dikişlerinin asimetrisi, yüzeydeki çatlaklar, yüzeye çıkmış gözenekler, krater çatlakları, durup başlama noktalarındaki hatalar, kök pasoda nüfuziyet eksikliği veya kök sarkması gibi hatalar rahat bir biçimde tespit edilebilir. Fakat yöntemin etkililik derecesi muayene personelinin kalifikasyonuna göre değişebilir. (Akay, 2012)

2.3.1 Sıvı penetrant muayenesi

Sıvı penetrant testi hızlı, kolay, düşük maliyetli ve hassas bir tahribatsız muayene yöntemidir. Çok çeşitli malzemelerin muayenesinde kullanılabilir olup, üretim veya servis esnasında oluşmuş yüzeye açık süreksizliklerin tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca taşınabilir ekipmanlar yöntemin uygulama alanını genişleten etmenlerin başında gelmektedir. (Shull, 2001)

Penetrant sıvıların, yüzeyleri ıslatma ve çatlak-boşlukların içine nüfuz etme özelliği vardır. Sıvıların bu özelliği, muayene edilecek parçanın yüzeyindeki çok dar, gözle görülmeyen çatlakları görülebilir duruma getirmekte kullanılır. Renkli olan bu sıvılar çatlaktan emme etkisi ile dışarı çıkarılırsa, çatlakların bulunduğu yerler üst yüzeyde işaretlenmiş gibi belirti oluşumu ile tespit edilirler.

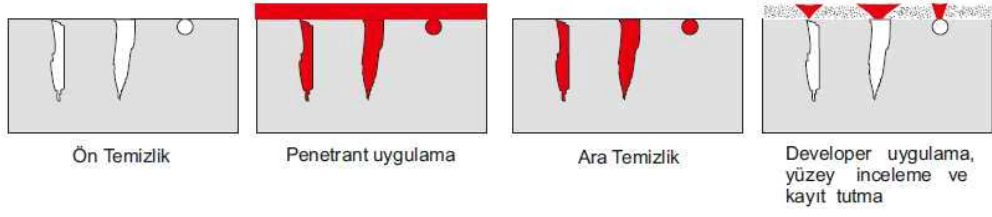
Penetrant muayenesi ile kontrol edilecek yüzeyler, muayeneyi etkileyecek tüm kirliliklerden arındırılacak şekilde hazırlanmalıdır.

Hazırlanmış yüzeye penetrant sıvısı uygulanır ve olası malzeme boşluklarını mümkün olan en iyi şekilde dolduracak süre kadar beklenir. Nüfuz etme süresi sonunda, yüzeydeki fazla penetrant sıvı temizlenir. Bu ara temizlik işlemiyle yüzey dışarıdan temiz görünmekle birlikte dar yarıklar içerisinde sıvı kalır.

Daha sonraki adımda yüzeye geliştirici uygulanır ve bir kurutma kağıdı gibi görev yapan geliştiriciyle, malzeme boşluğuna nüfuz etmiş olan penetrant sıvı dışarı alınır.

Bundan sonra gözlemcinin çıplak gözle veya büyüteçle yaptığı incelemede dar çatlakların yüzeydeki açıklığının iki boyutlu büyütülmüş görüntüsü, beyaz geliştirici ile görünür hale gelir ve kayıt altına alınır (Şekil 2.28). Son olarak muayene yüzeyi temizlenir.(NONNDT, 2009)

PENETRANT MUAYENE YÖNTEMİ



Şekil 2.28. Penetrant muayene adımları

Penetrant sıvısı, ara temizleyici ve geliştirici penetrant sistemini oluştururlar. Bu ürünler optimum şekilde etki etmeleri için, her zaman aynı üretici tarafından üretilmiş, aynı ürün ailesine ait ve üretici tarafından onay verilmiş olmalıdırlar.

Sıvı penetrant yönteminde TS EN ISO 3452-1'e göre üç farklı tip penetrant kullanılır:

Tip1- Fluoresimallı penetrant sıvısı

Tip2- Renkli kontrast penetrant sıvısı

Tip3- Her ikisini de içeren sıvılar

Fluoresimallı penetrantlar, görünmeyen ultraviyole ışınlarını görülebilir ışık haline dönüştürebilme özelliğine sahip lumojen özellikli maddeler içerirler. Bu maddeler, muayene parçası yüzeyine yapıştığı her yerde üzerine gelen ultraviyole ışınları görülebilir ışık olarak yansıtırlar. Çevre aydınlatılmasının yeteri derecede karartılması ile bulgular aydınlatma yoğunluğu kontrastından tespit edilirler. Kural olarak fluoresimallı belirtiler renkli kontrast penetrant bulgularına göre daha hızlı ve iyi ayırt edilirler.

Renkli kontrast penetrant gün ışığında veya yapay görünür ışıkta incelenir. Genellikle koyu kırmızı renkte olup, yeterli aydınlatma koşullarında beyaz geliştirici zeminde kontrast boya şeklinde görünür olurlar.

Fluoresimallı- renkli kontrast karışık tip penetrantlar aynen fluoresimallı penetrantlarda olduğu gibi, görünmeyen ultraviyole ışınlarını görünür ışığa dönüştüren ama aynı zamanda görünür ışıkta kırmızı renkte görünen fluoresimallı boya maddeleri içerir.

Bu penetrant sisteminin avantajı, aynı parçada ikinci bir muayene sistemi uygulanmasına gerek kalmadan, seçime göre düşük duyarlılıkta renkli kontrast penetrantın veya yüksek duyarlılıkta flouışmalı muayenenin yapılabilmesidir.

Sıvı penetrant muayenesi sonucu elde edilen bulgular fotoğraflama, video kayıt, sıyrılabilir tip özel geliştirici, rapor formuna çizim teknikleri ile kayıt altına alınır.

Sıvı penetrant yönteminin avantajları;

- Çok geniş kullanım alanı vardır.
- Kolay uygulanan ekonomik bir yöntemdir.
- Ekipmanlar kolayca taşınabilir.
- Büyük, küçük, karmaşık şekilli parçalarda uygulanabilir.
- Otomatik sistemler kullanılabilir.

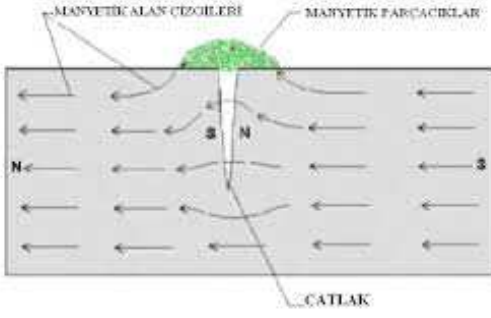
Sıvı penetrant yönteminin dezavantajları;

- Sadece yüzeye açık hatalar tespit edilebilir.
- Belirti tespitinde muayene personelinin bilgi ve tecrübesi önemli bir kriterdir.

2.3.3. Manyetik parçacık yöntemi

Manyetik parçacıkla muayenin uygulama alanı karbon çelikleri, bazı nikel ve kobalt alaşımları gibi mıknatıslanabilen malzemelerle sınırlıdır. Bu alaşımlar manyetik alanı kuvvetlice içine alırlar veya manyetik alan çizgileri için havaya göre çok geçirgendirler. Bu özelliğe manyetik geçirgenlik, bu tip alaşımlara da ferromanyetik malzemeler denir.

Ferromanyetik muayene parçalarında manyetik parçacıkla muayene sırasında bütün kesiti manyetik olarak doyuran yüksek bir manyetik akı indüklenir. Eğer manyetik akı çatlak gibi bölgesel bir kesit azalmasıyla bozulursa o zaman manyetik akı çatlak üzerinden geçer. Bu kaçak akı küçük ferromanyetik toz parçacıklarıyla görülür hale gelir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29. Manyetik parçacık yöntemiyle çatlak tespiti

Manyetik parçacık yönteminde kullanılan manyetik alanlar doğru akım veya alternatif akım ile oluşturulmaktadır. Alternatif akım saniyede birkaç kez yönünü değiştirirken doğru akım değiştirmez. Alternatif akımın manyetik etkisi çok ince bir yüzey tabakasında (skin effect) yaklaşık 2 mm kalınlığa kadar oluşur. Fakat alternatif akım karmaşık yüzeylere daha iyi adapte olur.

Doğru akımın 5-10 mm gibi belirli bir derinlik etkisi vardır, fakat özellikler kesit değişim bölgelerinde geometrik belirtiler oluşturmaya meyillidir (sakal oluşumu).

Bu yöntemle muayene edilecek parçanın önce manyetikleştirilmesi ve muayene sona erince de bu manyetikliğin tersine döndürülmesi gerekir. Muayene parçasını manyetize etmek için çeşitli teknikler vardır. Bu teknikler, test parçası içinde meydana gelen manyetizasyonun geometrik şekline göre boyuna ve dairesel olmak üzere iki grupta toplanır.

Dairesel mıknatıslandırma; parçadan direkt veya temas elektrotlarıyla akım geçirilmesi, iletkenle alan oluşturulmasıdır. Muayene parçası mıknatıslama cihazının kutupları arasına sıkıca temas sağlanacak şekilde yerleştirilir. Bu şekilde parçadan elektrik akımı geçirilir. Muayene parçasının kendisi bir iletken olur ve etrafında dairesel manyetik alan meydana gelir. Parçanın eksenine yönündeki süreksizlikler tespit edilebilir. Süreksizliklerin tespit edilebilmesi için parçada yeterli alan çizgisi yoğunluğu olması gerekir yani uygun mıknatıslandırma akımının verilmesi gerekir.



Şekil 2.30. El yokesi

Boyuna mıknatıslandırma; bobin veya boyunduruk ile uygulanır. Büyük ve uzun olmayan muayene parçaları bölge bölge mıknatıslandırılabilir. Bu iş muayene parçasının yüzeyine oturtulan el manyetleriyle (Yoke) (Şekil 2.30) gerçekleştirilir. Akım muayene parçasından geçmez el manyetinin sarımından geçer. El manyetinin ayakları arasından sarım tarafından üretilen ring şeklindeki manyetik alan geçer. Muayene parçasında el manyetinin ayakları arasında boyuna alan oluşur, bu alana dik olan süreksizlikler tespit edilebilir.

Yanık yerler oluşturduğu için prodlarla doğrudan yüzeye akım vererek parça muayenesi seyrek kullanılır.

Hangi mıknatıslandırma tekniğinin kullanılacağına,

- Muayene parçasının geometrisi
- Aranılan süreksizliğin tipi
- Mevcut cihaz ve düzenek göz önünde bulundurularak karar verilir.

Muayene yüzeyindeki tufal, boya ve diğer kirlilikler muayene olumsuz etkileyebilir. İnce kaplamalar muayene duyarlılığını önmlü ölçüde etkilemediği için uzaklaştırılmasına gerek olmaz.

Belirtileri tespit edebilmek için yeterli şiddette ve birbirine dik iki yönde mıknatıslandırma yapılmalıdır. El manyetiyle artı şeklinde mıknatıslandırma yapılır. Radyal yöndeki belirtilerin tespiti için boyunduruğa sıkıştırılan parçadan manyetik alan geçirilir. Alan şiddeti ölçüm cihazıyla parçada yeterli alan şiddetinin sağlanıp sağlanmadığı

kontrol edilir, bu şekilde parçada muayenenin yapılabilmesi için gerekli manyetik akının oluştuğu kabul edilir.

Belirtilerin gözle görülür hale gelmesi için bir tespit ortamı kullanılması gerekir. Bu tespit ortamı yağ veya su içerisinde asılı manyetik tozlardır. Tespit ortamının uygunluğu sürekli mıknatıslık özelliği olan kontrol bloğuyla kontrol edilir. Tespit ortamı çoğu kez mıknatıslandırma esnasında 3-5 s püskürtülür, püskürtme kesilir ve parça bir süre daha mıknatıslandırılır.

İnceleme mıknatıslandırma ve püskürtme sırasında gerçekleştirilir. Belirtileri çabuk ve güvenilir bir şekilde bulmak için flourişmalı tespit ortamları kullanılır. Parlak yüzeylerde beyaz zemin boyası uygulanarak siyah veya kırmızı demir tozları da kullanılır. İnceleme sırasında aydınlatma koşullarına dikkat edilmesi gerekir.

Muayene bitiminde, parça daha sonraki işlemler gerektirdiği takdirde parçadaki artık mıknatıslık çeşitli mıknatıslık giderim yöntemleriyle giderilir ve muayene artıkları temizlenir. (TSE, 2004)

Manyetik parçacık muayenesinin avantajları;

- Çabuk ve güvenilir bir muayene yapılabilir.
- İnce çatlaklar tespit edilebilir.
- Yüzeye açık olmayan çatlaklar tespit edilebilir.
- Penetrant muayenesine göre çevreye daha az zarar verir.
- Penetrant muayenesine göre yüzey temizliği daha kolaydır.

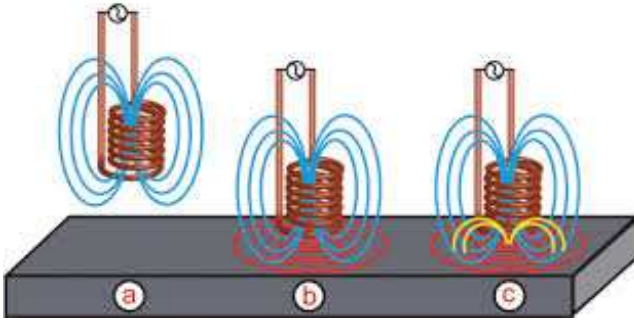
Manyetik parçacık muayenesinin dezavantajları;

- Sadece ferromanyetik malzemelerde kullanılır.
- Hacim içerisindeki hatalar tespit edilemez.
- Küçük gözeneklerin tespit edilmesi zordur.
- Mıknatıslığın giderilmesi gerekir.
- Elektrik akımı gerekir.

2.3.4. Girdap akımları yöntemi

Girdap akımlarıyla muayene yöntemi elektrik iletkenliği olan bütün metal ve alaşımlarında yüzey ve yüzeye yakın süreksizliklerin tespiti için uygulanabilir. Bu yöntem ile korozyon ve çatlak tespitinden başka elektrik iletkenliği, geçirgenlik, et kalınlığı ve kaplama kalınlığının tam olarak ölçülmesi de mümkündür.

Bir akım üretici belirli bir f frekansında değişken bir gerilim üretir, bobinde bir zaman gecikmesiyle aynı frekansta akım üretilir. Sarımdan geçen alternatif akım sarımın etrafında şiddeti alternatif akımın frekansa bağlı olarak zamansal değişen, manyetik alan üretir. Sürekli olarak değişen manyetik alan metalik muayene parçasında elektrik akımı üretir. İndüklenen akım malzemede girdap şeklinde akar, bu sebeple bu akıma girdap akımları denir. Girdap akımları sarımdan geçen akımın oluşturduğu manyetik alana zıt yönde bir sekonder manyetik alan oluşturur. Oluşan bu sekonder manyetik alan ölçülerek yüzey hataları tespit edilebilir. Sonuç manyetik alan girdap akımları ölçüsüdür, burada zaman gecikmesi ve manyetik alan şiddeti birincil alan ile karşılaştırılarak elde edilir.



