

**MASIF VE ÖZLÜ TELLE YAPILMIŞ GAZALTI
KAYNAK DİKİŞLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI
OLARAK İNCELENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı

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

Fatih KAHRAMAN

119586


119586

Temmuz, 2002

İZMİR

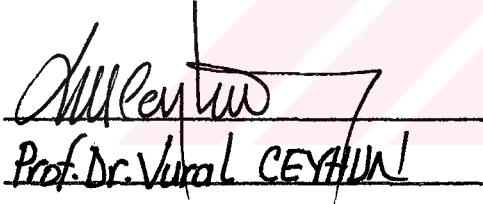
Yüksek Lisans Tezi Sınav Sonuç Formu

Fatih KAHRAMAN, tarafından Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ yönetiminde hazırlanan “MASİF VE ÖZLÜ TELLE YAPILMIŞ GAZALTI KAYNAK DİKİŞLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



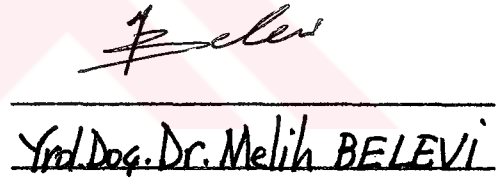
Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ

Yönetici



Prof. Dr. Vural CEYHAN

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Melih BELEVI

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle bana gösterdiği kolaylıklar, yüksek bilgi ve tecrübesiyle ettiği yardımlar dolayısıyla sayın hocam Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ'e minnet borçluyum.

Sevgili teknisyenlerimiz Faik SOYSAL ve Ahmet YİĞİT'e de benimle birlikte çalıştıkları ve yardımları nedeniyle ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bana destek olan aileme ve bu tezi hazırlamamda yardımcı olan bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Fatih KAHRAMAN

ÖZET

Bu çalışmada rutil özlü, bazik özlü tel ve masif gazaltı telleri ile yapılan kaynak dikişlerinin statik ve dinamik mukavemetleri, kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkileri incelenmiştir.

Kaynaklı imalat, diğer imalat yöntemlerine göre sağladığı avantajlar nedeniyle önem kazanmış ve imalat yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Özellikle ülkemizde son yıllarda ağır sanayinin gelişmesine paralel olarak kaynaklı imalat da hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Kaliteli ve ucuz bir kaynak dikişi elde edebilmek için seçilen kaynak yöntemi kadar kullanılan dolgu malzemesi ve kaynak parametrelerinin de uygun olması gerekmektedir. Dolgu maddeleri alanındaki gelişmeler hangi dolgu malzemesinin nerede ve nasıl kullanılması gerektiği sorununu da gündeme getirmiştir. Özellikle ağır sanayide otomasyona uygunluğu ve ucuzluğu nedeniyle yaygın olarak kullanılan gazaltı kaynak (Gaz Metal Ark Kaynağı) yönteminde elektrod özelliklerinin ve karakteristiklerinin iyi bilinmemesi birçok hatalı uygulamaya sebep olmaktadır.

Bu çalışmada rutil özlü, bazik özlü tel ve masif tel ile yapılan gazaltı kaynak dikişlerinin mukavemetlerini inceleyip aralarında karşılaştırma yapabilmek için çekme, çentik darbe ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Çeşitli kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkilerini incelerken parametrelerden biri değiştirilip, diğerleri sabit tutularak kaynak dikişleri elde edilip etkileri incelenmiştir.

ABSTRACT

In this study, static and dynamic strength of seams welded by rutil and basic flux cored and massive wire of Gas Metal Arc Welding are investigated. The effect of welding parameters to seams are also examined.

Welding technologies have gained importance according to improving industry so it is widely used in manufacturing processes. The wire and the welding parameters are as important as the welding process in order to obtain seams that are cheap and good in quality. Improvements in the area of electrode manufacturing have put the problem of how and where to use the right type of electrode in welding. Misunderstanding of the properties and the characteristics of electrodes utilized in gas metal arc welding which is used especially in heavy industry applications causes important application hazards.

In this study, strength analysis of seams welded by gas metal arc and rutil and basic cored wire are evaluated and then strain, knock impact and hardness experiments are carried out for comparison. In order to investigate the effects of various welding parameters, seams are welded by changing one of the parameters while keeping the others constant.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler	VI
Şekiller Listesi	X
Tablolar Listesi	XII

Bölüm Bir

GİRİŞ

1.1. Giriş.....	1
1.2. Yöntemin prensibi.....	2

Bölüm İki

KAYNAK DONANIM VE EKİPMANLARI

2.1. Kaynak Donanım ve Ekipmanları.....	4
2.2. Kaynak Torçları.....	4
2.2.1. Anod Memesi	5
2.2.2. Gaz Nozulu.....	5
2.2.3. Elektrod Kılavuz Hortumu.....	6
2.3. Basınç Düşürme Manometresi ve Debimetre.....	7
2.4. Tel Sürme Mekanizması.....	8
2.5. Kaynak Kontrol Ünitesi.....	9
2.6. MIG/MAG Kaynak Güç Üniteleri.....	10
2.6.1. Doğru Akım Generatörü.....	10

2.6.2. Basit Redresör Tipi Akım Üreteçleri.....	11
2.6.3. Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri.....	11
2.6.4. İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri.....	12

Bölüm Üç

ARK BOYUNUN AYARI

3.1. MIG/MAG Kaynak Makinasının Kontrol ve Ayarı.....	14
3.1.1. ΔU (Gerilim Ayarlı) Kontrol Metodu	14
3.1.2. ΔI (Akım Ayarlı) Kontrol Metodu	15

Bölüm Dört

KAYNAK PARAMETRELERİ

4.1. Kaynakta Gerilim Düşümü ve Gerekli Enerji	18
4.2. Ark Akımı ve Gerilimi	20
4.3. Kaynak Hızı.....	21
4.4. Ark Boyu.....	22
4.5. Elektrodun Bağlandığı Kutup (Kutuplama)	23

Bölüm Beş

KORUYUCU GAZLAR

5.1. Koruyucu Gazların Temel Özellikleri	27
5.1.1. İyonizasyon Potansiyeli	27
5.1.2. Isıl İletkenlik	28
5.1.3. Disosasyon ve Rekombinasyon	28
5.1.4. Reaktiflik / Oksidasyon Potansiyeli.....	29
5.1.5. Yüzey Gerilimi.....	29
5.1.6. Gaz saflığı.....	29

5.1.7. Gaz Yoğunluğu.....	30
5.1.8. Koruyucu Gaz Debisi.....	30
5.2. MIG/MAG Kaynağı'nda Kullanılan	
Koruyucu Gaz ve Gaz Karışımları.....	31
5.2.1. Argon.....	32
5.2.2. Karbondioksit.....	33
5.2.3. Helyum.....	33
5.2.4. Argon-Oksijen.....	33
5.2.5. Argon-Karbondioksit.....	34
5.2.6. Argon-Helyum.....	34
5.2.7. Argon-Oksijen-Karbondioksit.....	35
5.2.8. Argon-Helyum-Karbondioksit.....	35
5.2.9. Argon-Karbondioksit-Hidrojen.....	36
5.3. Özlü Elektrodlarla Kullanılan Koruyucu Gazlar.....	36
5.3.1. Karbondioksit.....	36
5.3.2. Argon-Karbondioksit.....	36

Bölüm Altı

GAZALTI KAYNAK ELEKTRODLARI

6.1. İçi Dolu (Masif) Tel Elektrod	37
6.1.2. İmali	37
6.2. Elektrod Seçimi.....	40
6.3. Özlü Elektrodlar.....	41
6.3.1. İmali	42

Bölüm Yedi

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	48
7.1.1. Ana Malzeme (İş Parçası).....	48
7.1.2. Kullanılan Elektrodlar.....	49

	IX
7.1.2.1. Masif elektrod (İçi dolu Tel)	49
7.1.2.2. Rutil Karakterli Özlü Tel.....	50
7.1.2.3. Bazık Karakterli Özlü Tel.....	50
7.2. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....	51
7.2.1. Uygulanan Test Yöntemleri.....	53
7.2.1.1. Vickers Sertlik Deneyi.....	53
7.2.2.2. Çekme Deneyi.....	55
7.2.2.3. Çentik Darbe Deneyi.....	61
7.3. Kaynak Parametrelerinin Kaynağa Etkileri.....	63

Bölüm Sekiz

SONUÇ

81. Sonuç.....	70
Referanslar.....	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Deneyleerde kullanılan otomatikleştirilmiş MIG/MAG kaynak makinası.....	3
Şekil 2.1. Yarı otomatik gaz soğutmalı MIG/MAG kaynak torçu.....	6
Şekil 2.3. Basınç düşürme manometresi.....	7
Şekil 2.3. Bilyalı debimetre takılı manometre.....	8
Şekil 2.4. Tel elektrodun ilerleme şeması.....	9
Şekil 2.5. İki veya dört makaralı tel sürme mekanizması.....	9
Şekil 2.6. MIG/MAG kaynak yöntemi için doğru akım generatorü.....	10
Şekil 2.7. MIG/MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi.....	11
Şekil 2.8. Sinerjik darbeli akım üretici ile elde edilen bir damla.....	12
Şekil 2.9. İnverter türü kaynak makinasının basit akış diyagramı.....	13
Şekil 3.1. Düşey karakteristikli bir kaynak makinasının çalışma prensibi ve U-I diyagramı.....	15
Şekil 3.2. Yatay karakteristikli bir kaynak makinasının çalışma prensibi ve U-I diyagramı.....	16
Şekil 4.1. MIG/MAG'da ark bölgesi.....	19
Şekil 4.2. Ark statik karakteristiği (Argon koruyucu gaz ortamında).....	20
Şekil 4.3. Değişik atmosferler altında ark gerilimi ile ark boyu arasındaki ilişki.....	21
Şekil 4.4. Değişik atmosferler altında ark gerilimi ve kaynak akımı arasındaki ilişki.....	21
Şekil 4.5. Ark geriliminin ark boyuna göre değişimi.....	22
Şekil 4.6. Şekil 4.6. MIG/MAG'da kutuplama ve ısı.....	24
Şekil 4.7. Çelikler için kutuplara göre ergime ve dolgu miktarı.....	24
Şekil 5.1. Çeşitli koruyucu gazların ısı iletkenliği.....	28
Şekil 5.2. Doğru Akım Elektrod Pozitif kutupta kullanılarak yapılan kaynaklarda kaynak profili üzerine koruyucu gaz karışımlarının etkileri.....	35
Şekil 6.1. Masif tel elektrodların AWS'ye göre gösterilişi.....	39