Şekil 2.31. Girdap akımları ile muayene

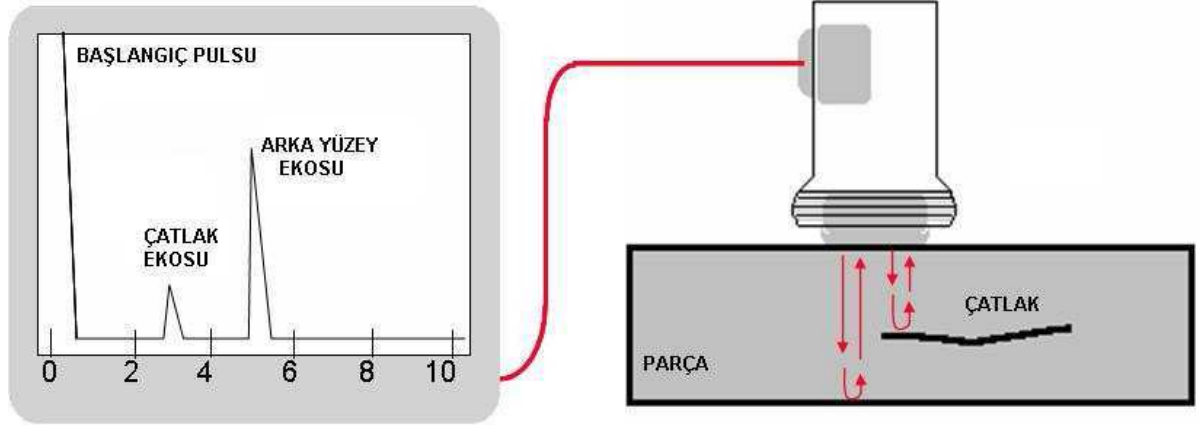
Girdap akımları yönteminin uygulana adımları şematik bir şekilde Şekil 2.31'de verilmiştir. Bu şekilde a- bir AC bobini ve muayene parçasını, b- uyarılan bobinde oluşan değişken manyetik alanın malzeme yüzeyinde dairesel girdap akımlarının oluşturulmasını, c-bobinde oluşan manyetik alan ile etkileşime girerek bu manyetik alana zıt yönde sekonder bir manyetik alan oluşumunu göstermektedir.

Muayene parçasında herhangi bir süreksizlik varsa girdap akımlarını etkiler, zayıflatır. Bu durumda sekonder manyetik alan da zayıflar.

Muayene parçası ve süreksizlik arasındaki elektrik direnci farkı sebebiyle akımlar farklı bir yörünge izlemek zorunda kalacaktır. Bu farklılık kullanılan prop tarafından algılanarak süreksizlik değerlendirilir. (Anonim, 2015)

2.3.5. Ultrasonik muayene

Ultrasonik muayenede prob tarafından üretilen yüksek frekanslı (1-25 MHz) ses paketi (darbe) muayene parçasına gönderilir ve oradan yansıyan darbe tekrar geri alınır. Yansıyan darbenin uçuş süresi ve ses basıncı yankı pozisyonu ve yankı yüksekliği olarak ölçülür. (Şekil 2.32.) Genellikle verici ve alıcı olarak çalışan piezo özelliğe tek kristalli prop yeterlidir. Darbenin uçuş süresi yani gönderilen darbenin alınmaya kadar geçen süre kristal ve yansıtıcı arasındaki mesafe ile orantılıdır bu sayede yansıtıcının (süreksizliğin) konumu tam olarak belirlenebilir. Yankı yüksekliği de süreksizliğin büyüklüğü hakkında bilgi verir.



Şekil 2.32. Ultrasonik muayeneyle çatlak tespiti

Ultrasonik muayene hacimsel bir muayenedir yani metalik ya da metalik olmayan malzemelerde parçanın içindeki süreksizlikleri tespit edebilir. Ancak dalga tipi olarak yüzey dalgaları kullanılan varyasyonlarında yüzeydeki çatlak türü hatalarının tespiti de mümkündür. Eğer süreksizlikler ses demetine dik doğrultuda hizalanmışlar ise prob tarafından çok iyi şekilde algılanabilirler.

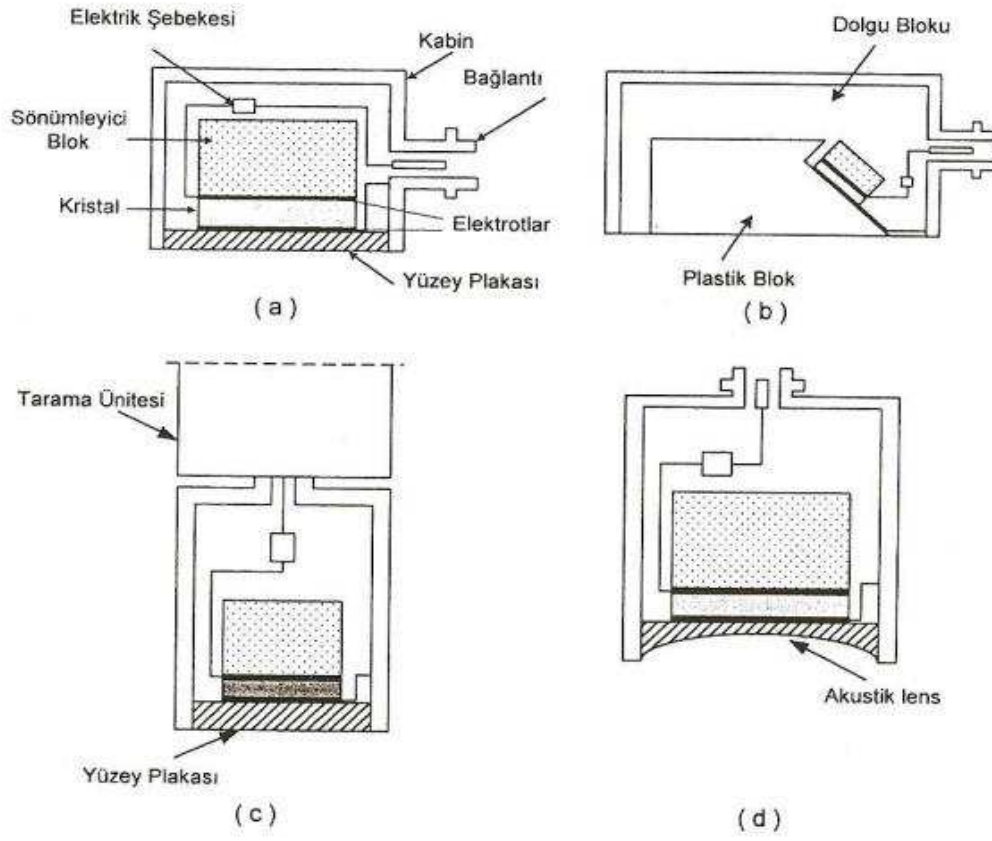
Muayene düzeneği kurulurken seçilen probun özelliklerine de dikkat etmek gerekir. Öncelikle frekansı ve frekans bant aralığı nasıl olacak, düz mü açılı mı olacak, açılı ise giriş açısı değeri (45° , 60° ve 70° vb) ne olacak ve geciktirme takozu kullanılıp kullanılmayacağı gibi kriterlerin belirlenmesi gerekir.

Ultrasonik muayenede kullanılan dalga türleri boyuna dalga (basınç veya sıkıştırma dalgası), enine dalga (kesme), Rayleigh dalgası (yüzey dalgası), Lamb dalgası (Platten dalgası) dalgalarıdır.

Ultrasonik muayenede frekans Megahertz aralığında olup doğrudan temas yönteminde 1-5 MHz aralığındaki frekanslar kullanılırken, daldırma tekniğinde 25 MHz'e kadar yüksek frekanslar kullanılmaktadır. Muayene parçasının mikroyapı özellikleri göz önünde bulundurularak uygun frekans belirlenir. Ses dalgaları boşlukta yayılmadığından ses dalgalarının malzeme içine nüfuz edebilmesi için prob ile muayene yüzeyi arasında bir temas sıvısı kullanılır.

Östenitik malzemeler gibi iç yapısı kaba taneli olan malzemelerde ses saçılması ve zayıflaması fazla olduğundan ultrasonik yöntemin uygulanması zordur. Ayrıca muayene parçası içinde ses hızı ve ses zayıflatması özelliklerinin bölgesel olarak farklılıklar olması ultrasonik muayenede doğru değerlendirme yapmayı bazen imkansız hale getirebilir.

Muayene için ulaşılabilir durumda yeterince geniş bir yüzey hazırlanmalıdır. Yüzey durumu muayene parametrelerini doğrudan etkiler. İnce parçaların muayenesi nispeten güçtür. Genellikle muayene öncesinde referans standard bloklarla (Şekil 2.34) ayarlamaya ihtiyaç duyulur. (Sectorcert, 2017)



Şekil 2.33. Ultrasonik test problemleri

- a) Normal (Düz) prob b) Açılı prob
c) Daldırma probu d) Odaklama probu



Şekil 2.34. Çeşitli kalibrasyon blokları

Ultrasonik muayenin avantajları;

- Yüzeğin altındaki süreksizliklerinin tespitinde kullanılabilir.
- Radyografik muayene yöntemine göre avantajı ise hiçbir çevresel ve canlı sağlığına zarar verecek risk oluşturmaz.
- Ayrıca tüm malzemelere uygulanabilir olması bir diğer büyük avantajıdır.
- Çok küçük hataların bulunmasında büyük hassasiyetlidir.
- Hızlı uygulama yapılabilir.
- Geometrisi zor karmaşık parçaların kontrolü mümkündür.
- Bu yöntem kullanılarak malzeme özellikleri tespit edilebilir.
- Ekipman taşınabilir.
- İş güvenliği bakımından emniyetlidir.

Ultrasonik muayenin dezavantajları;

- Muayene personelinin eğitimi daha kapsamlıdır.
- Uygulama sırasında temas sıvısı gereklidir.
- Geleneksel yöntemle ses dalgasına paralel hatalar saptanamaz.
- Büyük muayene alanlarında yavaş kalabilir.
- Geometri kısıtlaması olan durumlar vardır.
- İşçilik saati bakımından pahalı bir metottur. (Kökdemir, 2007)

2.3.6. Radyografik muayene

Radyografik muayene yöntemi, oldukça hassas bir muayene yöntemi olması ve muayene sonuçlarının kalıcı olarak kaydedilebilir olmasından dolayı sanayide en yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir.

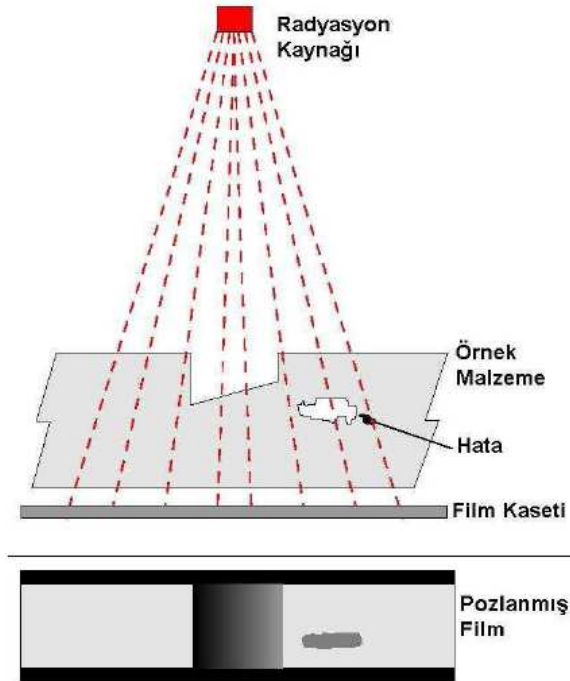
Bu muayene yöntemi ferromanyetik olsun ya da olmasın tüm metaller ve diğer bütün malzemelere uygulanabilir. X ışınları ve gama ışınları malzeme yapısına herhangi bir zarar vermeden iç yapılarını inceleme olanağı verdiği için, TM' de yaygın olarak kullanılmaktadırlar. (Şimşir, 2007)

Muayene parçası X ışını veya gama ışını kaynağından çıkan ışın demeti ile ışınlanır.

Bu ışınlar muayene parçasına nüfuz ettiğinde muayene parçasının diğer tarafından çıkan ışınım miktarı muayene parçasına gelen ışınım miktarından daha az olacaktır. (Şekil 2.35) Yani ışın malzeme içinden geçerken malzemenin özelliğine ve malzeme kalınlığına bağlı olarak belli oranda absorbe edilerek zayıflar ve sonra parçanın arka yüzeyine yerleştirilmiş olan filme ulaşarak filmi etkiler.

Muayene parçasındaki boşluklar dışardan görünmeseler bile kesit azalmasına sebep olurlar bu sebeple ışınları farklı zayıflatacaklarından, süreksizliklerin olduğu bölgelerden geçen ışının şiddeti ve film üzerinde oluşturacağı kararlık da farklı olacaktır. Bu yüzden radyografik filmde boşluklar çevresine göre daha siyah görünür. Ancak malzemedeki süreksizlik çatlak veya boşluk gibi malzeme ayrılması değil de kalıntı tipi bir kusur ise çevresine göre daha açık renkli görülebilir.

Radyografik muayenede ultrasonik muayeneden farklı olarak sadece bulgu tespit edilmez aynı zamanda bulgu tipi hakkında da bilgi sahibi olunur. Işınlama yönüne bağlı olarak süreksizliğin konumu belirlenebilir. Görüntü keskinliği ve çözünürlüğü bulgu tipinin belirlenmesinde önemli rol oynar. (ODTÜ KTM, 2009)



Şekil 2.35. Radyografik muayene düzeneği

Radyografik muayenenin avantajları;

- Sonuçlar film sayesinde resim olarak elde edilir.
- Kalıcı dökümantasyon sağlanır ve muayene tekrarlanabilir özelliktedir.
- Görüntü kalite belirteçleri kullanımıyla her filmde aynı hassasiyet sağlanabilir.
- Bütün malzeme türlerinde uygulanabilir.

Radyografik muayenenin dezavantajları

- Çok kalın parçalarda uygulanması zordur ve tercih edilmez.
- Radyasyondan korunma titizlikle yapılmazsa sağlık için zararlı olabilir.
- Filmin pozlanması ve görüntülenmesi gerekir.
- Hata derinliği hakkında bilgi edinmek için çok detaylı ve kapsamlı bir çalışma yapılması gerekir.
- Lineer hatalar ancak ışınlanma yönünün uygun olduğu durumlarda bulunabilir
- Genellikle yüzeydeki hatalar tespit edilemez.
- Otomasyona uygun değildir.
- Uygulaması son derece zordur. Çevrenin kontrol altında tutulması, test sisteminin kurulmasının çoğu zaman uzun ve zahmetli oluşu diğer yöntemlere göre en büyük dezavantajıdır.

2.4. Tahribatlı Muayene Yöntemleri

2.4.1. Sertlik testi

Sertlik ölçümü test uygulamasının basit olması ve başka tahribatlı testlere oranla numuneyi daha az tahrip etmesinden dolayı malzemeler üzerinde yapılan en temel tahribatlı testtir. Bir başka avantajı ise, bir malzemenin sertlik değeri ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örnek olarak çeliklerde, sertlik değeri ve çekme mukavemeti birbirleriyle doğru orantılı olduğundan, yapılan basit sertlik ölçümü sonucu göz önüne alınarak malzemenin mukavemeti hakkında genel bir bilgi edinilebilir.

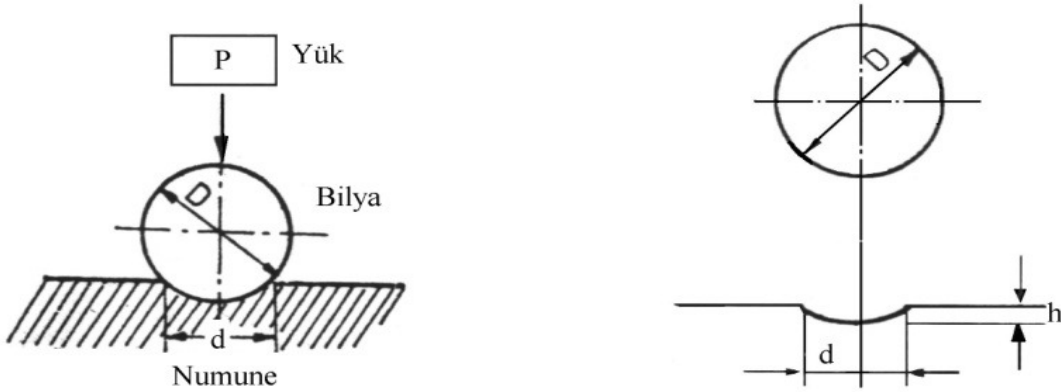
Sertlik çoğunlukla ölçümü yapılan maddenin bir başka cismin batırılmasına karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Sertlik göreceli bir ölçü olup, malzemelerin çizilmeye, sürtünmeye, kesmeye ve kalıcı şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç olarak da bilinir.

Laboratuvarlarda özel cihazlar ile gerçekleştirilen çeşitli sertlik ölçme yöntemleri içinde en yaygın olanları, numune yüzeyinde elde edilen kalıcı izlere göre ölçüm yapan yöntemlerdir. Bu yöntemlerde ölçülen değer, malzemenin kalıcı şekil değişikliğine karşı uyguladığı dirençtir.

Metalik malzemelerin sertlik ölçümünde sıkça kullanılan yöntemler; Brinell sertlik testi, Rockwell sertlik testi ve Vickers sertlik testidir.

Brinell sertlik testi: Batıcı uç (çapı D olan tungsten karbür veya sertleştirilmiş çelik bilye), numune üzerine bastırır ve test kuvveti kaldırıldıktan sonra izin çapı d ölçülür (Şekil 2.36.). Brinell sertliği, test kuvvetinin iz yüzey alanına bölümü ile orantılıdır. (Serifçeli, 2000)

Uygulamada, Tungsten karbür bilye, Brinell sertliği 650 HBW'yi geçmeyen malzemelerde kullanılır. Çelik bilye, Brinell sertliği 450 HBS'yi geçmeyen malzemelerde kullanılır.



Şekil 2.36. Brinell sertlik deneyi prensibi

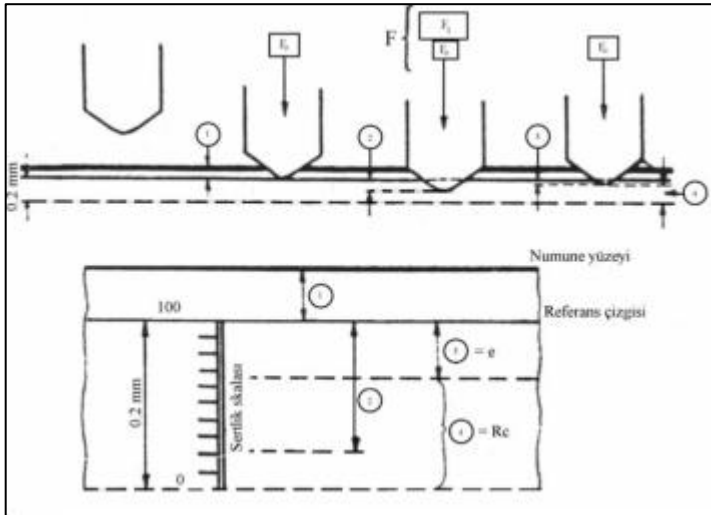
$$BSD = \frac{2P}{\pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

(D2.2)

P = Uygulanan yük (kg),
D = Bilye çapı (mm),
d = İz çapı (mm)

Rockwell sertlik testi: Rockwell sertlik testinde ucu yuvarlatılmış elmas koniden veya çelik bilyeden batıcı uç malzemeye iki aşamada bastırılır. (Şekil 2.0.1.). Bu batıcı ucun yol aştığı kalıcı nüfuziyet derinliği belirli şartlar altında tespit edilir. Nüfuziyet derinliğinden yola çıkılarak Rockwell sertliği elde edilir.

Rockwell sertlik testi skalaları uygulamaları örnekleri;
Rockwell C; sertleştirilmiş çelikler, sertleştirilmiş ve temperlenmiş alaşımlar
Rockwell A; çok sert malzemeler, tungsten karbür vb.
Rockwell B, F; orta sertlikteki malzemeler, düşük ve orta karbonlu çelikler, bakır-çinko alaşımları, bronzlar vb. (ODTU KTM, 2015)



Şekil 2.37. Rockwell sertlik deneyi

Vickers sertlik testi: Taban alanı kare şeklinde olan karşılıklı yüzeyleri arasında Şekil 2.38.'de gösterilen 136° açı bulunan düzgün piramit şeklindeki elmas bir batıcı uç numune yüzeyine batırılır ve test yükü kaldırıldıktan sonra numune yüzeyinde kalan izin

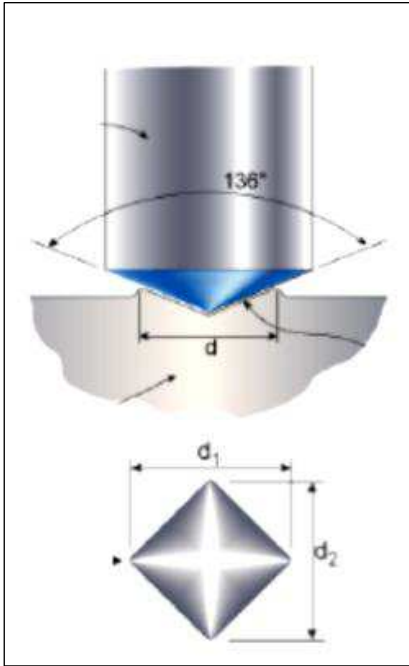
köşegenleri ölçülür(d_1 ve d_2). Vickers sertliği test yükünün oluşan izin yüzey alanına bölümü ile orantılıdır. Burada izin yüzey alanı hesaplanırken, izin kare tabanlı ve elmas uçla aynı açığa sahip düzgün piramit şeklinde olduğu kabul edilir. Vickers sertlik değeri ifade edilirken sertlik değeri ve test şartları birlikte verilir ancak sertik değeri test şartından önce yazılır.

Vickers sertlik deneyi;

HV5 ile HV10 arası vickers sertlik deneyi- $F \geq 49,03$ (N)

HV0.2 ile HV5 düşük yüklerde vickers sertlik deneyi- $1,961 \leq F < 49,03$ (N)

<HV0.2 mikro vickers sertlik deneyi- $0,09807 \leq F < 1,961$ (N) olarak TS EN ISO 6507-1'e göre sınıflandırılır.



Şekil 2.38. Vickers sertlik deneyi

$$VSD = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

F= uygulanan yük (kg),

d iz köşegenlerinin ortalaması (mm)

Denklem 2.3 Vickers sertlik değeri

Vickers sertlik testi aşırı derece yumuşak ve sert tabakalar için de uygun bir ölçüm yöntemidir. Vickers sertlik testinin bir diğer avantajı, oldukça doğru sonuçlar vermesi ve bütün malzemeler için sadece tek tip batıcı ucun kullanılmasıdır. Vickers sertliği metallerin yanı sıra seramik malzemelerde de sertlik tespitinde başarılı bir yöntemdir. (Celal Bayar Üniversitesi, 2016)

2.4.2. Çekme deneyi

Çekme deneyinin amacı belirli şartlar altında dayanç ve sünekliğe ait bir ya da daha fazla karakteristik malzeme özelliğinin belirlenmesidir. Bu amaçla bir çekme numunesi genellikle kopma noktasına kadar uzatılır ve gereken çekme kuvveti ölçülür.

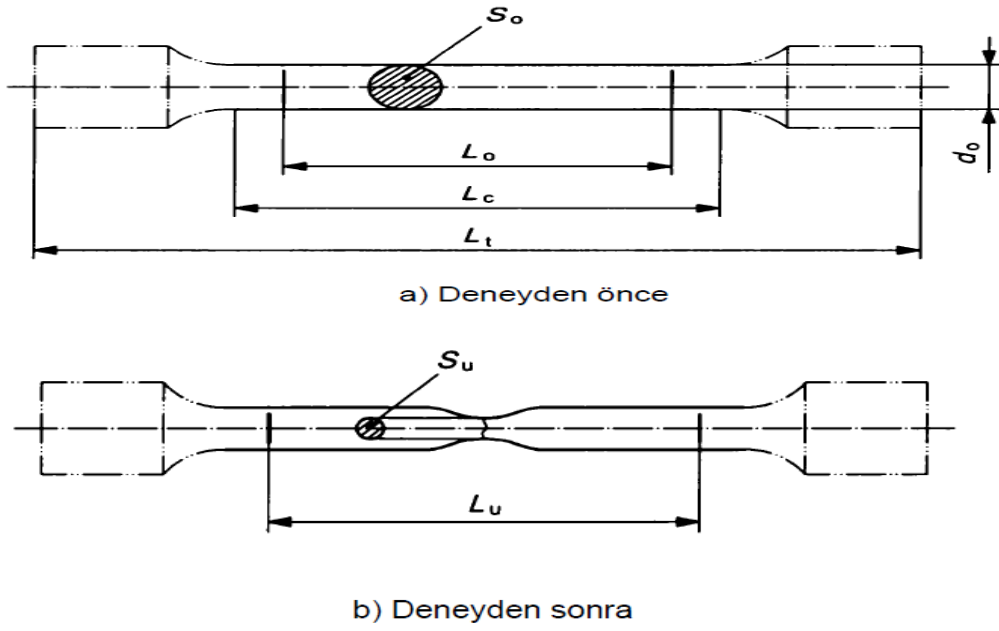
Çekme deneyi, ana malzemelerin kabulü ve kaynaklı birleştirmelerin muayenesi bakımından özel bir öneme sahip olduğundan, deney koşullarının mümkün olduğunca kesin bir şekilde belirlenmiş olması şarttır. Bu sayede farklı laboratuvarlardan kesin ve kıyaslanabilir sonuçlar elde edilebilir. (Baydur, 1987)

Numunelerin çekme deneyi sonucunda malzemeye ait gerilme-uzama diyagramı elde edilir. (Şekil 2.40.) Çekme deneyi metal ve plastik malzemelere uygulanabilir. Metalik malzemeler- Çekme deneyi (TS EN ISO 6892), Plâstikler – Çekme özelliklerinin tayini (TS EN ISO 527) standartları uygulanır.

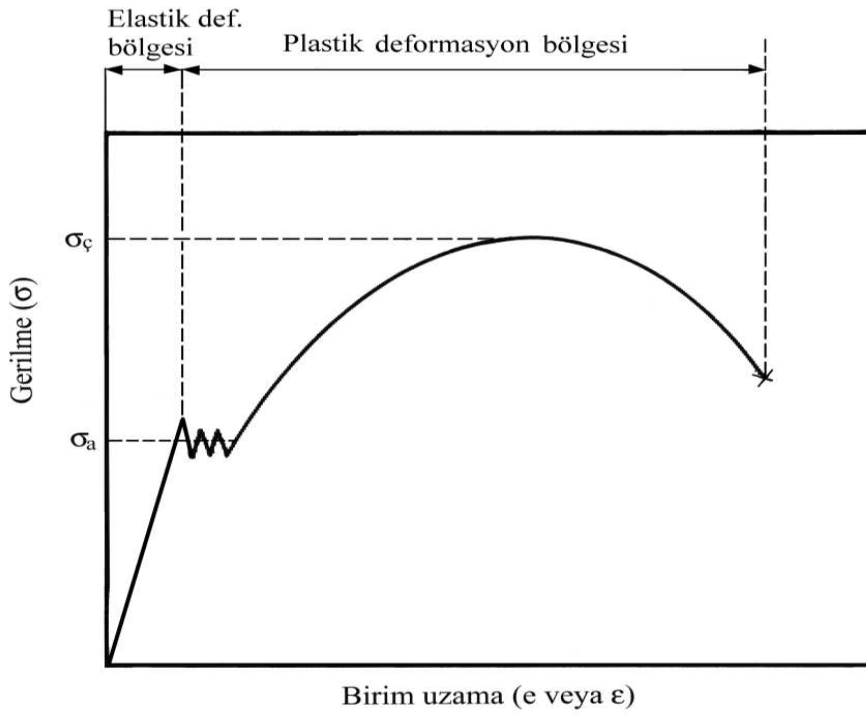
Çekme deneyi sonucunda malzemeye ait şu mekanik özellikler bulunabilir;

- Akma dayanımı (R_e)
- Çekme dayanımı (R_m)
- % uzama
- % kesit daralması
- Elastisite (Young) modülü (E)

Çekme deneyinde test esnasında numune boyunda az veya çok miktarda belirgin bir uzama meydana gelir. (Şekil 2.39.) Sünek malzemelerde kopma öncesi bir bölgede büzülme oluşmaktadır. Ama dökme demir gibi gevrek malzemelerde numunedeki büzülme olmadan kopma gerçekleşir.



Şekil 2.39. Çekme numunesi deney öncesi ve deney sonrası



Şekil 2.40. Düşük karbonlu bir çeliğin çekme diyagramı

Akma Dayanımı (Re): Akma dayanımı artan uzama ile birlikte çekme kuvvetinin ilk defa sabit kaldığı veya düştüğü gerilmedir. Çekme kuvvetindeki bu azalma belirgin ise üst ve alt akma sınırından bahsedilir.

Çekme Dayanımı (Rm): Malzemeye çekme kuvveti uygulanması sonucu, kopmadan önceki ulaştığı maksimum gerilmeye denir.

% Uzama : % Uzama numunenin son ölçü uzunluğundan (Lu) ilk ölçü uzunluğunun (L0) çıkarılarak ilk ölçü uzunluğuna bölünmesiyle bulunur.

$$\% \text{ Uzama} = ((Lu - L0) / L0) \times 100 \quad (D2.4)$$

% Kesit daralması: Numunenin ilk kesit alanından (A0) son kesit alanının (As) çıkarılarak ilk kesit alanına bölünmesiyle bulunur.

$$\% \text{ Kesit daralması} = ((A0 - As) / A0) \times 100 \quad (D2.5)$$

Elastisite (Young) modülü (E): Elastik bölge dahilinde çekme kuvvetinin ilk kesit alanına oranı ile elde edilen gerilme miktarının ilk uzunluk temel alınarak hesaplanan uzama miktarına bölünmesi ile elde edilen oransal değerdir.