Şekil 6.2. Özlü tel imalatının akış şeması.....	42
Şekil 6.3. AWS A.5.20.'ye göre özlü elektrodların gösterilişi.....	43
Şekil 6.4. Uygulamada özlü tel elektrod kesitleri.....	43
Şekil 6.5. Özlü tel elektrod ile kaynakta ark bölgesi.....	44
Şekil 7.1. Kaynak edilecek iş parçası ve kaynak ağzının açılması.....	52
Şekil 7.2. Vickers deney ucu ve açıları.....	53
Şekil 7.3. Kaynaklı birleştirmenin ana malzemedan kaynak dikişi merkezine kadar olan sertlik değişimi.....	54
Şekil 7.4. Çekme deneyi cihazına numunenin yerleştirilmesi.....	55
Şekil 7.5. Kaynaklı Birleştirme Çekme Test Numunesi.....	56
Şekil 7.6. Tüm kaynak metali çekme numunesi.....	56
Şekil 7.7. Kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonucu elde edilen Çekme dayanımı diyagramı.....	57
Şekil 7.8. Kaynaklı birleştirmeye ait Akma dayanımı diyagramı.....	58
Şekil 7.9. Kaynaklı birleştirmeye ait Kopma uzaması diyagramı.....	59
Şekil 7.10. Tüm kaynak metaline ait Çekme dayanımı diyagramı.....	59
Şekil 7.11. Tüm kaynak metaline ait Akma mukavemeti diyagramı.....	60
Şekil 7.12. Tüm kaynak metaline ait Kopma uzaması diyagramı.....	61
Şekil 7.13. Çentik darbe deneyi cihazının çalışma prensibi.....	61
Şekil 7.14. Charpy çentik darbe numunesi.....	62
Şekil 7.15. Charpy çentik darbe işi diyagramı.....	63
Şekil 7.16. Kaynakta gerilime bağlı olarak kaynak nüfuziyeti ve dikiş genişliğinin değişimi.....	64
Şekil 7.17. Kaynak gerilimi değişimine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliğinin değişimi.....	65
Şekil 7.18. Tel sürme hızı yani akım şiddetine bağlı olarak kaynakta nüfuziyet değişimi....	66
Şekil 7.19. Kaynak akımı şiddetinin değişimine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliğinin değişimi.....	67
Şekil 7.20. Kaynak hızına bağlı olarak nüfuziyetin değişimi	68
Şekil 7.21. Kaynak hızının değişimine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliğinin değişimi.....	69

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 5.1. MIG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların özellikleri.....	27
Tablo 5.2. MIG/MAG kaynağı için önerilen koruyucu gaz seçimi.....	31
Tablo 7.1. Ana malzemenin kimyasal bileşim oranları.....	49
Tablo 7.2. SG2 masif tel elektrodun mekanik özellikleri.....	50
Tablo 7.3. Rutil Karakterli Tel Elektrodun mekanik özellikleri.....	50
Tablo 7.4. Bazik tel elektrodun mekanik özellikleri.....	51
Tablo 7.5. Tellere göre her paso için uygun kaynak parametreleri	52
Tablo 7.6. Kaynaklı birleştirmelerin Çekme Dayanımı değerleri.....	56
Tablo 7.7. Kaynaklı birleştirmelerin Akma mukavemeti değerleri.....	57
Tablo 7.8. Kaynaklı birleştirmenin Kopma Uzaması değerleri.....	58
Tablo 7.9. Tüm kaynak metaline ait Çekme Dayanımı değerleri.....	59
Tablo 7.10. Tüm kaynak metaline ait Akma mukavemeti değerleri.....	60
Tablo 7.11. Tüm kaynak metaline ait Kopma Uzaması değerleri.....	60
Tablo 7.12. Kaynaklı bağlantının Charpy çentik darbe deneyi sonuçları.....	62
Tablo 7.13. Kaynak Gerilimine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliği değerleri.....	65
Tablo 7.14. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliği değişimi değerleri.....	67
Tablo 7.15. Kaynak hızının değişimine göre nüfuziyet ve dikiş genişliği değerleri.....	69

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Giriş

Günümüz endüstrisinde kaynaklı imalat çok önemli bir yere sahiptir. Kaynak teknolojisi hızla gelişip daha kompleks olmaktadır. Ark kaynağı yöntemleri arasında ise yarıotomatik gazaltı kaynak yöntemleri daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Kaynak sektöründe kaynak maliyetinin azaltılması ve kaynak kalitesinin yükseltilmesi çok önemlidir. Bu amaçlara hizmet etmek maksadıyla geliştirilmiş olan gazaltı kaynak yöntemleri ülkemizde son yıllarda çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca gazaltı kaynak yönteminde elde edilen kaynak dikişlerinin mukavemetlerinin yüksek olması (bazik örtülü elektrod değerlerine yakın) da bu yöntemin yaygınlaşmasında önemli bir etkidir.

Gazaltı kaynak yönteminde kaynak için gerekli ısı enerjisi iş parçası ve bir metal elektrod arasında bir ark oluşturulmasıyla sağlanır. Bu yöntemde metal elektrod bir tel sürme mekanizması yardımıyla kaynak yerine sürülmektedir yani tel beslemesi sürekli olarak. Tel elektrodlar gerek anod memesinden geçerken temas kolaylığı sağlamak ve gerekse de korozyondan korumak amacıyla ince bir bakır tabakası ile kaplanırlar

Günümüzde eriyen elektrodlu gazaltı kaynak yöntemi, CO₂ ve gaz karışımları ile geniş bir malzeme alanına uygulanabilmekte ve sabit değerli doğru akım yanında darbeli doğru akım ile de gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle yöntem "Gaz Metal Ark Kaynağı" olarak da adlandırılmaktadır.

Eriyen elektrodlu gazaltı kaynağı geniş bir endüstri sektöründe yaygın olarak kullanılır, bunun en önemli nedeni yaklaşık olarak tüm kaynak metali dolgusundan örtülü elektrod kaynağına göre %50 ye yakın bir kazanç sağlamasıdır. Ayrıca örtülü elektrod kaynağına göre mekanizasyona uygunluğu ve yüksek dolgu hızları nedeniyle gazaltı kaynağı daha avantajlıdır. Bununla birlikte manuel gazaltı kaynağı yönteminde kaynakçıda yüksek derecede el maharetine (ustalığa) sahip olmalıdır.

Yöntem, kaynakçının kaynağa etkisini azaltmak ve işlem sürelerini kısaltmak m aksadıyla sanayide yarı otomatik veya otomatik olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde gazaltı kaynak metodunda kullanılmaya başlanan özlü tellerin, yüksek ergime hızları, her pozisyonda kayak edilebilme gibi bazı avantajları nedeniyle birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

1.2. Yöntemin prensibi

MIG/MAG yöntemi, ergiyen sonsuz tel elektrod ile iş parçası arasında yanan bir ark ile elektrodun ertilerek metallerin birleştirildiği bir elektrik ark kaynağı yöntemidir. Ergimiş kaynak banyosunun ve arkın korunması kullanılan koruyucu bir gaz veya gaz karışımı tarafından yapılmaktadır.

MIG kaynağında kısa ark ve darbeli akım tekniği kullanılarak, uygulama alanı, özellikle hafif metaller ve yüksek alaşımlı, malzemelerde TIG kaynağı uygulama alanı içine kadar genişler. Tüm çelik çeşitleri ve demir dışı malzemelerin (Al, Al- alaşımları; Cu, Cu- alaşımları; Ni, Ni-alaşımları gibi) her kalınlığının, yarı mekanik, mekanik ve otomatik olarak kaynağı, dolgu ve kaplaması yapılabilir.

MAG kaynağında tüm koruyucu gaz ve gaz karışımları kullanılarak yapı çelikleri ve az alaşımlı çeliklerin kaynağı yapılabilmektedir. Ayrıca Ni, Ni- alaşımlarının kaynağı da

mümkündür. Yüksek alaşımli çeliklerin kaynağı ise ancak yüksek argon yüzdesindeki (%85 ile 92) koruyucu gaz karışımlarıyla mümkündür (Karadeniz, 2000).



Şekil 1.1. Deneylerde kullanılan otomatikleştirilmiş MIG/MAG kaynak makinası

MIG/MAG yöntemi kalınlığı 22,34 mm (yaklaşık bir inç) üzerinde olan malzemeler için de kullanılabilir, fakat genellikle kalınlığı daha düşük malzemeler için kullanılmaktadır.