Eğrinin artık doğrusal olmadığı ve düz çizgi ilişkisinden saptığı noktada, Hooke Yasası artık geçerli değildir ve numunede bazı kalıcı deformasyonlar olabilir. Bu noktaya elastik ya da oransal sınır denir. Çekme testinde bu noktadan itibaren, malzeme yük ya da gerilmedeki her bir artışa plastik olarak yanıt verir. Yük ortadan kalkarsa, eski gerilimsiz durumuna dönmez (Savaşkan, 2004)

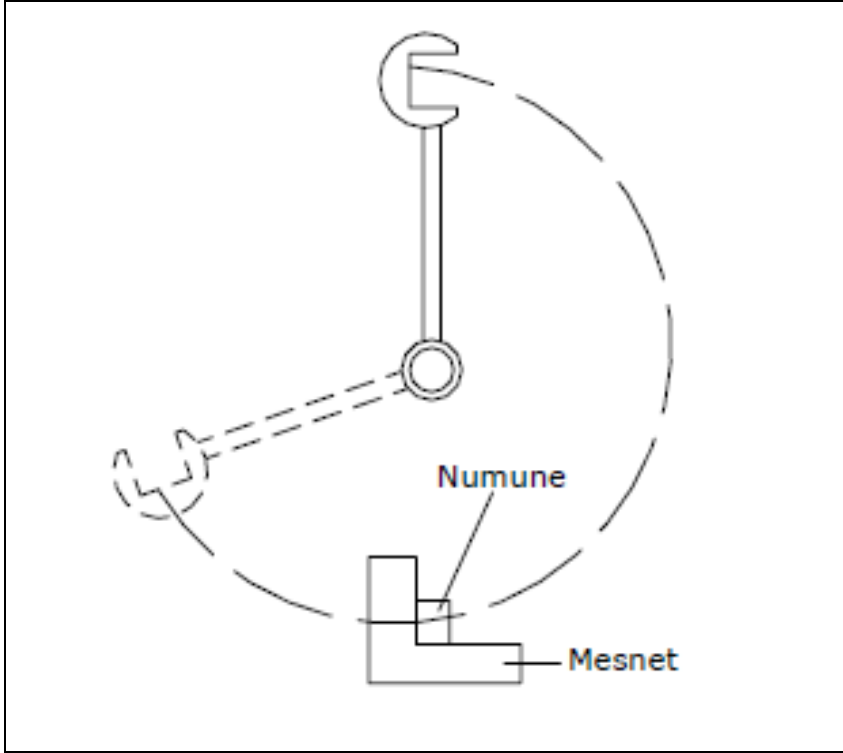
2.4.3. Çentik darbe testi

Çentik darbe testinin amacı, tokluğu yani mekanik bir malzemenin darbe halinde yüklenme altındaki şekil değiştirme kabiliyetini belirlemektir. Test malzemelerin kalite kontrol testleri çerçevesinde kullanılmaktadır. Test aynı zamanda belirlenen yüklenme şartları altındaki kırılma davranışının değerlendirilmesine de imkan tanımaktadır.

Çentik darbe testi, dayanç hesaplamaları için herhangi bir karakteristik veri sağlamaz. Çentik darbe testinin sonucuna bakılarak doğrudan bir yapı elemanı malzemesinin kullanılacağı en düşük sıcaklık değeri ilişkilendirilemez.

Çentik darbe testinde tok çelikler yüksek şekil değiştirme kabiliyeti, buna karşın gevrek malzemeler ise sadece düşük şekil değiştirme kabiliyeti değerleri ile karakterize edilirler.

Çentikli bir numune, bir sarkaç kol ucuna bağlanmış çekicin darbesi ile kırılır ve bu amaçla gereken enerji miktarı ölçülür. (Şekil 2.0.1.) Numunedeki çentik, şekil değiştiren bölgeyi sınırlandırır ve çok eksenli bir gerilme durumu ortaya koyarak gevrek kırılmayı destekler. Numunenin hızla yüklenmesi gevrek kırılma eğilimini artırır.



Şekil 2.41. Çentik darbe deney düzeneği



Şekil 2.42. Çentik darbe numunesi

Kırılma görünümü, makroskobik inceleme altında kırılma yüzeyinde tespit edilen oluşumdur. Bu çerçevede kırılma yüzeyinde iki tür oluşum meydana gelebilir. Bunlardan biri sünek malzemelerde meydana gelen mat ve lifli kırılma yüzeyi, gevrek malzemelerde meydana gelen kristalli, parlak kırılma yüzeyidir. (Şekil 2.42.) (Onaran, 2003)

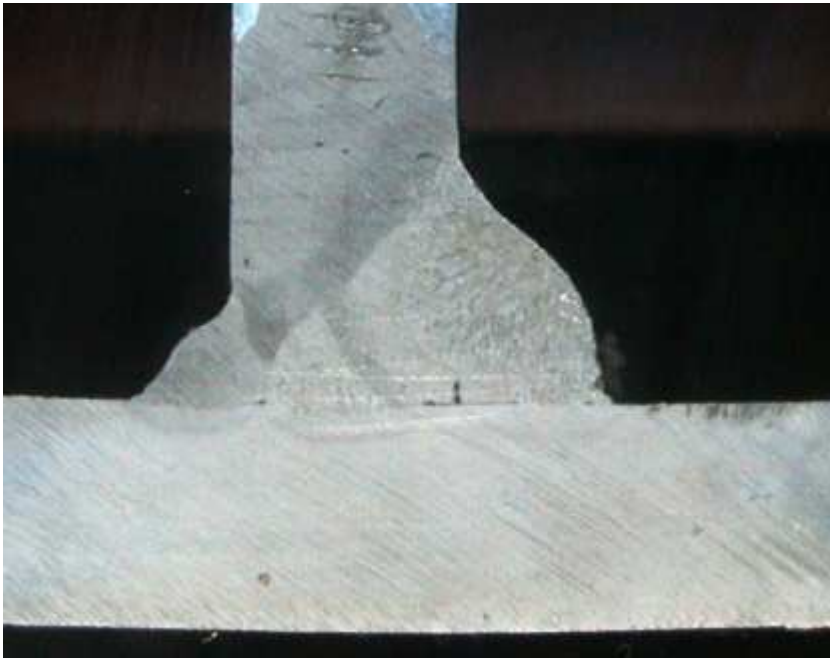
Bir malzemenin çentik darbe enerjisi test sıcaklığına ve numune formuna bağlıdır. Bu nedenle, çentik darbe enerjisine ait test sonuçları numune formu ve test sıcaklığı ile beraber verilmelidir.

2.4.4. Makro inceleme

Kaynak işlemi önemli imalat yöntemlerinin başında gelmektedir. Kaynakların kontrolünde TM'den sonra yapılan ilk işlem makro yapının incelenmesidir. Kaynaklarda makro yapı kullanılan kaynak yöntemine, seçilen işlem parametrelerine ve ana malzemeye bağlı olarak gelişir. Kaynak prosesinde kalite kontrolün temel basamağı metalografidir.

Kaynak makro yapısı kaynak dikişi, ısıdan etkilenmiş bölge ve ana malzeme olmak üzere 3 bölümden oluşur. (Şekil 2.43.) Kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgede, bileşim, tane boyutu ve yönlenmesi, mikro yapı ve sertlikte değişimler vardır.

Bu sebeple kaynak metalinin mikro yapısında önemli değişimler gözlenir. Makro dağlama, kaynak parametrelerindeki değişmelerin kaynak metalinin boyut ve şekline penetrasyon derinliğine, kaynak yapısına ve derinliğine etkilerini belirtmek için sık sık kullanılmaktadır. (T.C Milli Eğitim Bakanlığı Metalürji Teknolojisi, 2011)



Şekil 2.43. Makro örneği

2.4.5. Mikroyapı inceleme

Metalik malzemelerin iç yapısı, malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Mikro yapı kontrolü malzemelerin iç yapısının incelenmesi amacıyla yapılır. Bu kontrol dört kademede yapılır. Bu kademeler; numune alınması, numunenin hazırlanması, dağlama ve numunenin incelenmesidir.

Numune Alınması: Numunenin nereden alınacağı tespit edildikten sonra uygun bir alet ile numune kesilir. Bunlar testere, keski, torna, kesici tas vb olabilir. Prensip olarak numuneyi alırken yüzeyde en az plastik şekil değiştiren ve en az ısı meydana

getiren kesme metodu seçilmelidir. Çünkü bütün çalışma orijinal malzeme iç yapısının mikroskop altında görülebilmesi içindir.

Numunenin Kalıplanması: Zımparalama esnasında küçük ve biçimsiz şekilli numuneleri elle tutmak güç olduğu için kalıplama işlemi (bakalite alma) yapılır. Kalıplama işlemi sıcakta ve basınç altında kalıplama, soğuk olarak kalıplama şeklinde olabilir. Asıl amaç malzemenin orijinal yapısını incelemek olduğu için sıcaklık ve basınçtan iç yapısı etkilenebilecek malzemelerde soğuk kalıplama veya kelepçeleme tercih edilmelidir. Kalıplama, zımparalama ve parlatma kademelerinde her kademe sonunda numunenin temizliğinin de kolay yapılmasını sağlar.

Zımparalama: Kaba ve ince zımparalama olarak iki çeşittir. Kaba zımparalama aşamasının amacı, ince'zımparalama ve parlatma kademeleri için ilk düz yüzeyi elde etmektir. Bu kademedeki 80 ve 150 numara zımparalar kullanılır. İnce zımparalamada 320, 400, 600, 800, 1200 numara zımparalar kullanılır. Bir zımparadan diğerine geçerken el ve numune iyice yıkanmalıdır. Böylece daha kaba zımpara tanelerinin bir üst kademeye geçmesi önlenmiş olur. Geçişlerde numune bir önceki zımparalama yönüne göre 90° çevrilirse, bir önceki kademedeki çiziklerin yok edilip edilmediği daha kolay anlaşılabilir. Zımparalama işlemi bir önceki zımparanın çiziklerinin yok edildiği sürenin iki katı olmalıdır.

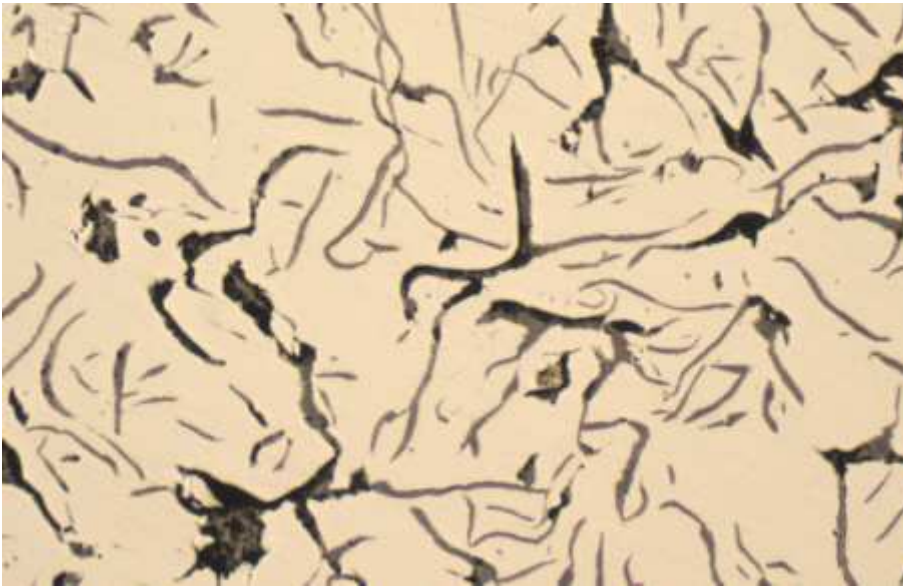
Kaba ve Nihai Parlatma: Her iki kademedeki de numune parlatma disklerine tutulur. Disklerin üzeri parlatma kumaşlarıyla kaplıdır. Kaba parlatmadan nihai parlatmaya geçerken ve parlatma sonunda el ve numune iyice yıkanmalıdır.

Dağlama: Parlatılmış numunelerin mikroskopta incelenmesiyle yapı detayları nadiren ortaya çıkabilir. Parlatmadan sonra, metalik olmayan kalıntılar ve porozite, çatlak gibi yüzey kusurları görülebilir. Gerçek iç yapı özelliklerini ortaya çıkarmak için numunenin uygun bir kimyasal reaktifle dağlanması gereklidir.

Dağlama sonrası yapıdaki bazı fazlar dağlayıcıdan etkilenecek parlaklığı bozulur (çukurlaşır), böylece optik metalurji mikroskobunda daha koyu renkli görülürler.

Dağlama işleminin gereğinden uzun süre yapılması halinde numune yüzeyinin tamamı dağlayıcıdan etkilenerek kararabilir, bu durum aşırı dağlamadır. Aşırı dağlama, tekrar 1200 numara zımpara veya parlatma kademesine dönülerek dağlamanın etkisi giderilene kadar numunenin parlatılmasıyla giderilebilir.

Numune hazırlama işleminden sonra malzemenin iç yapısı gerekli büyütme kullanılarak mikroskopta incelenir. Yeni nesil bilgisayar entegreli mikroskopları daha verimli kullanmak için yazılımlar mevcuttur.(Korçak, 2000)



Şekil 2.44. Lamel grafitli dökme demir mikroyapısı

2.4.6. Kimyasal analiz

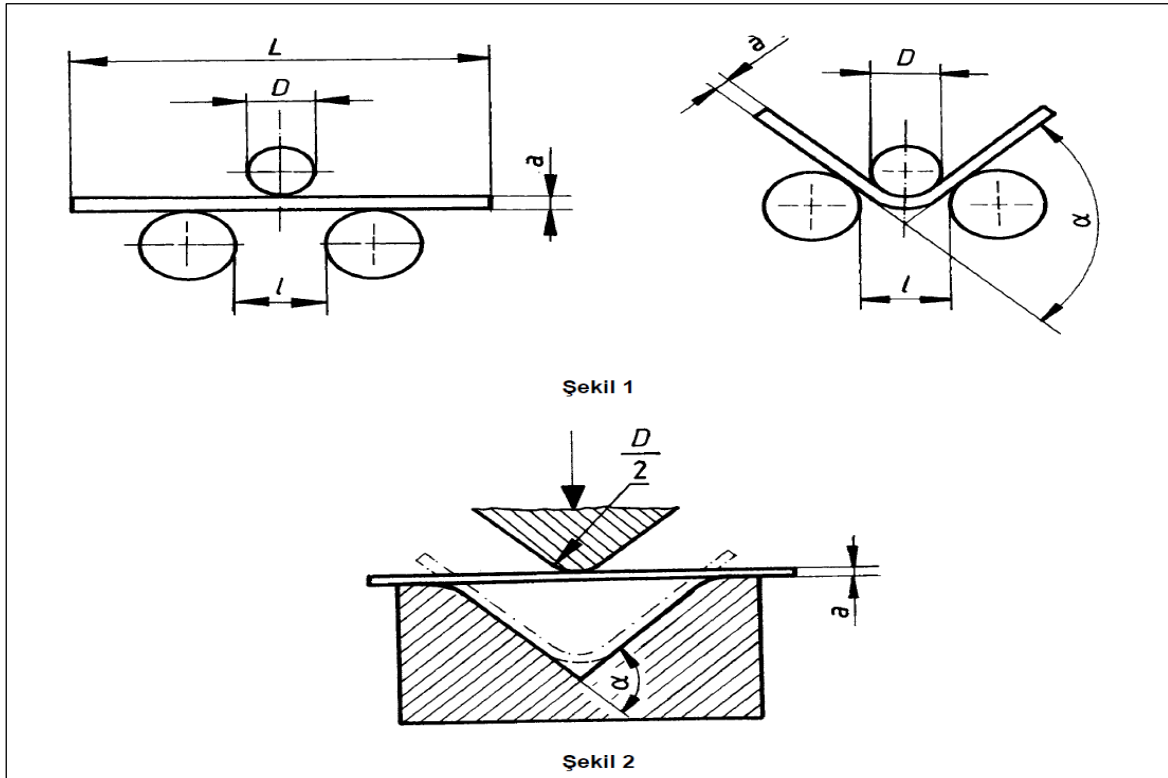
Kimyasal analiz cihazları Spektrometre olarak adlandırılır. Kimyasal analiz; temel olarak maddenin bileşiminin ve saflığının tespit edilmesidir.

2.4.7. Eğme deneyi

Metalik malzemelerin eğme deneyi sırasında maruz kaldığı plâstik deformasyona uğrama kabiliyetini tayin etmek için kullanılan bir metottur.

Eğme deneyi (Şekil 2.45) kalitatif sonucun yanında, gevrek malzemeler için eğme momenti, eğme dayanımı, esneklik modülü ve eğilme miktarı gibi kantitatif değerlerin belirlenmesi amacıyla yapılır.

Eğme; iki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının, yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişmesidir.