MIG/MAG yönteminde genellikle negatif kutup iş parçasına, elektrod ise pozitif kutba bağlanmaktadır. Çapı 0,6 ile 2,4 mm arasında değişen tel elektrodların kaynak sırasında hızları sabittir.

Yöntemde sabit gerilimli karakteristiğe sahip doğru akım makinaları kullanılır ve ark boyunun ayarı iç ayar (AI ayarı) ile yapılır. MIG/MAG kaynağının avantajlarından biri geniş ergitme gücü aralığına sahip oluşudur. Kısa ark ve darbeli akım tekniği kullanılarak uygulama alanı genişletilmiştir (hafif metaller ve yüksek alaşımli malzemeler bu yöntem sınırları içine dahil edilmiştir). Yöntemde kaynak sırasında enerji yoğunluğu yüksek olduğundan, malzemedeki gerilim bırakmadan kaynak yapmak mümkün olur. Kısa ark boyu alanı dışında ark boyunun uzunluğu nedeniyle kısa devresiz bir kaynak mümkündür.

BÖLÜM İKİ

KAYNAK DONANIM VE EKİPMANLARI

2.1. Kaynak Donanım ve Ekipmanları

MIG/MAG kaynağı yönteminde kullanılan ekipmanlar: kaynak torçu, torç bağlantı paketi (içinde tel elektrod ve klavuzunu, akım ve şalter kablolarını, gaz hortumunu, varsa soğutucu su giriş çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum bulunur), kumanda ve kontrol tertibatı, güç üretici, koruyucu gaz sağlama sistemi, tel sürme mekanizması, kullanılıyorsa sulu soğutma sistemi, mekanize ve otomatik kaynak yapmak için kullanılabilecek yardımcı donanımlar.

2.2. Kaynak Torçları

MIG/MAG kaynağında kullanılan torçlar, tel elektroda akım yüklenmesini, kaynak bölgesine elektrodun iletimini ve kaynak bölgesine koruyucu gazın gönderilmesini sağlamaktadır. Bu kaynak torçları üzerindeki bir elektrik anahtarı ile kaynak akımı, elektrod besleme sistemi ve koruyucu gaz akışı üçü birlikte kontrol edilebilmektedir.

Manuel torçlar bir tabanca biçiminde şekle sahiptirler. Su ile soğutmanın kullanıldığı torçlarda su, akım kablosu içerisinden doğrudan geçerek gaz nozulu ve anod memesini birlikte soğutur. Küçük çaplı tel elektrodların kullanıldığı gaz soğutmalı torçlar, esnekliği ve manevra kabiliyetini arttırmak amacıyla dar ve ulaşmanın zor olduğu bölgelerin kaynağında kullanılır.

Su soğutmalı torçlarda, su soğutması torçun çok düşük sıcaklıklarda bile yüksek kapasitede sürekli olarak çalışmasına izin vermektedir. Bu torçlar 200 ile 750 A arasındaki uygulamalarda kullanılır. Su giriş ve çıkış hatlarındaki ağırlık artışı nedeniyle kaynakta torçun manevra kabiliyeti düşmektedir.

Su soğutmalı veya gaz soğutmalı torçların seçiminde koruyucu gazın tipi, kaynak akım aralığı, malzemeler, kaynak dolgu içeriği ve dizaynı göz önünde tutulması gereken temel sebeplerdir. Büyük güçler gerektiren kaynak işlemlerinde özellikle su soğutmalı torçlar seçilmektedir. Aynı akım kapasitesi için gaz soğutmalı torçlarla su soğutmalı torçlara göre çok daha yavaş kaynak yapılır. Ancak gaz soğutmalı torçlar kaynak pozisyonuna ve kaynak yapabilmek için gereken alana göre kullanımı daha kolaydır, yani kaynak yapabilmek kabiliyetleri daha iyidir.

2.2.1. Anod Memesi

Bakır veya bakır alaşımlarından yapılmaktadır. Torç içerisindeki temel görevi elektrik akımını elektroda iletmek ve elektrodu iş parçasına doğru yönlendirmektir. Anod memesinin iç cidarı önemlidir. Çünkü elektrod meme içinde kolaylıkla hareket edebilmeli ve çok iyi bir elektriksel temas sağlamalıdır. Bu nedenle anod memesinin delik çapı kullanılan elektrod çapından genellikle 0,13 ile 0,25 mm daha büyüktür. Anod memesinin gaz nozulunun ucuna göre pozisyonu kullanılan metal taşınım tipine göre değişmektedir. Kısa devre iletimi için anod memesinin ucu gaz memesinin ucundan dışarıya doğru çıkıktır. Sprey iletiminde ise gaz memesi ucundan yaklaşık 3 mm içeridedir (Eryürek, 1995).

2.2.2. Gaz Nozulu

Kaynak için gerekli miktarda koruyucu gazı sağlamak için, çeşitli iç çaplara sahip metal gaz nozulları mevcuttur. Genellikle kaynak işlemindeki ihtiyaçlara göre nozulların iç çapları yaklaşık olarak 10 mm ile 22 mm arasında değişmektedir. Nozullar genellikle herhangi bir

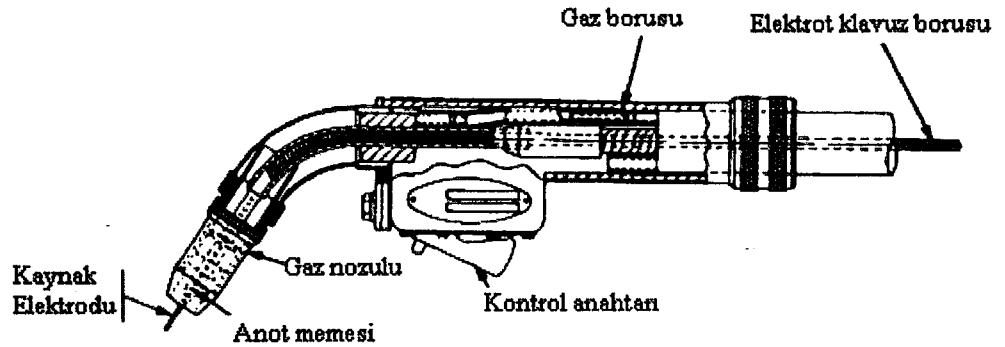
durumda kolayca değiştirilebilmesi için kılavuzlu bir şekilde imal edilirler. Anod memesi gaz nozulunu merkezlemelidir. Böylece nozul düzgün bir koruyucu gaz sütununun kaynak bölgesine gönderilmesini sağlar (Komaç,1995). Korunması gereken alanı arttırdığından yüksek akımların kullanıldığı uygulamalarda büyük gaz nozulu, düşük akımla çalışıldığında ve kısa devre iletimi ile kaynak yapıldığında küçük gaz nozulu kullanılır.

2.2.3. Elektrod Kılavuz Hortumu

Elektrodu koruyarak besleme makaralarından torça ve anod memesine doğru yönlendirir ve korur. Stabil bir kaynak sağlanabilmesi elektrodun beslemesinin sürekli olarak sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle elektrodun dolaşması ve bükülmesi engellenmektedir.

Klavuz boru tel klavuzun bir parçası olabildiği gibi ayrı da olabilir. Her iki durumda da klavuz boru çelik ve bakır gibi sert elektrod malzemeleri için çelik, alüminyum ve magnezyum gibi yumuşak elektrod malzemeleri için naylon klavuz boru kullanılmalıdır.

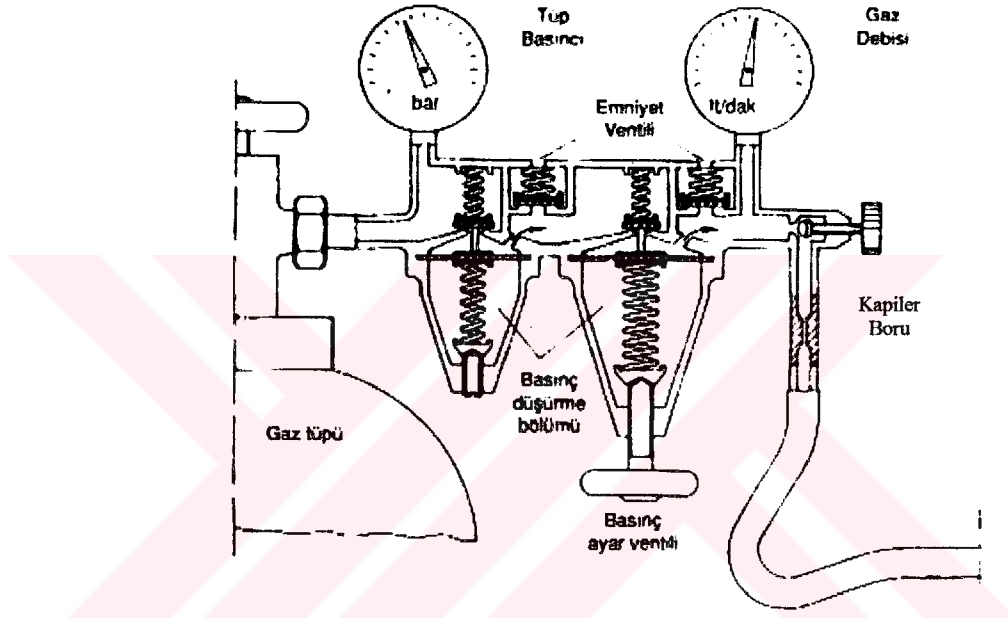
Torç içindeki diğer aksesuarlar ise torça; koruyucu gazı ileten gaz hortumu, su iletimi yapan su hortumu ve elektrik akımını ileten elektrik kablolarıdır. Bunlar doğrudan doğruya güç ünitesine veya kontrol ünitesine bağlanırlar.