Şekil 2.45. Eğme deney düzeneği

Deney numunesine bir kuvvet etkilediğinde, numune kesitinin bir kısmında basma gerilmesi, kesitin geri kalan kısmında çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde, iç yüzeye yakın bölgede basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın bölgede ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Bu deneyde amaç, malzemeyi çatlatıncaya kadar tek yönde eğmektir. Kalitatif eğme deneylerinde (katlama deneyi), sünekliği iyi olan malzemeler 180° katlanmalarına rağmen çatlama göstermezler. Böyle malzemelerin deney sonucunda 180° katlamaya rağmen çatlamının görülmediği belirtilir. (Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji Ders Notları)

2.5. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar

MIG kaynağı alüminyum alaşımlarının kaynağında havacılık, denizcilik ve diğer uygulamalarda geniş olarak kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışma, 5083-O ve 6061-T6 alaşımlarının MIG kaynağında kullanılan dolgu tellerinin mekanik ve mikroyapılara etkisini araştırmaktadır. Birleştirmeler genellikle ER4043 ve ER 5356 telleri kullanılarak yapılmaktadır. Bütün kaynaklı parçalar ASTM B-557M'ye göre kesilmiş ve çekme mukavemeti ve kaynak metalinden, HAZ'dan ve malzemenin kendinden Vickers sertliği alınmıştır. Mekanik özellikler optik mikroskop kullanılarak alınan mikrograflar kullanılarak analiz edilmiştir.

Alüminyum alaşımları 300x150x8 mm olarak kesilmiş ve hazırlanmıştır. V tipi kaynak ağzı MIG kaynağı için hazırlanmıştır. Tekli paso tekniği kaynak için kullanılmıştır. İki tip numune hazırlanmıştır: ER 4043 ve ER 5356 tel kullanılarak. Yüksek saflıkta argon gazıyla kaynak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2.3 'de kullanılan bazı malzemeler ve dolgu telleri verilmektedir. Kaynak durumu ve proses parametreleri Çizelge 2.3'de verilmiştir. Kaynak torcu 6061T6 plakanın üstünde tutularak, ısı iletkenliği düşünülerek daha iyi bir kaynak elde etmek için kaynak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.4. Malzemelerin ve dolgu tellerinin kimyasal kompozisyonu

Malzeme	Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Ni	Mn	Cr	Ti	Sn	Pb	Al
5083 O	0.007	0.015	0.13	0.04	4.65	0.021	0.87	0.041	0.034	0.02	0.032	Kalan
6061 T6	0.79	0.19	0	0.07	0.98	0.03	0.17	0.045	0.03	0.025	0.024	Kalan
ER4043	5.25	0.3	0.8	0.1	0.05	0	0.05	0	0.02	0	0	Kalan
ER5356	0.03	0.01	0.15	0.01	4.83	0	0.14	0.11	0.09	0	0	Kalan

Kaynak Parametreleri:

Alın kaynağı, V kaynak ağzı, 220 A, 23 V, kaynak hızı 200 mm/dak ,1.2 mm ER5356 ve ER4043 dolgu teli, Argon gaz debisi 23 lt/dak

Kaynaklar çekme testinde kaynak bölgesinden kırılmıştır. (ER4043 ve ER5356 kullanılarak yapılan kaynakların ikisi de). Çekme mukavemeti ve % uzama miktarları elde edilen üç değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Kuvvet uzama diyagramları

oluşturulmuştur. Ortalama çekme mukavemetleri (ER 4043) için 112MPa, (ER 5356) için 144MPa bulunmuştur. Er 5356 telle yapılan kaynakta %28,5 uzama elde edilmiştir. Mukavemette artış değişmiş mikroyapı nedeniyle gözlenmiştir. Genel olarak ince eş eksenli taneler katılma çatlağı riskini azaltarak mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Hall-Petch denklemine göre çekme mukavemeti tane boyutuyla ters orantılı olduğu belirtilmiştir. (Verma, 2014)

Yine bir çalışmada, 12.7 mm lik 6061T6 alüminyum alaşımından elde edilen kaynakların mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada 1.2 mm kalınlıktaki ER4043 dolgu teli kullanılarak 210A ve 23 V altında V kaynak ağızlı kaynak üretilmiştir. Aynı kişinin bir başka çalışmasında 230A-24V altında 9.5 mm kalınlığında 6061-T6 alüminyum plakaları 1.2 mm'lik ER 4043 telle değiştirilmiş dolaylı elektrik ark kaynağı tekniği ile kaynaklanmış ve bu kaynağın malzemenin yorulma davranışı incelenmiştir. (Ambriz vd, 2010)

Ahmad ve Bakar tarafından yapılan çalışmada 10 mm'lik 6061 alüminyum alaşımlarının GMAW metoduyla kaynaklaması sırasında sonradan yapılan ısıl işlemin mekanik ve mikroyapısal özelliklere etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada kaynak 210A-24V, 23.6L/dak gaz akışı ve 3.6 mm/saniye ilerleme hızı 1.2 mm'lik ER4043 tel kullanılarak elde edilmiştir. Kuk et al. 12 mm'lik 5083 alüminyum alaşımının Al5183-WY dolgu teliyle olan kaynağını, sıcaklığın ve gaz karışımının yorulma mukavemetine etkisini 220A, 21V, 23V, 26V, 29V ve 30-50 cm/dak hızlarında incelemiştir. Literatür ER 4043 telin 6XXX alaşımları için daha iyi ER 5356 telin ise 5XXX alaşımlar için daha iyi olduğunu söylemektedir.

Başka bir çalışmada, 5XXX ve 6XXX malzemelerinin TIG kaynağında sıcak yırtılma davranışını ve mekanik özellikleri incelemiştir. 4 malzeme kombinasyonu, 5083 O-5754H32, 5083 O- 6060 T6, 5083 O-6061 T6, 6082 T6-6060 T6 kaynak asimetrisi ve ergime davranışlarına göre incelenmiştir. Teknik 5XXX ve 6XXX malzeme kombinasyonunun kaynağı için kaynak ağız hazırlığı ve nüfuziyet olarak analiz yapılmıştır. Değişik kalınlıklar için mekanik özellikler ayrıca araştırılmıştır. Alüminyum alaşımları için dolgu teli seçimi güçlü kaynak elde etmek için gereklidir. Bu çalışmada ER 4043 ve ER 5356'nın değişik alüminyum alaşımları kaynağında (5083-O ve 6061T6) MIG

kaynak yöntemiyle kaynatılmasıyla mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiş ve mikroyapıya bağlı olarak statik mekanik özellikler açıklanmaya çalışılmıştır. (Luijendijk, 2009)

Özellikle ısı işlemleri ve dövme ile mukavemet kazandırılan alüminyum alaşımlarının geleneksel ergitme kaynak yöntemleriyle (MIG, TIG, elektrik ark kaynağı) birleştirmelerinde yüksek ısı girdisi, bu alaşımların ısı genleşmelerinin yüksek olması ve katılma sıcaklık aralıklarının geniş olmasından dolayı kaynak dikişinde düşük ergime dereceli fazların oluşumuna ve dolayısıyla tane sınırlarında meydana gelen katılma ile çatlak oluşumuna neden olabilmektedir. (Fujii vd., 2006; Oğuz, 1990; Çam, 2002)

Bununla birlikte bir çalışmada da ısı işlemleri gören alüminyum serilerinin, geleneksel yöntemler kullanılarak yapılan ergitmeli kaynaklarında oluşan yüksek ısı girdisi sebebiyle kaynaklı bölgede, sertleştirici çökeltilerin çözünmesi ile sertlik ve mukavemette ciddi düşüşler söz konusu olmaktadır. (Cabello vd., 2008)

Yapılan bir çalışmada 5XXX serisi alüminyum levhaların kaynak davranışı incelenmiştir. 3mm kalınlığındaki levhalar otomasyonla TIG kaynağı yöntemiyle kaynaklanmıştır. Kaynak prosesinde 3mm/sn hızla 3 farklı akım değeri kullanılarak toplam 16 farklı numune hazırlanmıştır. Kaynaklı plakaların mikroyapı incelemesi yapılmış, kaynak bölgesinden ana metale doğru belirli aralıklarla sertlik ölçümü yapılmış, çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Kırılma yüzeylerinden EDS analiz yöntemiyle kimyasal kompozisyona bakılmış ve farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Tezin içerisinde verilmiş olan test sonuçları söz konusu levhalarda kaynak sırasında oluşan ısı girdisi ile mikroyapının değiştiğini göstermektedir. Ana metal haz bölgesi ve ergime bölgesinden alınan sertlik değerleri farklı değerler vermekte ve bu da mukavemet değerlerinde değişim olduğunu göstermektedir. (Akıncı, 2008)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Materyal

Bu çalışmada, kaynak ana malzemesi olarak; TÜLOMSAŞ Kaynak, Eğitim, Teknoloji ve Laboratuvarlar Şubesindeki Kaynak atölyesinde kaynakçı eğitimlerinde ve raylı sistem araçlarında da çeşitli yerlerde kullanılan 45° kaynak ağzı açılmış 10 mm kalınlığında 6061 T651-Çözelti ısıtılma işlemi yapılmış, kontrollü bir miktarı germe ile gerilim gidermeye tabi tutulmuş ve suni olarak yaşlandırılmış- ve 5083 H111-Germe veya düzeltme gibi işlemler sırasında tavllanmış ve hafifçe soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış- alüminyum plakalar kullanılmıştır.

İlave metal olarak ise, literatür incelemesi sonucunda ER5356 ve ER4043 MIG ve TIG dolgu telleri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan alüminyum plakaların kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de, mekanik değerleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan dolgu tellerinin kimyasal kompozisyonları Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan kaynaklı numunelerin kaynak numaraları ve kullanılan kaynak yöntemi Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. 6061 T651 alüminyum plakanın kimyasal kompozisyonu

Si	Fe	Cr	Mn	Mg	Cu	Zn	Ti	Diğer	Al
0.69	0.56	0.08	0.13	0.97	0.24	0.04	0.05	0.15	kalan

Çizelge 3.2. 5083 H111 alüminyum plakanın kimyasal kompozisyonu

Si	Fe	Cr	Mn	Mg	Cu	Zn	Ti	Diğer	Al
0.40	0.44	0.10	0.44	4.0	0.10	0.25	0.15	0.15	kalan

Çizelge 3.3. 5083 H111 alüminyum plakanın mekanik değerleri (TS EN 485-2)

Isıl İşlem (Temper)	Akma Mukavemeti (Rp0,2) (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (Rm) (MPa) min-max	Uzama (A=50 mm) min-max	Sertlik HBW (Brinell) min-max
H111*	115-	270-375	16	75

* H111:Düşük seviyede gerilimle sertleştirilmiş

Çizelge 3.4. 6061 T651 alüminyum plakanın mekanik değerleri (TS EN 485-2)

Isıl İşlem (Temper)	Akma Mukavemeti (Rp0,2) (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (Rm) (MPa) min-max	Uzama (A=50 mm) min-max	Sertlik HBW (Brinell) min-max
T651	240-	290-	9	88

Çizelge 3.5. Kaynak numaraları ve kullanılan kaynak yöntemi

Kaynak No	Ana malzeme	Dolgu teli	Kaynak yöntemi
1	6061 T651- 5083 H111	ER 5356	MIG
2	6061 T651- 5083 H111	ER 4043	MIG
3	6061 T651- 5083 H111	ER 5356	TIG
4	6061 T651- 5083 H111	ER 4043	TIG

Çizelge 3.6. ER5356 dolgu teli kimyasal kompozisyonu

Si	Fe	Cr	Mn	Mg	Cu	Zn	Ti	Diğer	Al
0,03	0,15	0,11	0,14	4,83	0,01	0,01	0,09	-	kalan

Çizelge 3.7. ER4043 dolgu teli kimyasal kompozisyonu

Si	Fe	Cr	Mn	Mg	Cu	Zn	Ti	Diğer	Al
5,27	0,8	-	0,05	0,05	0,3	0,1	0,02	-	kalan

Aşağıda numuneler kaynak edilirken uygulanan kaynak parametreleri verilmiştir:

1 No'lu MIG kaynağında kullanılan parametreler:

Kullanılan Ana Malzemeler: 6061 T651, 5083 H111

Kaynak Makinası: Lincoln Elektrik LF 45

Volt: 20-24 V

Amper: 180-200 A

5 pasolu kaynak dikişi

Paso süresi: 40-60 s

Gaz Debisi: 12-15 lt/dk

Kullanılan Gaz: Yüksek Saflıkta Argon gazı

Kaynak hızı: 28-32 cm/dak

Isı: 40,05-56,66 kJ/mm

Tel Cinsi/Çapı: As Kaynak ER5356 / 3.2 mm çap

Ön ısıtma: 100° C

2 No'lu MIG kaynağında kullanılan parametreler:

Kullanılan Ana Malzemeler: 6061 T651, 5083 H111

Kaynak Makinası: Lincoln Elektrik LF 45

Volt: 21-24 V

Amper: 180-220 A,

5 pasolu kaynak dikişi

Paso süresi: 40-70 s

Gaz Debisi: 12-15 lt/dk

Kullanılan Gaz: Yüksek Saflıkta Argon gazı

Kaynak Hızı: 35-37 cm/dk

Isı girdisi: 54,5-72,4 kJ/mm

Tel Cinsi/Çapı: As Kaynak ER4043 / 3.2 mm çap

Ön ısıtma: 100° C

3 No'lu TIG kaynağında kullanılan parametreler:

Kullanılan Ana Malzemeler: 6061 T651, 5083 H111

Kaynak Makinası: Lincoln Elektrik 275

Volt: 14-19 V

Amper: 170- 250 A

3 pasolu kaynak

Paso süresi: 1,5 -2,5 dak

Gaz Debisi: 12-15 lt/dk

Kullanılan Gaz: Yüksek Safılıkta Argon gazı

Kaynak hızı: 12-15 cm/dak

Isı girdisi: 114,2-182,4 kJ/mm

Elektrot: Mavi tungsten

Tel Cinsi/Çapı: As Kaynak ER5356 / 3.2 mm çap

Ön ısıtma: 100° C

4 No'lu TIG kaynağında kullanılan parametreler:

Kullanılan Ana Malzemeler: 6061 T651, 5083 H111

Kaynak Makinası: Lincoln Elektrik LF 45

Volt: 14-19 V

Amper: 170-250 A

3 pasolu kaynak

Paso süresi: 2-2,5 dak

Gaz Debisi: 12-15 lt/dk

Kullanılan Gaz: Yüksek Safılıkta Argon gazı

Kaynak hızı: 11-13 cm/dak

Isı girdisi: 131,8-199 kJ/mm

Elektrot: Mavi tungsten

Tel Cinsi/Çapı: As Kaynak ER4043 / 3.2 mm çap

Ön ısıtma: 100° C

3.2. Yöntem

1 No'lu kaynakta; 10mm kalınlığındaki 150 mm * 200 mm ebatlarındaki, 45° kaynak ağızı açılmış 6061 T651 ve 5083 H111 alüminyum plakalar ER5356 dolgu teli kullanılarak MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir.

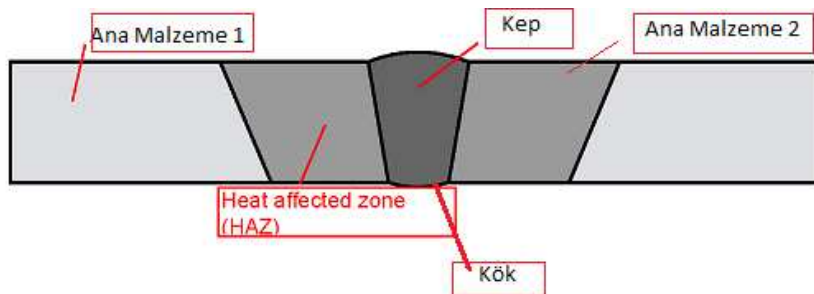
2 No'lu kaynakta; 10mm kalınlığındaki 150 mm * 200 mm ebatlarındaki, 45° kaynak ağızı açılmış 6061 T651 ve 5083 H111 alüminyum plakalar ER4043 dolgu teli kullanılarak MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir.