Şekil 2.1. Yarı otomatik gaz soğutmalı MIG/MAG kaynak torçu

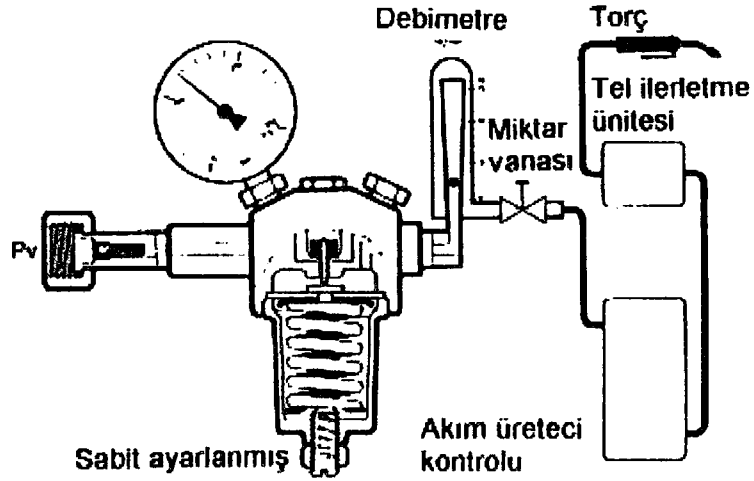
2.3. Basınç Düşürme Manometresi ve Debimetre

Tüpten veya dağıtım hattından gelen koruyucu gazı kullanabilmek için basıncının kullanma basıncına düşürülmesi ve ardından da debisinin ayarlanması gerekir. Ayarlanan debi ise kapiler boruya bağlı manometreden okunabilir. Herhangi bir şekilde kapiler boruda bir arıza oluşursa manometrede görülen debi gerçek gaz debisinden daha düşüktür. Koruyucu gaz fazlalığı nedeniyle kaynakta da hata miktarı artacaktır.



Şekil 2.2. Basınç düşürme manometresi

Bu nedenle genellikle bilyalı ölçüm aleti daha çok tercih edilmelidir. Bilyalı ölçüm aleti, doğrudan gaz çıkış lülesine takılabilen ve torçtan çıkan gerçek gaz debisini ölçebilen küçük bir gaz borusudur. Gaz debisi, bilyalı borunun üzerindeki işaretlerden, kullanılan gaz türüne uygun olanı gözönünde tutularak ayarlanır (Anık, Vural, 1997).

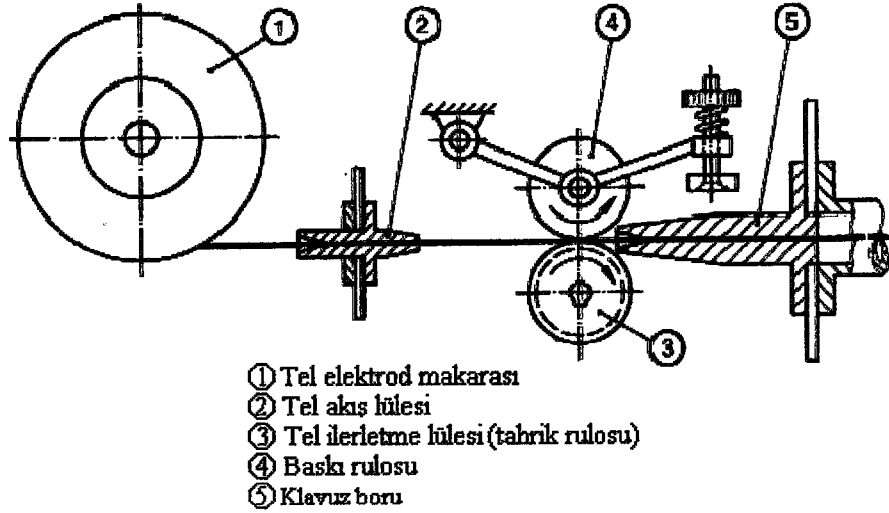


Şekil 2.3. Bilyalı debimetre takılı manometre

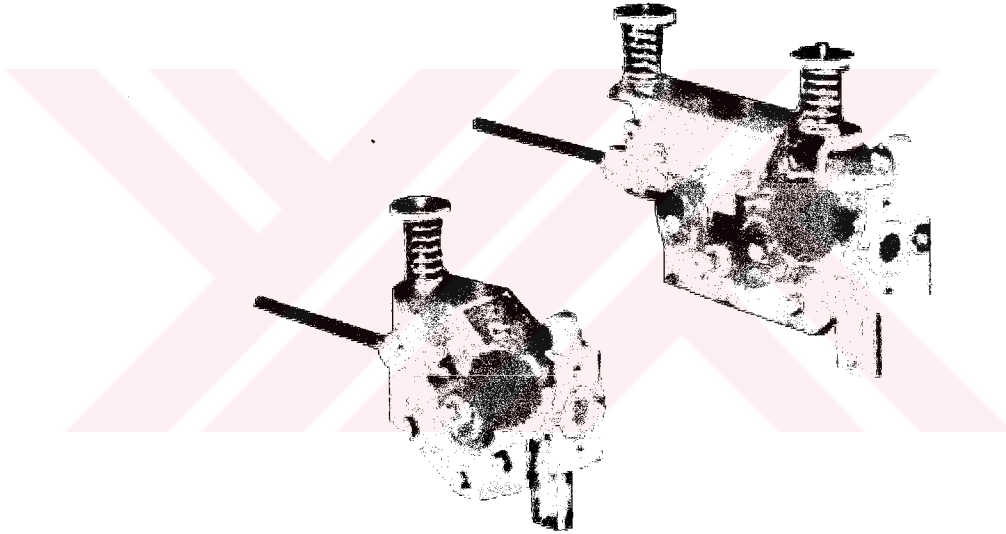
2.4. Tel Sürme Mekanizması

Tel elektrod sürme tertibatı, eriyen tel miktarını karşılayacak bir hızla teli ark bölgesine sevk eden mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme türü tertibatlar diye adlandırılırsalar da çalışma prensipleri bakımından birbirlerinden pek farklı değildir. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir. İkinci sistem günümüzde tercih edilendir.

Tel, bobinden gelirken tam düz değildir. Bu şekilde kaynak bölgesine sevk edilirken spiral kılavuz içinde sürtünme yaptığından tel sürme tertibatını zorlar bu da tel iletme hızının düzensizleşmesine sebep olur. Bu olay da kaynak dikişinin kalitesini etkiler. Bunu engellemek için tel sürme mekanizmasının makaraları arasına elektrodun yeteri kadar iyi sıkıştırılması gerekmektedir. Yalnız elektrod bu makaralar arasına sıkıştırılırken ne fazla ne de az sıkıştırılmalıdır yani baskı makarası baskı kuvveti ayarının iyi yapılması gereklidir. Fazla sıkıştırılırsa baskı nedeniyle elektrod ezilecek, kaynak yerine düzenli sürülemeyeceği için de süreksiz bir kaynak dikişinin oluşmasına neden olacaktır. Aynı şekilde makaralar arası geniş bırakılırsa (elektrod çapına göre) bu sefer de makaralar patinaj yapacak, tel elektrod kaynak yerine hiç sürülemeyecektir.



Şekil 2.4. Tel elektrodun ilerleme şeması



Şekil 2.5. İki veya dört makaralı tel sürme mekanizması

İki makaralı tel sürme tertibatlarının genel problemi makaradan gelen teli tam olarak doğrultamamalarıdır. Dört makaralı tertiplerde tel bir dereceye kadar düzlenir. İki makaralı tertibatlarda tel sürme mekanizmasından önce tel doğrultma makaralarına gerek vardır.

2.5. Kaynak Kontrol Ünitesi

Yarı otomatik işlemden, kaynak kontrolü ve tel besleme motorunun bir entegre paket içinde toplanması mümkündür. Kaynak kontrol ünitesinin ana fonksiyonu tel besleme motoru hızını regüle etmektir. Motor hızı, değişen tel hızlarına göre elle ayarlanabilir.

Kontrol ünitesi aynı zamanda torçdaki anahtardan gelen uyarı ile elektrod ilerlemesini durdurup başlatabilir. Koruyucu gaz, su ve kaynak enerjisi torça kontrol ünitesi kanalı ile gelir. Gaz ve su akışı selenoid valf vasıtası ile ayarlanır. Gaz akışının başlaması ve kesilmesi ile güç ünitesinden enerji çıkışı da kontrol ünitesi tarafından sağlanır.

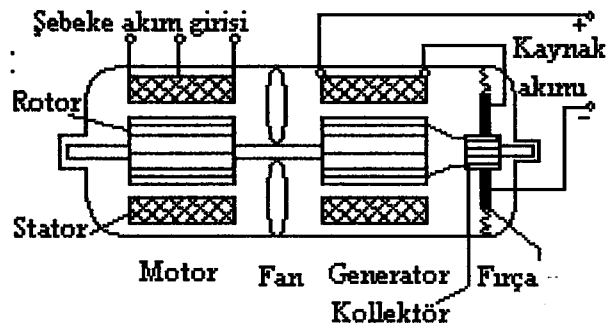
2.6. MIG/MAG Kaynak Güç Üniteleri

Kaynak güç üniteleri arkı oluşturmak için gerekli elektrik enerjisini, elektrod ve iş parçasına verir. MIG/MAG uygulamalarındaki güç ünitelerinde doğru akım ve genellikle pozitif kutuplama kullanılır. MIG/MAG kaynak güç üniteleri, dönel tip doğru akım generatorü, basit redresörler, sinerjik darbeli akım üreteçleri ve inverter türü kaynak akım üreteçleridir.

2.6.1. Doğru Akım Generatorü

Elektrik akımının bulunmadığı yerlerde, genellikle şantiyelerde kullanılmak maksadıyla geliştirilmiş, dizel veya benzin motoruyla tahrik edilen generatorlerdir.

Bir doğru akım generatorü bir tahrik ve bir de dinamo makinasından oluşmuş bir takımdır. Bu makinalar mekanik enerjiyi elektrik enerjisine (kaynak enerjisine) çevirerek kaynak akımını çalışma yerinde üretir.



Şekil 2.6. MIG/MAG kaynak yöntemi için doğru akım generatorü.

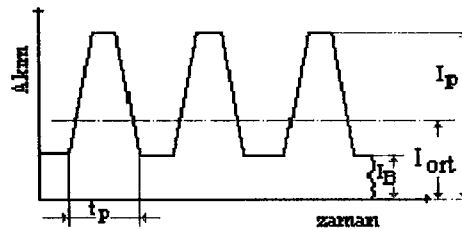
2.6.2. Basit Redresör Tipi Akım Üreteçleri

İşletme içinde kullanılan standart üreteçleridir, bir transformatörden ve bir doğrultucu köprüden oluşmuş paket cihazlardır.

MIG/MAG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilim gelir. Sabit gerilimli veya diğer bir deyişle yatay karakterli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirinden bağımsız ayarlanabilir. Kaynak akımı ve gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanabilir. Genel olarak standart bir MIG/MAG kaynak akım üreticinde 3 kaba ayar ve 5 adet de ince ayar vardır, bu da 15 kademede gerilim ayar olanağı sağlar. Kaynak akım şiddeti ise MIG/MAG kaynak üreteçlerinde tel sürme düğmesinden ayarlanır. Seçilmiş olan gerilim ve akım şiddetinin dikiş biçimi ve ark oluşum türü üzerine etkileri bulunmaktadır. Uygun seçilmiş bir çalışma noktası arkın sakin ve kararlı bir biçimde yanması ile kendini belli eder (Tülbentçi, 1998).

2.6.3. Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri

İyi bir nüfuziyetin, buna karşın parçaya ısı girdisinin sınırlı olması istenen durumlarda darbeli doğru akım yöntemi uygulanır. Darbeli doğru akım ile alternatif akım farklıdır; darbeli doğru akımda seçilen akım şiddeti önceden saptanmış iki değer arasında, arzu edilen bir frekansta değişmektedir.



I_B : Temel akım şiddeti (A)

t_p : Darbe süresi (ms)

I_{ort} : Ortalama akım şiddeti (A)

I_p : Darbeli akım (A, Amper)

f : Darbe frekansı

Şekil 2.7. MIG/MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi

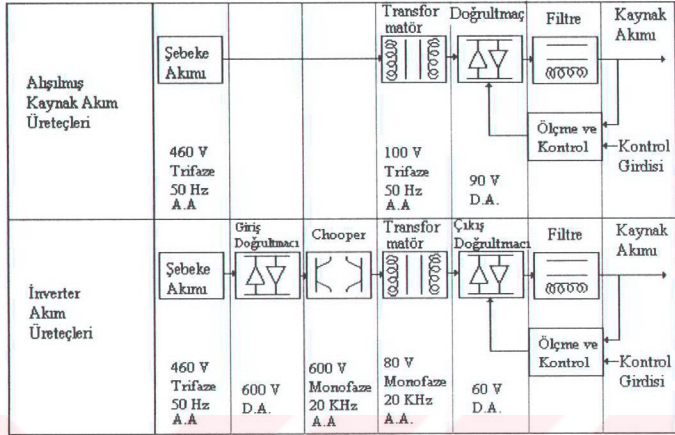
Bu sistemin üstünlüğü tel elektrodun ergiyen damlaların kaynak banyosuna geçişinin temel ve darbe akım şiddetine göre iki farklı hızda gerçekleşmesidir. Darbe akımı sırasında, pik akımda, kaynak metali hızlı bir biçimde ergir ve kaynak banyosuna spray ark biçiminde taşır. Bunu takip eden temel akım periyodunda ise elektrod ucunun ergimesi azalır ve gerekirse hiç ergimemesi sağlanır ve kaynak banyosuna da ısı girdisi azalır ve bu sırada banyo kısmen katılaşmaya başlar. Temel akım şiddeti arkın sönmeyeceği bir değerde tutulduğundan arkın yeniden tutuşturulması sorunu da ortadan kalkar. Bu şekildeki bir ark ile her pozisyonda kaynak yapmak kolaylaşmış olur. Güç elektroniği yardımı ile frekans, temel akım şiddeti, darbe akım şiddeti ile bunların sürelerini birbirlerinden bağımsız olarak ayarlayabilen akım üreteçleri bulunmaktadır. Bu sayede her akım darbesinde kaynak banyosuna tek bir damla kaynak metali transfer edebilen MIG/MAG kaynak makinaları geliştirilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Sinerjik darbeli akım üreteci ile elde edilen bir damla

2.6.4. İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri

İnverterlerde diğer kaynak akım üreteçlerinden farklı olarak, şebekeden çekilen alternatif akım önce bir redresöre (doğrultma köprüsü) girer ve doğru akım haline dönüştürülür ve bu akım chooper adı verilen özel bir cihazda alternatif akıma dönüştürülür. Bu akımın frekansı kaynakta kullanılan inverterlerde genelde 20000 Hz civarındadır. Bu yüksek frekanslı alternatif akım bir trafoya verilerek akım ve gerilimi kaynak işlemine uygun hale getirilerek, bir doğrultucu köprüde doğrultulup, filtreden geçirilerek darbeli doğru akım elde edilir.



Şekil 2.9. İnverter türü kaynak makinasının basit akış diyagramı

(Karadeniz,Günay, 2000)

BÖLÜM ÜÇ

ARK BOYUNUN AYARI

3.1. MIG/MAG Kaynak Makinasının Kontrol ve Ayarı

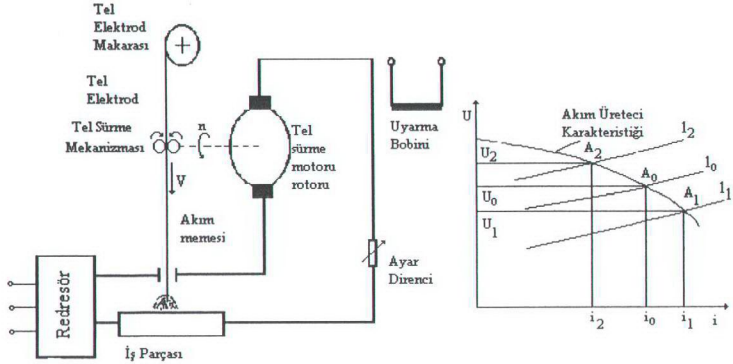
MIG/MAG gibi mekanize kaynak yöntemlerde iyi bir dikiş elde etmek için kaynak arkı uzunluğunun ortalama olarak sabit olması gerekir. Eğer ortalama elektrod sürme hızı, ortalama elektrod erime hızına eşit ise ark boyunun sabitliği gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle ark boyunu sabit tutmak için iki yöntem kullanılır:

3.1.1. ΔU (Gerilim Ayarlı) Kontrol Metodu

Çok kalın tel elektrodların kullanılması halinde düşey karakteristikli sabit akımlı kaynak akım üreteçleri gerekli olmaktadır. Böyle durumlarda tel sürme tertibatının motoru sabit devirde dönmez, ark boyundan komut alarak hızını ayarlar.

Bu yöntemin ana prensibi şöyledir: tel sürme mekanizmasını tahrik eden motorun rotoru ayarlanabilen bir direnç üzerinden kaynak gerilimi U_1 tarafından I akımı ile beslenmektedir. Böylece tel sürme motorundan kaynak gerilimi ile orantılı bir tel sürme hızı elde edilir. Bu metotta düşey karakteristikli bir makina kullanımı mecburidir. Çünkü DC motorunun referans ark boyundan en ufak sapmalarda dahi yeterli bir gerilim gradyenti ile beslenebilmesi gerekir.

$$n = \frac{U}{K \cdot \Phi}$$



Şekil 3.1. Düşey karakteristikli bir kaynak makinasının çalışma prensibi ve U-I diyagramı

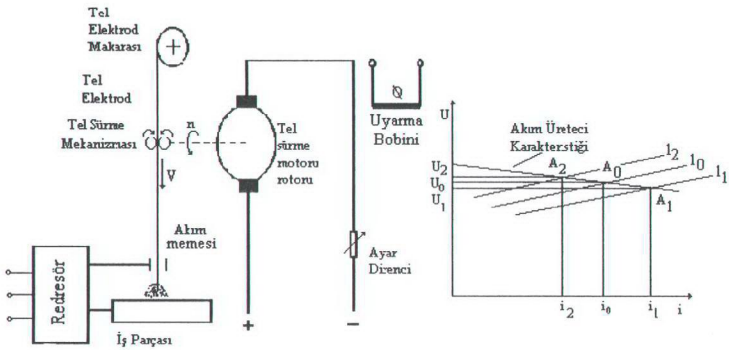
Ayarlı bir I_0 boyunda $I_2 > I_0$ şeklindeki bir değişim, U-I diyagramında $U_2 > U_0$ gibi daha büyük bir kaynak gerilimi oluşturacak böylece ayarlanan referans geriliminden daha büyük bir gerilimle beslenen motor, elektrodu daha hızlı sürerek ark boyunu kısaltır ve tekrar I_0 referans uzunluğuna getirir. Bu arada çalışma noktaları arasında doğan ΔI kadarlık bir akım değişim de elektrod ergimesini az da olsa geciktirecek bir ΔI kontrol etkisi ile olayı takviye eder. Herhangi bir sebeple ark boyunun referans boydan küçülmesi halinde ise, ark gerilimi küçülür ve dolayısıyla elektrod sürme hızı küçülür. Böylece yine referans noktasına geri dönülür (S.Karadeniz, 2000).