3 No'lu kaynakta; 10mm kalınlığındaki 150 mm * 200 mm ebatlarındaki, 45° kaynak ağızı açılmış 6061 T651 ve 5083 H111 alüminyum plakalar ER5356 dolgu teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir.

4 No'lu kaynakta; 10mm kalınlığındaki 150 mm * 200 mm ebatlarındaki, 45° kaynak ağızı açılmış 6061 T651 ve 5083 H111 alüminyum plakalar ER4043 dolgu teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir.

Kaynaklanan parçalar gözle kontrolden sonra, kaynakların tahribatsız kontrolü için önce penetrant testine ardından radyografik muayeneye tabi tutulmuştur.

Tahribatsız muayene sonuçları elde edildikten sonra tahribatlı testler için numuneler hazırlanmıştır. Bütün kaynaklı parçalardan makro inceleme, sertlik testi, mikroyapı inceleme ve çekme deneyi için numuneler hazırlanmıştır ve TÜLOMSAŞ Deney Laboratuvarı'nda yetkili personel tarafından deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Temsili kaynak kesidi

Kaynak parametreleri kullanılarak TS EN 1011-1 standardına göre ısı girdileri hesaplanmıştır.

$$Q = k (V \times I) / w \times 10^{-3} \text{ kJ/mm}$$

Q : Isı girdisi
k: yöntem sabiti
V: Volt
A: Akım
w: Kaynak hızı

Denklem 3.1. Isı girdisi hesaplama formülü

3.2.1. Penetrant test

Kaynaklı parçaların Penetrant testi için malzemenin kaynak bölgesi ve HAZ bölgesi, çözücü ile temizlenmiş ve yüzeye TS EN ISO 3452-1 (Tahribatsız muayene- Penetrant muayenesi- Bölüm 1: Genel kurallar) standardına uygun CRM CR 50 marka kırmızı görünür kontrast Penetrant sıvısı püskürtülmüştür ve kuruması için 25 dakika beklenmiştir. Kuruyan penetrant sıvısı kuru bezle silinmiş, lifsiz bir beze temizleyici (CRM CR 60) sıkılarak penetrantın fazlası alınmış ve ardından yüzeye CRM CR 70 marka geliştirici homojen ve ince bir tabaka halinde püskürtülerek 15 dakika daha geliştiricinin nüfuz etmesi için beklenmiştir.



Şekil 3.2. Uygulanan Penetrant ürün ailesi

Penetrant test sisteminin performans kontrolü TS EN ISO 3452-3 (Tahribatsız muayene – Penetrant muayenesi – Bölüm 3: Referans muayene blokları) standardına göre Kontrol Bloğu -2 ile yapılmıştır. Görünür ışıkta 4 yıldız belirtisi tespit edilmiştir.

İnceleme ortam şartlarının uygunluğuna dikkat edilerek, yapılan tüm testlerde 500 lüxten büyük olacak şekilde aydınlatma sağlanmıştır. Bunun kontrolü de TS EN ISO 3059 (Tahribatsız muayene – Penetrantla muayene ve manyetik parçacıkla muayene - İnceleme şartları) standardına uygun Testo marka 540 model cihazla 500-600 lüx olarak sürekli tespit edilmiştir.

3.2.2. Radyografik test

Kaynaklı parçaların Radyografik testi için TÜLOMSAS Kaynak, Eğitim, Teknoloji ve Laboratuvarlar Şube Müdürlüğüne ait ICM SITE-X D3605 model X-ray cihazı kullanılmıştır. Muayeneye başlamadan önce TS EN ISO 17636-1 (Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesi – Radyografik muayene – Bölüm 1: Filmler X ve gama ışını teknikleri) Standardına göre parça kalınlığı ve cihazın muayene grafiği göz önünde bulundurularak muayenenin uygulanacağı değerler hesaplanmıştır.

Alüminyum parçalar için;

Seçilen gerilim: 120 keV

Seçilen akım değeri: 1,9 mA,

Hesaplanan poz süresi: 50 sn.,

Kullanılan tel penetremetre: 10 Al EN



Şekil 3.3. Radyografi Cihazı

Radyografik muayene TS EN ISO 17636-1 standardında belirtilen Şekil 1'e göre düzenlenmiştir. Röntgeni çekilecek kaynaklı parçalar, X-ray cihazının odak noktasından 700 mm uzağa konulmuştur. Her şutlamada tek bir parçanın röntgeni çekilmiştir. Muayene edilecek kaynak ve ısıdan etkilenen bölgeyi kapsayacak şekilde TS EN ISO 11699-1 (Tahribatsız muayene - Endüstriyel radyografik film Bölüm 1: Endüstriyel radyografi için film sistemlerinin sınıflandırılması) standardına göre C4 kalitede olan Kodak T200 marka film muayenesi yapılacak bölgenin (kaynak ve ısıdan etkilenen bölgeler) alt kısmına yerleştirilir. Film yerleştirildikten sonra cihazın üzerinde bulunan odaklama çubuğu ile filmin doğru yerleşip yerleşmediği kontrol edilmiştir. Film tanıtımı için kurşun harf ve rakamlar parçanın üzerine konulmuş ve markalama sağlanmıştır. Çekilen filmin kalitesini göstermesi için TS EN ISO 19232-1 (Tahribatsız muayene- Radyografların Görüntü Kalitesi- Kısım 1: Görüntü Kalite Göstergeleri (Tel tipi)- Görüntü Kalite Değerinin Tespiti) 'ye göre ilgili tel tipi penetremetre kaynağın üzerine gelecek şekilde yerleştirilir. Bütün bu işlemler tamamlandıktan sonra önceden hesaplaması yapılan değerler cihaza girilmiştir. Çekim öncesinde gerekli güvenlik önlemleri alınmış ve personelin dozimetrelerinin olduğundan emin olunmuştur. Çekim bitiminde filmler karanlık odada bulunan otomatik banyoda işlenmiştir. Otomatik banyodan çıkan filmler TS 8311 EN 25580 (Tahribatsız muayene- Endüstriyel radyografik aydınlatıcılar- Asgari şartlar) standardına uygun görüntüleme cihazıyla incelenmiştir .

3.2.3. Makro yapı

Kaynaklı parçaların kaynak dikişi makro görüntüleri TÜLOMSAŞ Kaynak, Eğitim, Teknoloji ve Laboratuvarlar Şube Müdürlüğüne ait CLARA VISION marka makro inceleme cihazı ile incelenmiştir.



Şekil 3.4. Makro inceleme cihazı

3.2.4. Sertlik deneyi

Kaynaklı parçalardan hazırlanan numunelerin sertlik taramaları TÜLOMSAŞ Deney Laboratuvarında QNESS Marka cihaz ile HV 0,5 (Vickers 500 gr ile) yöntemiyle yapılmıştır.



Şekil 3.5. Sertlik Cihazı

Her numune için ana malzemeler, kaynak haz bölgeleri (2 adet), kaynak kep tarafı ve kaynak kök tarafının her birinden 3'er ölçüm olmak üzere 15'er ölçüm yapılmıştır.

3.2.5. Mikroyapı inceleme

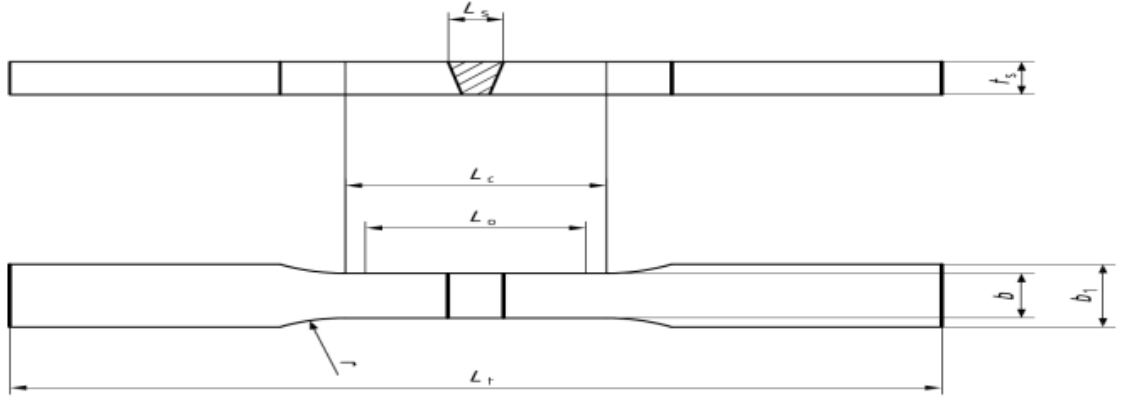
Kaynaklı parçalardan KELLER dağlayıcısıyla hazırlanan numunelerin mikro incelemeleri TÜLOMSAŞ Deney Laboratuvarında Nikon marka optik mikroskop ve Clements yazılımı ile yapılmıştır.



Şekil 3.6. Optik mikroskop

3.2.6. Çekme deneyi

Kaynaklı parçalardan TS EN ISO 4136 Standardına göre 2'şer adet hazırlanan çekme numunelerinin çekme deneyleri TÜLOMSAŞ Deney Laboratuvarında BESMAK marka Model 30 ton kapasiteli cihaz ile yapılmıştır.



(Numune Ölçüleri: $L_t= 200$ mm, $b=25$ mm, $t_s=10$ mm, $L_c=80$ mm)

Şekil 3.7. Çekme numunesi temsili şekil



Şekil 3.8. Çekme test cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kaynaklı Numunelerin Tahribatsız ve Tahribatlı Testleri

1 ve 2 No'lu kaynaklar 10 mm 6061 T651 ve 10 mm 5083 H111 alüminyum malzemelerin MIG kaynağıyla birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Malzemelere 5 paso şeklinde arkadan yarmalı alın kaynağı yapılmıştır. İlk olarak gözle kontrol yapılmış ve herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.

3 ve 4 No'lu kaynaklar 10 mm 6061 T651 ve 10 mm 5083 H111 alüminyum malzemelerin TIG kaynağıyla birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Malzemelere 3 paso şeklinde arkadan yarmalı alın kaynağı yapılmıştır. İlk olarak gözle kontrol yapılmış ve herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.

4.1.1. Penetrant test sonuçları

1, 2,3 ve 4 No'lu kaynaklı parçalara uygulanan penetrant testleri sonucunda hiçbir çatlak ve gözenek belirtisine rastlanmamıştır. TS EN ISO 23277 (Kaynakların Tahribatsız Muayenesi- Kaynakların Penetrant Muayenesi-Kabul Seviyeleri) standardına göre kabul edilebilecekleri görülmüştür.



Şekil 4.1. 1 No'lu kaynaklı parçanın PT sonucu



Şekil 4.2. 2 No'lu kaynaklı parçanın PT sonucu



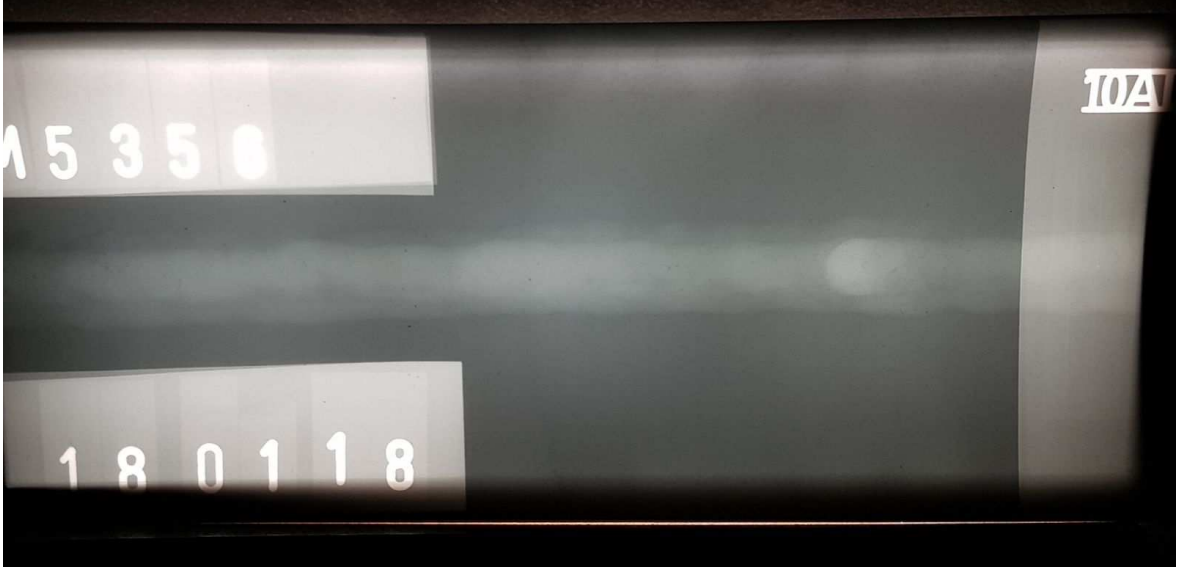
Şekil 4.3. 3 No'lu kaynaklı parçanın PT sonucu



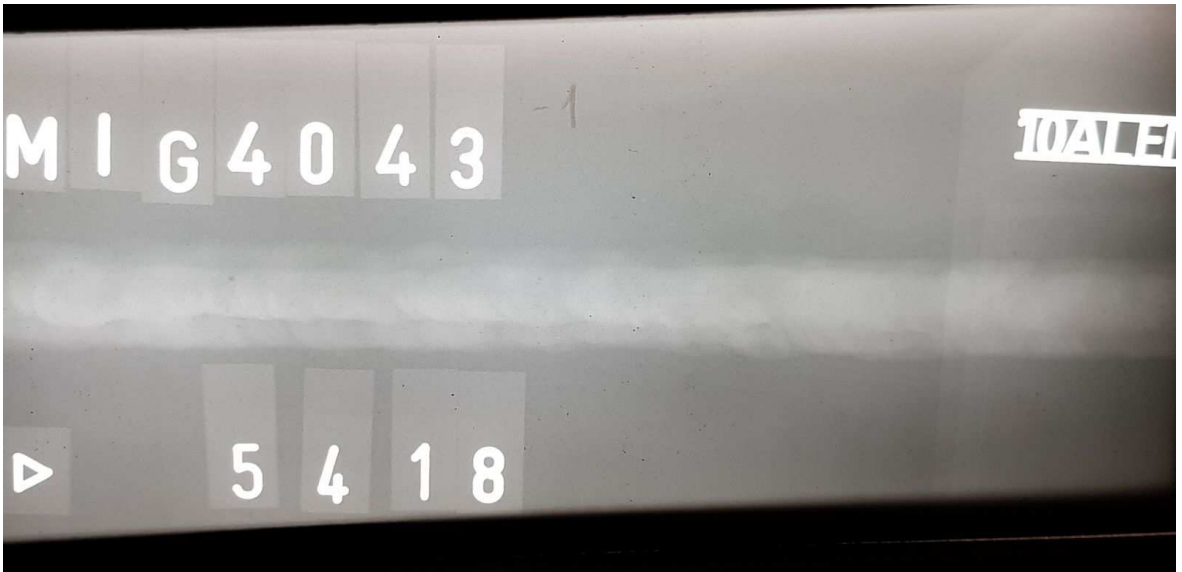
Şekil 4.4. 4 No'lu Kaynaklı parçanın PT sonucu

4.1.2. Radyografik test sonuçları

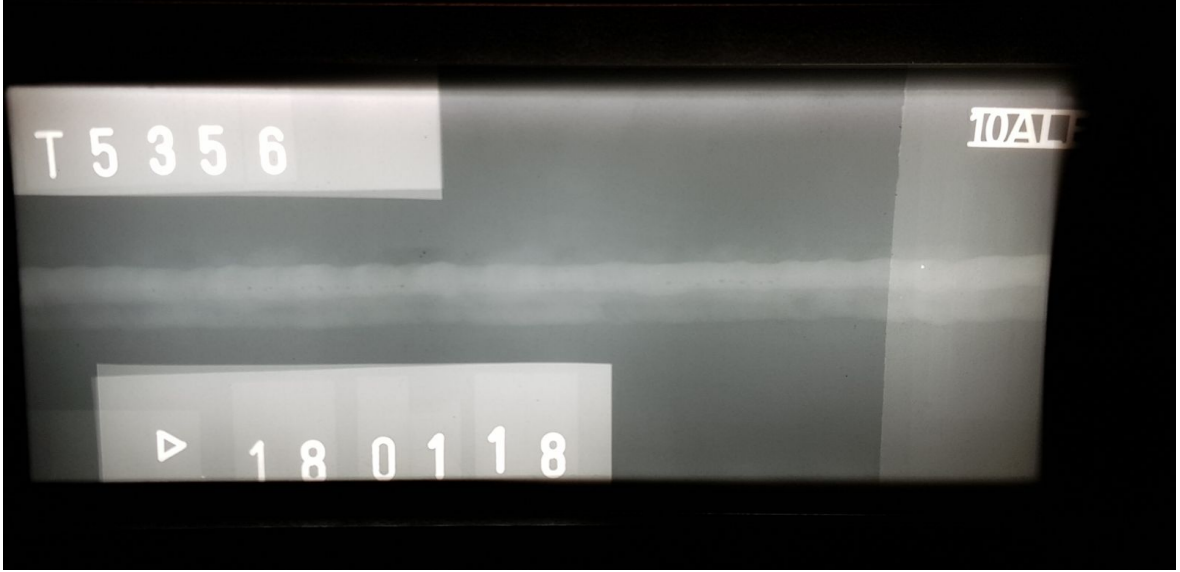
1, 2,3 ve 4 No'lu kaynaklı parçaların banyo edilen röntgen filmleri TS EN ISO 10675-2 standardına göre incelendiğinde kabul seviyesini aşan herhangi bir gözenek veya çatlak bulgusuna rastlanmamıştır.