3.1.2. ΔI (Akım Ayarlı) Kontrol Metodu

MIG/MAG kaynak yönteminde çapı 3 mm'den küçük elektrodlar ve yatay karakteristikli kaynak makinaları kullanılmaktadır. MIG/MAG kaynak yönteminde ark boyunun ayarlı ΔI akım ayarlı kontrol metodu ile yapılır.

Bu metotta bir potansiyometre ile doğru akım motorunun hızı yani elektrod sürme hızı sabit bir potansiyel değerine ($n = \frac{U_0}{K \cdot \Phi} = \text{sabit}$) ayarlanmıştır. Buradaki elektrod ergime hızı,

sabit olan elektrod sürme hızına eşit olduğu sürece ark U-I diyagramında A_0 çalışma noktası ile belirlenen bir l_0 uzunluğunda yanar.



Şekil 3.2. Yatay karakteristikli bir kaynak makinasının çalışma prensibi ve U-I diyagramı

Ark boyunda $l_2 > l_0$ şeklindeki bir değişim, boyu uzayan arkın direncini ΔR_B kadar büyütür. Kullanılan sabit gerilimli makinanın verdiği U_A gerilimi yükte değişmediğinden I_A akım şiddeti

$$I_A = \frac{U_A}{R_B + \Delta R_B} \text{ ye göre,}$$

ΔI kadar azalır. Akım şiddeti ile orantılı olarak değişen elektrod ergime hızı yavaşlayarak normal l_0 durumundaki elektrod sürme hızından daha küçük olacaktır. Böylece ergimesi geciken elektrod daha hızlı uzayacak ve tekrar l_0 konumunu almaya kadar ark boyu kısalmaktadır.

$l_1 < l_0$ şeklindeki ark boyu kısaltmalarında ise olay tersine olacak ve böylece kendi kendine ayarlanmış olacaktır. Burada kaynakçının arka herhangi bir vasıta kullanmadan etki etmesi mümkün değildir. Böylece burada kısa ark boyu ile kaynak yapmak da mümkün olmaktadır. Kısa ark boyu ile yapılan kaynaklarda saniyede 20 ile 50 arasında kısadevre ortaya çıkar.

Kaynakta kısadevre sayısı ne kadar fazla olursa erimiş haldeki kaynak dolgu maddesi relatif olarak o kadar soğuk ve kıvamlı (koyu) akışkan olur. Kısa ark, röntgen emniyeti mertebesindeki kaliteli kök pasolarında, büyük aralıklı açıklıkları kapatmakta, ince sacların kaynağında ve zor kaynak pozisyonlarında kullanılır.

ΔI kontrolü hızlı bir dinamiğe sahiptir ancak ergime ataleti düşük olduğu için ince ($2,5\text{Ømm} \geq d$) elektrodlarla kullanılabilir (Karadeniz, 1985).

MIG/MAG kaynağında kullanılan küçük çaptaki tellerin erime hızlarının elektrik ark kaynağındakinden daha yüksek olduğu ve erime hızlarının akımla daha fazla değiştiği bilinmektedir. Akımdaki çok küçük bir oynama ile erime hızında önemli bir değişim olur (Ergime enerjisi $E=I^2.R.t$ 'den dolayı). Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta elektrod çapının etkisidir. 200 amperlik akımda 1,6; 1,2; 0,8 mm çapındaki elektrod telleri için erime hızları sırasıyla 2,5; 5,1 ve 10,4 m/dak'dır. Diğer önemli mesele ise akımın değiştirilmesi sonucu oluşan erime hızı değişimidir. 220 amperlik akım değerinde 1,6; 1,2; 0,8 mm çapındaki elektrod telleri için erime hızları 2,8; 5,6 ve 11,5 m/dak'dır. Bu özellik nedeniyle MIG/MAG kaynağı, gerilimi geniş bir akım aralığında sabit tutan bir güç ünitesi ile birlikte kullanılır (Gourd, 1996).

BÖLÜM DÖRT

KAYNAK PARAMETRELERİ

Kaynak parametreleri kaynak işlemini ve elde edilen kaynaklı birleştirmenin kalitesini etkileyen en önemli unsurlardır. Bu parametreler, kaynak edilen metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağızı geometrisi göz önünde bulundurularak belirlenir.

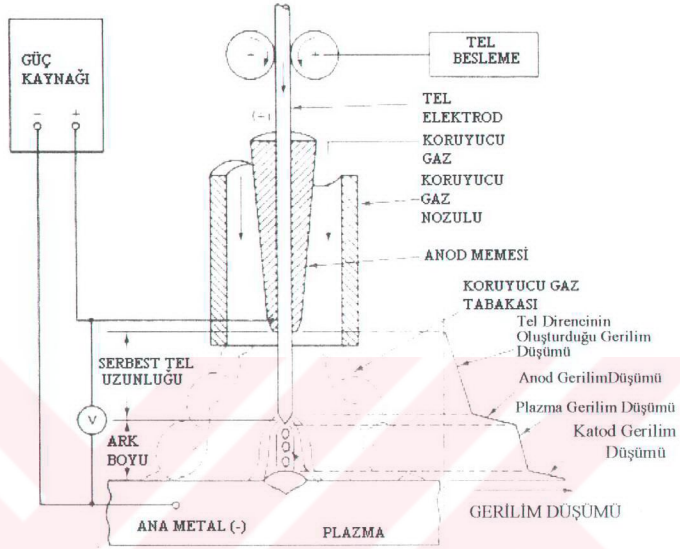
Kaynak öncesi belirlenen ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler; koruyucu gaz türü, elektrodun bağlandığı kutup ve elektrod türü ve çapıdır. Kaynak dikişini kontrol altında tutan, dikişin biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini ve kaynaklı birleştirmenin emniyetini etkileyen ayarlanabilir parametreler ise ikiye gruplanır. Birinci dereceden ayarlanabilir parametreler akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızıdır. İkinci dereceden ayarlanabilir kaynak parametreleri ise torç açısı ve serbest tel uzunluğudur. İkinci dereceden ayarlanabilir kaynak parametreleri kaynak boyunca sürekli değişir (Tülbentçi, 1990).

4.1. Kaynakta Gerilim Düşümü ve Gerekli Enerji

Eriyen elektrodlarla kaynakta üç gerilim bölgesi bulunmaktadır bunlar: anot gerilim düşümü (anodik düşme), plazma gerilim düşümü (ark kolonu) ve katod gerilim düşümü (katodik düşme) bölgesidir. Arktaki toplam gerilim düşümü, bu üç gerilimin toplamına eşittir (Doschu, 1968).

Bir elektrik arkında anot ve katod önünde yüklü parçacıklar birikir. Bu birikimler o bölgelerde elektrik alanını büyütür ($E=U/l$). $U=U_A+U_K+U_P$ burada da $U_K > U_A$ dir. Elektronların anoda geldikleri zamanki kinetik enerjileri anoda verildiği için anoddaki

sıcaklık katoda göre daha yüksektir. Bunun sonucunda yanma katoda bir leke halindeyken, anodda bir krater şeklindedir (Karadeniz, 2000)



Şekil 4.1. MIG/MAG'da ark bölgesi (Cary, 1998)

Teorik ark ısı enerjisi, bu üç bölgenin gerilim düşümü ve kaynak akımı yardımıyla elde edilebilir. Toplam ark bölgesindeki diğer gerilim düşümü de elektrodun meydana getirdiği dirençteki gerilim düşümdür, bu gerilim düşümü akımın elektrod içinden akışına direnç gösterir (Elektrod direnci akımın akışına karşı koyar). Elektrodun oluşturduğu gerilim serbest tel uzunluğu üzerinde meydana gelir. Elektrod çapı ve kompozisyonu direnci değiştirir, direnç de akımın değişmesine neden olur.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{s}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

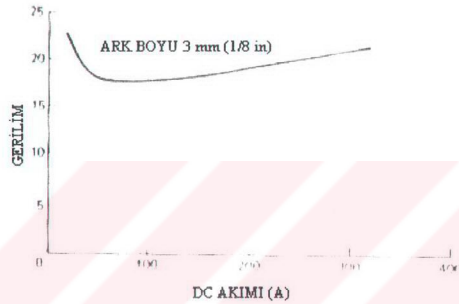
Bu direnç nedeniyle elektrodun serbest tel uzunluğunun ısınması erime hızı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Zira ergime enerjisi

$$E=U.I.t \text{ ve } U= I.R \text{ ise}$$

$E=I^2.R.t$ elde edilir. Burada, I kaynak akımı, R ise serbest tel uzunluğunun direncidir.