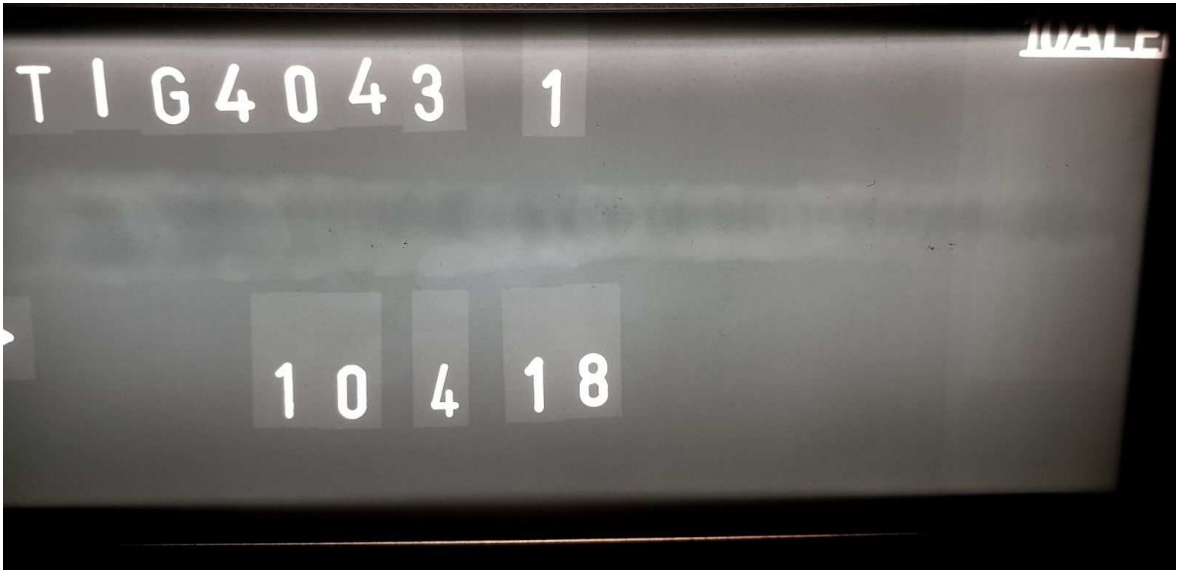
Şekil 4.5. 1 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu



Şekil 4.6. 2 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu



Şekil 4.7. 3 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu

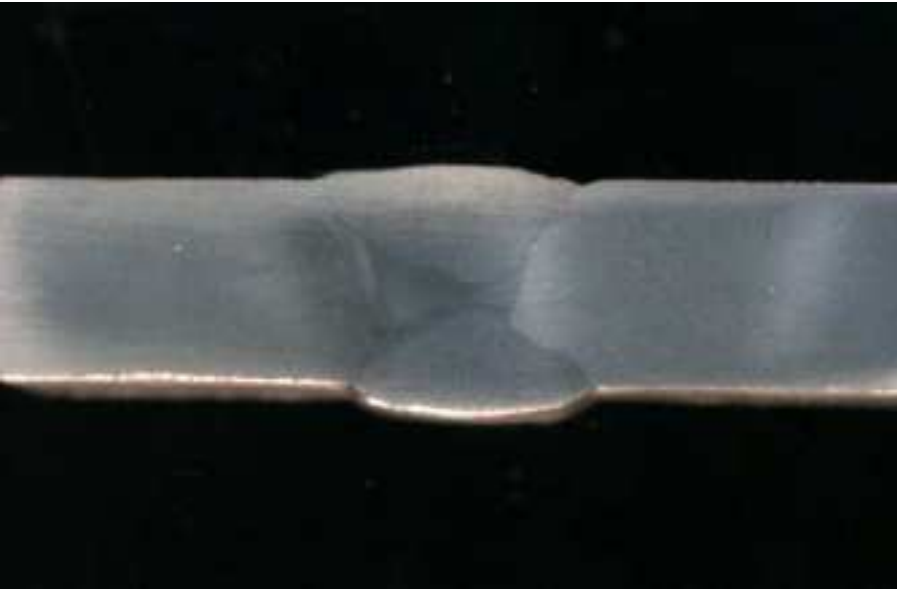


Şekil 4.8. 4 No'lu kaynaklı parçanın RT sonucu

4.1.3. Makro yapı inceleme sonuçları



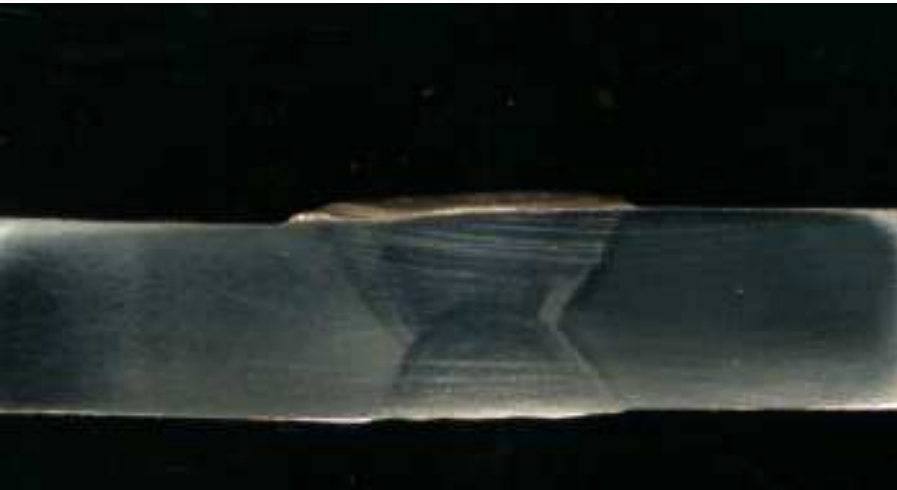
Şekil 4.9. 1 No'lu kaynaklı numunenin makro yapısı



Şekil 4.10 2 No'lu numunenin makro yapısı



Şekil 4.11. 3 No'lu kaynaklı numunenin makro yapısı



Şekil 4.12. 4 No'lu kaynaklı numunenin makro yapısı

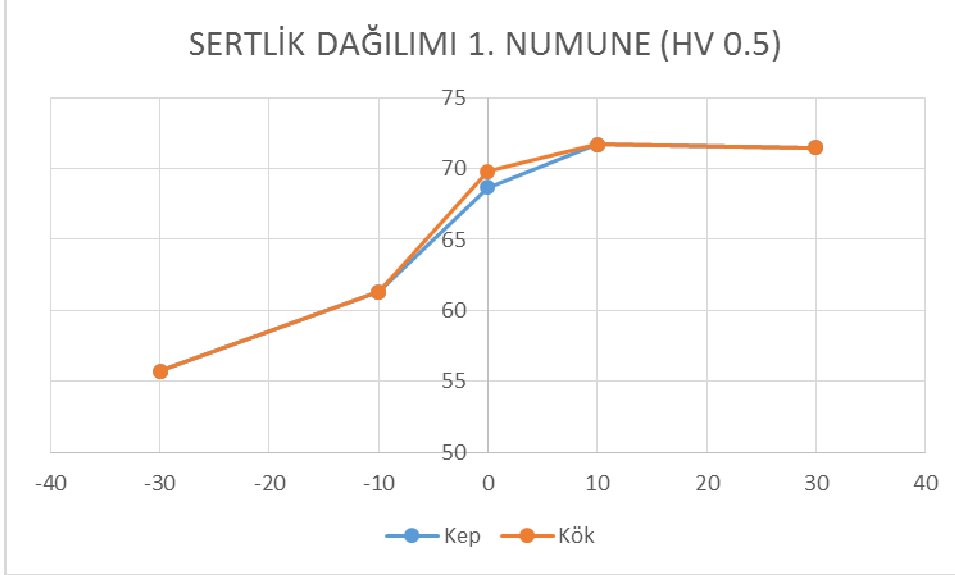
4.1.4. Sertlik deneyi sonuçları

Hazırlanan sertlik numunelerinin Ana Malzemeler, HAZ bölgeleri, kep ve kök bölgelerinin Vickers (HV 0.5) sertlik değerleri tespiti için 3'er ölçüm alınmıştır. Çizelge 4.1.'de sertlik ölçümlerinin ortalamaları verilmiştir ve grafiklere aktarılmıştır.

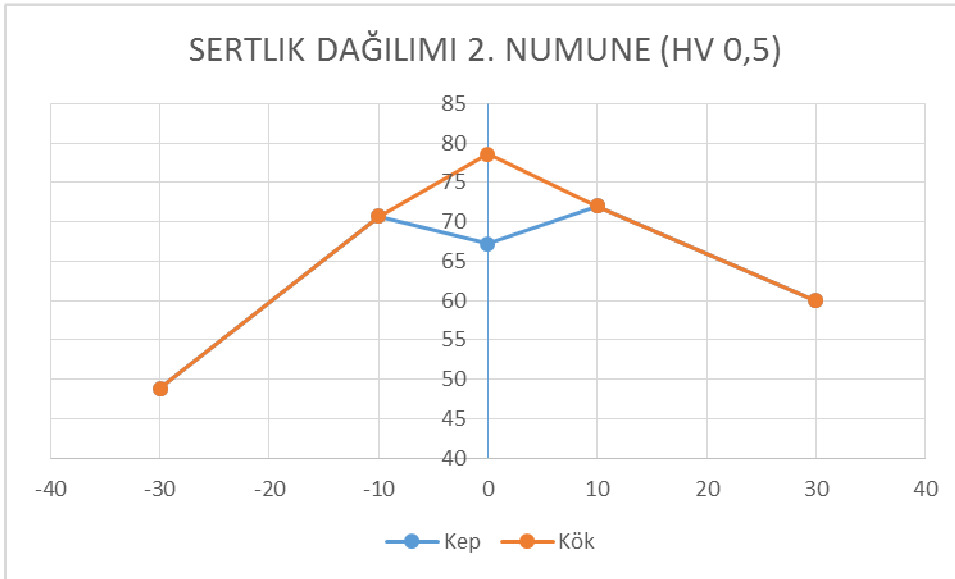
Çizelge 4.1. Numunelerin sertlik deney sonuçları

Bölge	1.Numune	2. Numune	3. Numune	4.Numune
ANA MALZEME- 1	55,7	48,8	52,3	46,7
HAZ 1	61,3	70,7	54,2	54,3
KEP	68,7	67,2	60	67,2
KÖK	69,8	78,6	70,3	52,6
HAZ 2	71,7	72	69,7	52,5
ANA MALZEME- 2	71,5	60	60	59,8

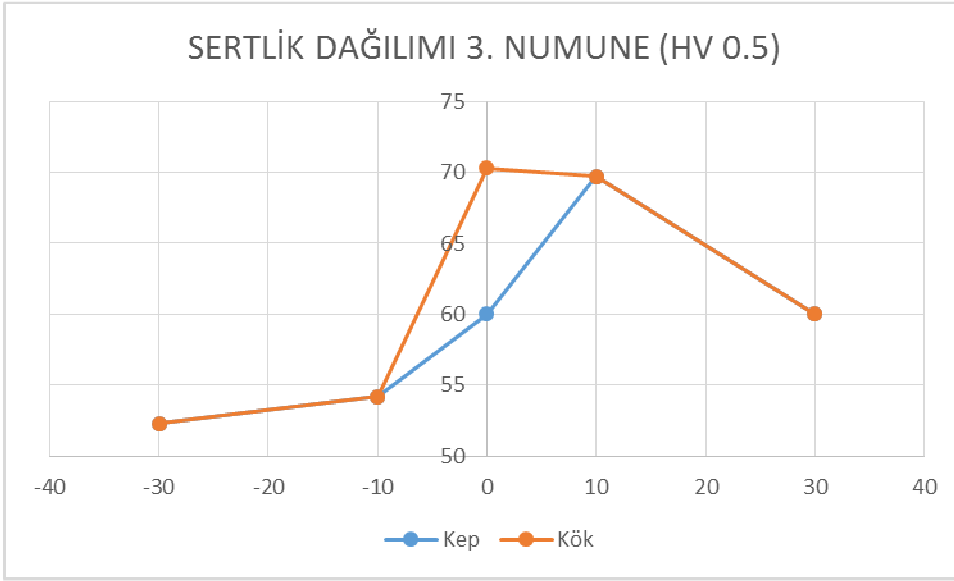
Elde edilen sertlik değerleri ile kaynak bölgesi x-ekseninde 0 noktası seçilerek sertlik dağılım grafikleri çizilmiştir.