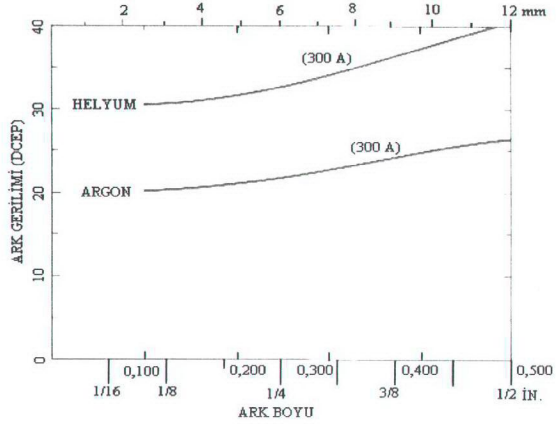
4.2. Ark Akımı ve Gerilimi

Ark akımı ve ark gerilimi arasındaki ilişkiyi veren eğri lineer değildir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi eğri, lineer değildir ve düşük akım bölgesinde bir negatif eğime sahiptir.

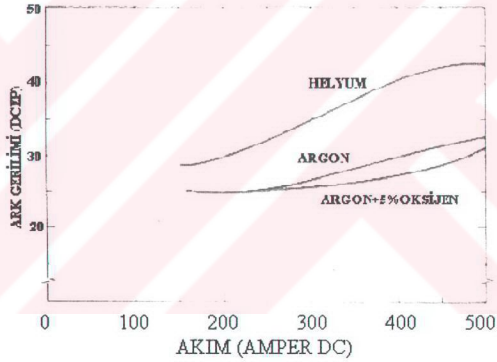


Şekil 4.2. Ark statik karakteristiği (Argon koruyucu gaz ortamında)

Ark atmosferi ark gerilimini etkiler. Şekil 4.3.’de alüminyum kaynak edildiğinde kullanılan argon ve iyonizasyon enerjisi yüksek olan helyum gazlarının ark boyuna ve ark gerilimi üzerine etkileri gösterilmiştir (Lancaster, 1984). Çelik kaynak edildiği zaman argon, içinde %5 oksijen olan argon gaz karışımı ve helyum koruyucu gazları için kaynak akımı ve ark gerilimi Şekil 4.4.’de gösterilmiştir (Jackson, 1960). Koruyucu gaz atmosferi üzerine yüksek bir ark gerilimi uygulanırsa çok sıcak bir ark oluşur. Bu, arktaki ısı enerjisi artırır, ki bu da elektrodun ergime hızını arttıracaktır. Zira kaliteli ve verimli kaynak iki ana faktöre göre değişir; elektrodun ergime aralığı ve ana metale kaynağın nüfuziyetidir.



Şekil 4.3. Değişik atmosferler altında ark gerilimi ile ark boyu arasındaki ilişki



Şekil 4.4. Değişik atmosferler altında ark gerilimi ve kaynak akımı arasındaki ilişki

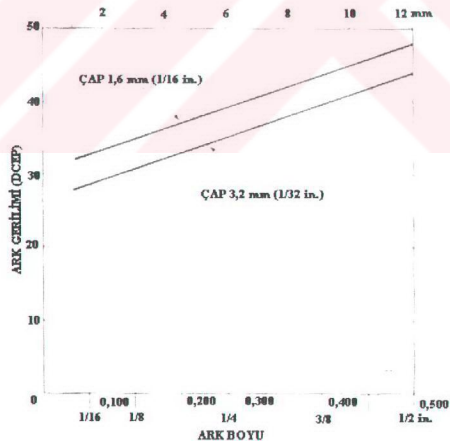
4.3. Kaynak Hızı

Birim zamanda yapılan kaynak dikişi uzunluğunu veren kaynak hızı, diğer parametrelerin aksine bir optimum değerde çalışıldığı zaman en derin nüfuziyet elde edilir. Yani kaynak hızı arttığı zaman, birim boya verilecek ısı azalacak, dolayısıyla da esas metalin ergiyen miktarının azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle kaynak hızının artması nüfuziyeti azaltacaktır.

Kaynak hızındaki bir azalmada ise birim zamanda birim boya yığılan kaynak metali artacak, dolayısıyla da kaynak banyosunun büyümesine neden olacaktır. Sonuçta da geniş bir kaynak dikişi elde edilecektir. Düşük kaynak hızı, fazla miktarda kaynak metalinin yığılması ve nüfuziyet azlığı nedeniyle kaynak ağzının kenarlarında ergimeden kalan bölgelerin oluşmasına neden olacaktır.

4.4. Ark Boyu

Ark boyunun uzunluğunun ark gerilimine büyük etkisi vardır. Kısa ark boyu yaklaşık olarak tel elektrod çapına eşittir ve düşük gerilime sahiptir. Orta boydaki ark orta gerilim aralıklarına sahiptir. Uzun ark boyu ise tel elektrod çapının 5 katı uzunluğa sahiptir ve kaynak işlemi için yüksek gerilimlere ihtiyaç vardır. Bu ilişki Şekil 4.5.'de helyum koruyucu gaz ortamında alüminyumun kaynağı için gösterilmiştir. Ark boyu uzadıkça arkin kontrol edilmesi güçleşir ve dolgu metali birikimi yapamaz. Eğer ark boyu daha fazla uzarsa ark söner, ancak çok yüksek akımlar kullanıldığında ark güçlenir ve böylece de ark boyunun uzaması da mümkün olabilir.



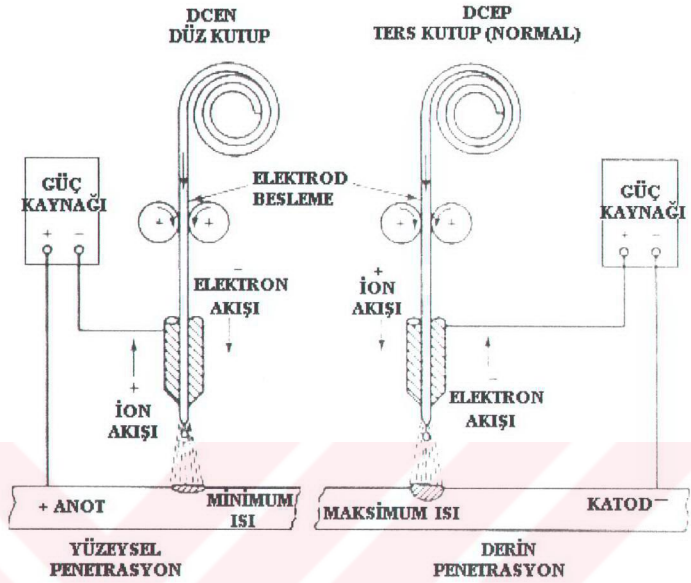
Şekil 4.5. Ark geriliminin ark boyuna göre değişimi

4.5. Elektrodun Bağlandığı Kutup (Kutuplama)

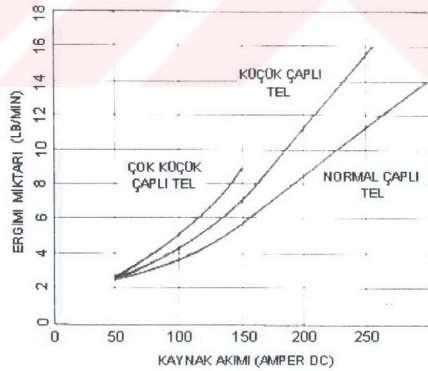
Metalik ark içerisindeki yüksek sıcaklıktaki plazma, ark içindeki gaz atomlarının pozitif iyonlar ve negatif elektronlara ayrışmasına neden olur. Elektronlar katoddan (negatif) anoda (pozitif) hareket eder. İyonlar da pozitif kutuptan negatif kutba hareket ederler.

MIG/MAG'da doğru akımda elektrod pozitif kutba (DCEP) bağlandığında (en yaygın olarak kullanılır) elektronlar iş parçasından elektroda hareket ederler ve pozitif iyonlar elektrodun iş parçasına hareket ederler. Elektronlar katoddan (eksi kutuptan) büyük bir hızla anoda (artı kutup) doğru giderken bu hızlı hareketlerinin enerjisi ısıya dönüşür ($E_k = \frac{1}{2} m_e v_e^2$); hızlı hareket eden elektronların çarptıkları bölge de aşırı ısınır, malzeme ergir ve kısmen de buharlaşır. Elektronlar bu hızlı hareketleri sırasında atomların dış kabuklarına çarparlar ve oradan da elektronların ayrılmasına neden olurlar; elektron kaybeden atom ise artık nötr değildir, iyon haline gelmiştir, pozitif yüklüdür ve yükünden dolayı da hızla katoda (eksi kutba) doğru gider ve oranın ısınmasına neden olur (Karadeniz, 2001).

En büyük ergime hızı elektrod negatif kutba (düz kutuplama) bağlandığı zaman elde edilir. Bu nedenle masif elektrodlarla yapılan MIG/MAG kaynak yönteminde, yüksek ergime hızı sağlaması için ters kutuplama yapılır. DC düz kutuplama masif elektrodlarla pek fazla kullanılmamasına rağmen özlü elektrodlarla yapılan MIG/MAG kaynak yönteminde kullanımı yaygındır.



Şekil 4.6. MIG/MAG'da kutuplama ve ısı



Şekil 4.7. Çelikler için kaynak akımına göre ergime hızının değişimi

$$(\text{lb/min} \times 27.216 = \text{kg/h})$$

Kaynak gerilimi, uygun ark boyuna bağlı seçilmiş tel besleme hızı veya kaynak akımı miktarıyla sürekli ark stabilitesini sağlar.