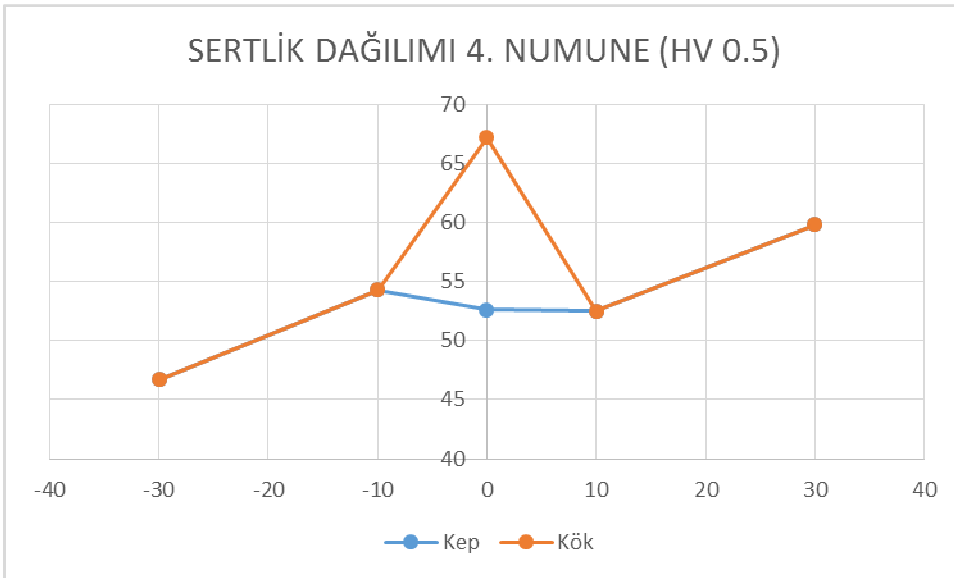
Şekil 4.13. 1. Numunenin sertlik dağılım grafiği



Şekil 4.14. 2. Numunenin sertlik dağılım grafiği



Şekil 4.15. 3. Numunenin sertlik dağılım grafiği



Şekil 4.16. 4. Numunenin sertlik dağılım grafiği

4.1.5. Çekme deneyi sonuçları

Numune Kodlamaları:

- 1 No'lu kaynaklı parça numuneleri; 3 ve 4 no'lu çekme çubukları
 2 No'lu kaynaklı parçaya ait çekme numuneleri; 1 ve 2 no'lu çekme çubukları
 3 No'lu kaynaklı parçaya ait çekme numuneleri; 7 ve 8 no'lu çekme çubukları
 4 No'lu kaynaklı parçaya ait çekme numuneleri; 5 ve 6 no'lu çekme çubukları

Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonuçları

Kaynaklı parça no	Kaynak yöntemi	İlave metal	Çekme numune no	FRp0,2 kN	Rp0,2 MPa	FRm kN	Rm MPa	A %uzama	Z %kesit daralması
2	MIG	ER4043	1	21,92	133,5	38,19	151,8	11,82	45,5
2	MIG	ER4043	2	21,40	144,3	38,34	153,7	14,72	43,44
1	MIG	ER5356	3	25,17	187,8	49,5	202	7,23	24,25
1	MIG	ER5356	4	27,82	195,1	52,41	203,2	6,21	24,21
4	TIG	ER4043	5	21,42	146,3	40,43	160	10,26	40,64
4	TIG	ER4043	6	21,55	146,7	39,61	146,7	10,74	40,72
3	TIG	ER5356	7	23,93	172,8	45,88	181,9	7,85	29,48
3	TIG	ER5356	8	25,13	174,8	44,68	177,8	6,10	24,72

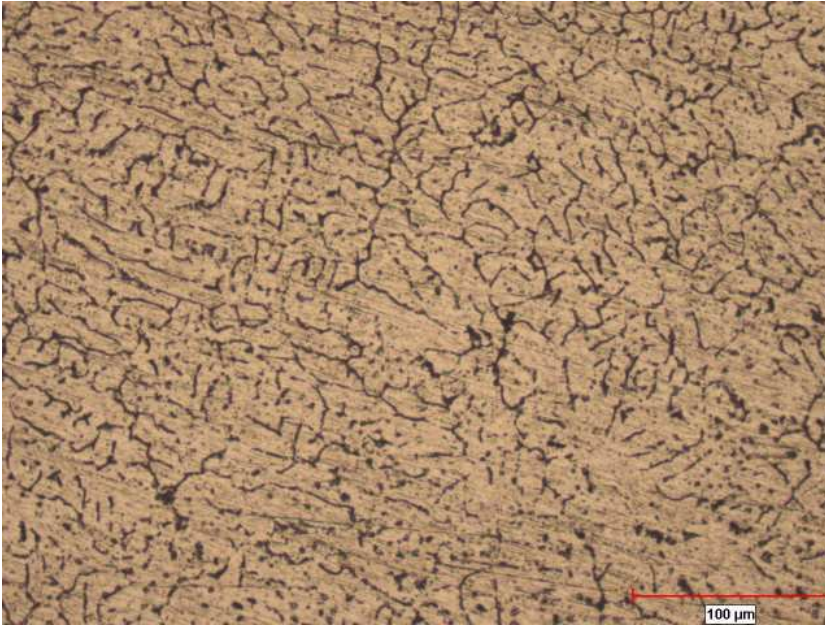
4.1.6. Mikroyapı inceleme sonuçları

1 No'lu kaynaklı numunenin kök bölgesi mikroyapı görüntüleri;



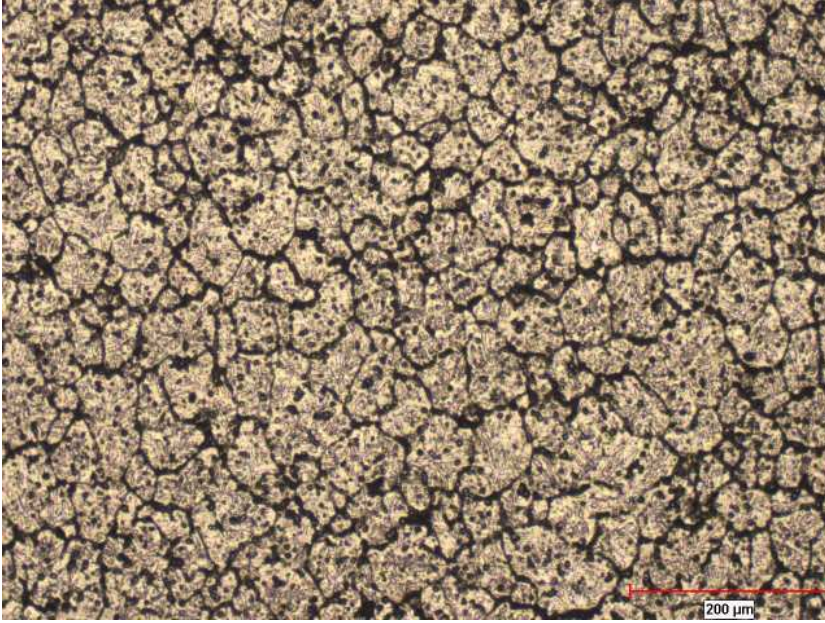
Şekil 4.17. ER5356 ile MIG kaynağı mikroyapı, 100X

2 No'lu kaynaklı numunenin kök bölgesi mikroyapı görüntüleri;



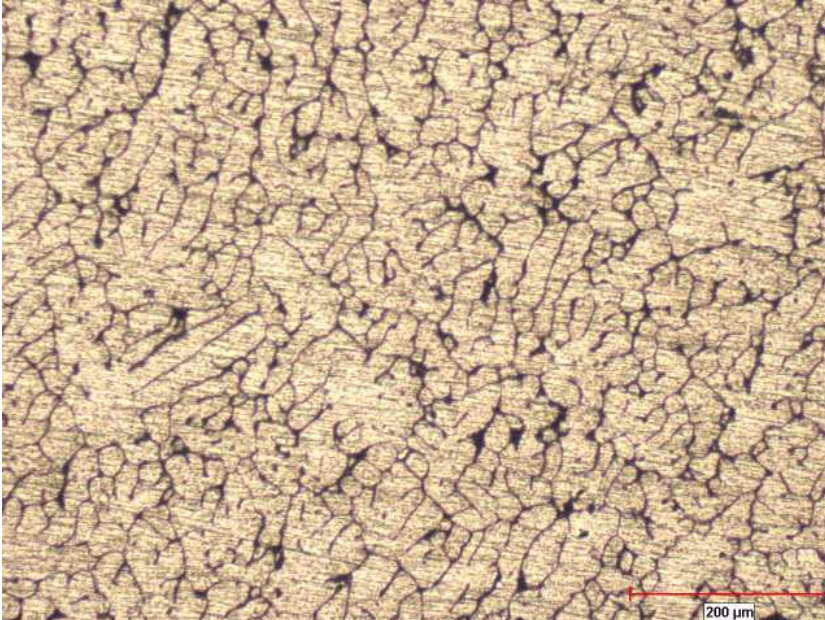
Şekil 4.18. ER4043 ile MIG kaynağının mikroyapı görüntüsü, 200X

3 No'lu kaynaklı parçanın kök bölgesi mikroyapı incelemesi,



Şekil 4.19. ER5356 ile TIG kaynağının mikroyapı görüntüsü, 100X

4 No'lu kaynaklı parçanın kök bölgesi mikroyapı incelemesi,



Şekil 4.20. ER4043 ile TIG kaynağının mikroyapı görüntüsü, 100X

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalarda, raylı sistem araçlarında kullanılan aynı kalınlıkta ancak farklı seri alüminyum parçaların farklı kaynak yöntemiyle ve farklı ilave metallere yapılan kaynaklarının tahribatsız ve tahribatlı muayeneleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre kaynak yöntemleri ve ilave metaller karşılaştırılmıştır.

Kaynaklı numunelerin sıvı penetrant ve radyografik muayenelerinde hem yüzeysel hem de hacimsel kaynak hatalarına rastlanmaması kaynak parametrelerinin (amper, voltaj, kaynak hızı, koruyucu gaz debisi vb) uygun seçildiğini ortaya koymuştur.

Mikroyapı incelemesinde ER5356 dolgu teli kullanılan 1. ve 3.kaynaklı numunelerin kök bölgelerinde çökeltilerin oluştuğu gözlenmiştir. Bunun sebebi dolgu telinin kimyasal kompozisyonunda yaklaşık %5 Magnezyum olmasıdır.

Ayrıca sertlik değerleri karşılaştırıldığında MIG yöntemiyle kaynaklanan 1. ve 2. numunelerin HAZ bölgelerinin, kep ve kök bölgelerinin sertliklerinin TIG yöntemiyle kaynaklanan 3. ve 4. numunelerden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmalar sonunda ER5356 ve ER4043 dolgu telleri ile TIG yönteminin 6061 T651 ve 5083 H111 alüminyum kaynağında MIG yöntemine göre ısı girdisinin daha yüksek olması sebebiyle mekanik değerlerde düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Isı girdileri MIG kaynağında 40-70 kJ/mm civarında çıkmıştır. TIG kaynağında ise bu değer 115-200 kJ/mm'dir. MIG'le yapılan çalışmalarda ER4043 ile yapılan kaynaklarda çekme mukavemeti 152 MPa civarında çıkmıştır. TIG ile yapılan çalışmada ER4043 ile yapılan kaynakta çekme mukavemeti 148 MPa çıkmıştır. Aynı şekilde ER5356 ile yapılan kaynaklarda MIG ile yapılan kaynakta çekme mukavemeti 202 MPa TIG ile yapılan kaynakta 179 MPa çıkmıştır. Buradan anlaşılacağı üzere TIG kaynağında ısı girdisinin fazla olması nedeniyle çekme mukavemetleri daha düşük çıkmıştır. Bunun da literatürdeki daha önce yapılmış deneysel çalışmalara uygun bir sonuç olduğu görülmektedir.(Bkz. Bölüm 2.5)

Bütün bu sonuçlar göz önüne alındığında; 10 mm gibi yüksek kalınlıktaki 6061 T651 ve 5083 H111 alüminyum geçiş kaynağında;180-220 Amper, 20-24 Volt değerleri, 12-15 lt/dak debili yüksek saflıkta argon gazı ve ER5356 dolgu teli kullanılarak MIG yönteminin uygulanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akay, A. A., 2012, Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirilmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.99.
- Akıncı, S., 2008, 5754 alüminyum alaşımının kaynak davranışının incelenmesi, s.65.
- Aksoy, H. N., 2010, Alışılmış ve inverter tipi MIG/MAG kaynak makinaları ile yapılan kaynak dikişlerinin çeşitli yönleri ile karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.78.
- Ambriz R.R., G. Mesmacque, A. Ruiz, A. Amrouche, V.H. Lopez, 2010, Effect of welding profile generated by the modified indirect electric arc technique on the fatigue behavior of 6061-T6 aluminium alloy. *Mate. Sci. Eng. A* 527, 2057–2064.
- Anık, S. 1991. Yöntemler ve Donanımlar, Gedik Holding Yayını.
- Anonim, 2015, <https://www.muhendisbeyinler.net/tahribatsiz-muayene-yontemleri/>, erişim tarihi: 01.01.2018
- Askaynak, 2009, Teknik Eğitim El Kitabı, 53 s.
- Baydur, G., 1987, Malzeme, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Cabello, M. A., Rückert, G., Huneau, B., Sauvage, X., 2008, Comparison of TIG Welded and Friction Stir Welded Al–4.5Mg–0.26Sc Alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 197, 337-343.
- Celal Bayar Üniversitesi, 2016, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları
- Çam, G., 2002, Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Uygulamaları. 9. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Denizli, 450-458.
- Darıdereli, Y., 2010, Alüminyum alaşımlarının mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma direncine yaşlanmanın etkisi, s.9.
- Demirci, D., 2000, Muhtelif kaynak yöntemlerinde doğru akımlı kaynakta kutuplamının kaynak dikiş formuna etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.
- Eryürek, İ.B., 2004, Çelikler için örtülü elektrod seçimi, Askaynak Yayınları.
- Fujii, H., Cui, L., Maeda, M., Nogi, K., 2006, Effect of Tool Shape on Mechanical Properties and Microstructure of Friction Stir Welded Aluminum Alloys. *Materials Science and Engineering A*, 419, 25–31.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

GSI SLV, 2017, Kaynak Mühendisliği Eğitim Notları, 2.Bölüm

Luijendjk, 2000, Welding of dissimilar aluminium alloys, Journal of Materials Processing Technology 103 (2000) 29-35.

Kadayifçi, Z. A., 2013, İzmir, Benzer ve Farklı Türden Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, s.3.

Karadeniz, S. 2009, *Kaynak Makinaları "Amper'den İnverter'e"*, GEV Yayın No:5

Korçak, H., 2000, Döküm Laboratuvarı, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları

Kökdemir, E., 2007, Alaşımsız yapı çeliği levhalarında kaynak dikişlerinin ultrasonik muayenesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.140.

NONNDT, 2009, Tahribatsız Muayene Ders Notları, Penetrant Muayene Seviye 3

ODTU KTM, 2009, Kaynak Mühendisliği Ders Notları

Onaran, K., Malzeme Bilimi, ISBN: 975-540-017-6 ,Bilim Teknik Yayınevi, 2003, İstanbul

Oğuz, B.,1990, Demirdışı metallerin kaynağı, Oerlikon Yayını, İstanbul, 32-86.

Onursal, M., 2010, Uçaklarda kullanılan metal malzemelere uygulanan tahribatsız muayeneler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 94 s.

Rajendran, V. ,2009,. Engineering Physics, 6.2.

Savaşkan, T., 2004, Trabzon, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Akademi Ltd. Şti. Yayınları, No:15

Sector Cert Gesellschaft für Zertifizierung mbH, 2017, Tahribatsız Muayene Seviye 3 Basic Eğitim Notları

Serfiçeli, Y. S., 2003, Ankara, Kaynak Teknolojisi, Ofset Yayınevi.

Shull, P.J., 2001, Nondestructive evaluation theory, techniques and applications, The Pennsylvania State University, Pennsylvania.

Şimşir, M., Ankara, A., 2007, Kısa çevrimli yorulma çatlaklarının tahribatsız muayene yöntemi ile incelenmesi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

T.C Milli Eğitim Bakanlığı, 2011, Ankara, Metalurji Teknolojisi

TSE, 2004, Tahribatsız Muayene Laboratuvarı Ders Notları, s.24.

Verma, R.P., K.N. Pandey, Y. Sharma, 2015, Effect of ER4043 and ER5356 filler wire on mechanical properties and microstructure of dissimilar aluminium alloys, 5083-O and 6061-T6 joint, welded by the metal inert gas welding. Proc. Inst. Mech. Eng. B J.Eng. Manuf. 229(6), 1021–1028