Kaynak dikişinin yüksekliği, genişliği ve nüfuziyet miktarı, torç tutuş şekli aynı kalmak üzere; kaynak gerilimini, kaynak akım şiddetini ve kaynak hızını değiştirerek ayarlanabilir. Akım şiddeti arttıkça nüfuziyet artar, buna karşın dikiş genişliği ve yüksekliği azalır. Kaynak geriliminin yükselmesi de dikişin genişlemesine neden olur (Amık, 1982).

BÖLÜM BEŞ

KORUYUCU GAZLAR

Kaynakta kullanılan koruyucu gazların kaynak işlemi performansına önemli bir etkisi vardır. Bu gazların ilk görevi erimiş kaynak metali banyosunun oluşumu sırasında bu banyoyu hidrojen, azot ve oksijenin zararlı etkilerinden korumaktır. Koruyucu gazlar ayrıca ark stabilitesini sağlar. MIG/MAG kaynağı'nda gaz, kaynak aşamasında metal transferi oluşması için ek etki yapar, kaynağın damla şeklini ve nüfuziyet biçimini de etkiler. Koruyucu gazın türü ve bileşimi büyük çapta akım ileten ark sütununun kesitini ve dolayısıyla da elektroddan ergime sonucu damlacıkları oluşturan kuvvetin şiddet ve doğrultusunu etkiler. Bu da kaynak işleminin yapılabilirliğine, verimine ve kalitesine etki eder (Lyttle, 1998).

Genel olarak koruyucu gazın etkilediği parametreleri şöyle sıralayabiliriz:

- 1-Kaynak banyosunu atmosferden koruma
- 2-Arkın kararlılığını sağlama
- 3-Metal transfer formunu oluşturma
- 4-Nüfuziyet, ıslatma ve kaynak dikiş geometrisi
- 5-Isı Girdisi
- 6-Kaynak hızı
- 7-Kaynak metalinin kimyasal bileşimi
- 8-Kaynak metalinin kimyasal özellikleri (Anık et al., 1994)

Bir koruyucu gazın temel özelliklerinin iyi anlaşılması, bir kaynak operasyonu için doğru koruyucu gaz veya gazlarının seçilmesinde yardımcı olacaktır. Doğru ve iyi gazın kullanılması kaynak kalitesini arttıracak, kaynak operasyonunun tüm maliyetini düşürecektir.

5.1. Koruyucu Gazların Temel Özellikleri

Sürekli elektrik boşaltılması kaynak arkı olarak bilinir. Bu da ark plazması adı verilen taşıyıcı bir vasıta tarafından oluşturulur ve muhafaza edilir. Plazma, elektron, iyon, nötral atom, foton, uyarılmış atom, ve moleküllerin karışımıdır (Karadeniz, 1990). Plazmanın oluşması ve yapısı, kaynakta kullanılan koruyucu gazın özelliklerine bağlıdır. Tablo 1'de kaynakta kullanılan gazların ana özellikleri vardır (Larson, 1990).

Tablo 5.1. MIG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların özellikleri

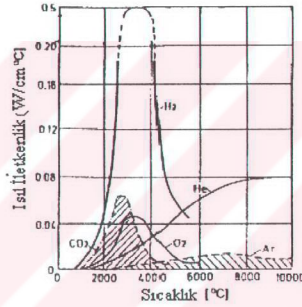
Gaz	Kimyasal sembolü	Moleküler Ağırlığı	Özgül ağırlığı	Yoğunluk		İyonizasyon enerjisi
				g/ft ³	g/L	eV
Argon	Ar	39,95	1,39	0,1114	1,784	15,7
Karbondiyoksit	CO ₂	44,04	1,53	0,1235	1,978	14,4
Helyum	He	4,00	0,1368	0,0111	0,178	24,5
Hidrojen	H ₂	2,016	0,0596	0,0056	0,090	13,5
Nitrojen	N ₂	28,01	0,967	0,782	12,5	14,5
Oksijen	O ₂	32,00	1,105	0,0892	1,43	13,2

5.1.1. İyonizasyon Enerjisi

Bir gaz atomundan bir elektron çıkararak iyon veya elektriksel olarak yüklenmiş bir gaz atomu yapmaya yarayan enerjidir ve elektron volt olarak tanımlanır. Bütün diğer faktörler sabit olduğunda gazın moleküler ağırlığı arttığında, iyonizasyon enerjisi düşer. Kaynak sırasında kullanılan koruyucu gazların iyonizasyon enerjileri ark başlamasını ve stabilitesini büyük ölçüde etkiler. Düşük iyonizasyon enerjili Argon gibi bir gazın atomları kolaylıkla iyona dönüştürülebilir. Helyum gibi yüksek iyonizasyon enerjisine sahip bir gaz ise çok sert bir ark başlaması ve daha az stabil bir ark oluşturur (Lytte, 1998). Her ne kadar plazmanın oluşmasında diğer faktörler yardımcı olsa da bu gazların iyonize olması için gerekli enerji miktarının sağlanmasını özellikle ark gerilimi doğrudan etkiler. Eşit ark boyları ve kaynak akımları için Helyumla kaynakta kullanılan gerilim Argonla kaynakta kullanılan gerilimden daha yüksektir. Bu da iş parçasına ısı girişini Helyumla, Argonla olduğundan daha kolay olmasını sağlar.

5.1.2. Isıl iletkenlik

Bir gazın ısıl iletkenliği onun ısıyı ne kadar iyi taşıyabilmesi ile ölçülür. Bu plazmayla sıvı metal arasındaki ısı transferi sırasında ark kolonunun merkezinden dışa doğru oluşan radyal ısı kaybını etkiler. Düşük ısıl iletkenliğe sahip Argon dar, sıcak bir öz (kor) ve nisbeten daha soğuk bir dış bölgeye sahip iki bölgeyi bir ark oluşturur. Kaynak birleşme bölgesinin nüfuziyet profili, kökte dar bir 'parmak' ve tepede ise daha geniş bir şekildedir. Daha büyük ısıl iletkenliğe sahip bir gaz merkezden dışarıya ısı taşır; bunun sonucunda çok geniş ve sıcak bir ark merkezi oluşur. Bu tip ısı dağılımı Helyum, Hidrojen ve Argon-Karbondioksit ile olur. Çalışma alanına ısının daha fazla dağılmasını sağlar. Daha geniş ergime alanı oluşturur.



Şekil 5.1. Çeşitli koruyucu gazların ısıl iletkenliği (Tus/Eek, Suban,2000)

5.1.3. Disosasyon ve Rekombinasyon

Karbondioksit, Hidrojen, Oksijen gibi moleküler koruyucu gazlar, ark plazması içinde yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında parçalanır veya atomlarına ayrılır. Ayrışmış (dissose olmuş) gaz, soğuk iş alanıyla temas ettiğinde atomlar rekombine olur ve bu noktaya ısı bırakırlar. Bu rekombinasyon ısısı çok atomlu gazların, helyum gibi çok yüksek ısıl iletkenliğe sahipmiş gibi davranmasına neden olur. Ayrışma ve birleşme bazı gazlarda örneğin Argon gibi tek atomlu gazlarda meydana gelmez. Bu sebeple aynı ark sıcaklığında karbondioksit ve hidrojen gibi gazlarla iş parçası yüzeyinde oluşan ısı argona göre daha fazla olur.

5.1.4. Reaktiflik / Oksidasyon Potansiyeli

Koruyucu gazların oksidasyon özelliği kaynak performansını ve kaynak sonucunda ortaya çıkan kaynak dolgusunun özelliklerini etkiler. Argon ve Helyum tamamen asaldır, ve bu sebeple kaynak metali üzerinde direkt kimyasal etkisi yoktur. Oksitleyici veya aktif gazlar, örneğin Karbondioksit ve Oksijen gibi gazlar dolgu metali veya iş parçasıyla tepkimeye girecek ve kaynak dolgusu yüzeyinde cüruf oluşturacaktır. Çelikten kaybolan Manganez ve Silisyum gibi elementler kaynak üretiminin kalite ve maliyetini etkiler. Koruyucu gazların oksidasyon özelliği arttığında, kaynak mukavemeti ve tokluğunun her ikisi de azalır.

Oksijen ve Karbondioksit gibi reaktif gazların eklenmesi ark stabilitesini artırır ve elde edilen metal transferi şeklini etkiler. Koruyucu gazdaki Oksijen oranı arttığında metal damlacıklarının boyutları düşer ve birim zamanda transfer olan damlacık sayısı artar. Oksijen ergimiş kaynak damlasının yüzey gerilimini düşürür, çok iyi kaynak damlası akışı ve yüksek kaynak hızları sağlar.

5.1.5. Yüzey Gerilimi

Kaynak arkına ve dolayısıyla ark içerisindeki parçacıklara etkiyen birçok kuvvet vardır. Bu kuvvetler sonucunda ark yönlendirilir. Ergimiş metal ve çevresindeki atmosfer arasındaki yüzey geriliminin damla yapısı üzerinde önemli etkisi vardır. Eğer yüzey enerjisi yüksekse, damla konveks olacaktır.

Oksijen gibi reaktif gazların düşük miktarlarda eklenmesi, bu yüzey gerilimini düşürür ve akışkanlık sağlar. Ana malzemenin daha iyi ısınmasını sağlar ve kaynak metalinde aşırı oksidasyon oluşmaz.

5.1.6. Gaz Saflığı

Karbonlu çelikler ve Bakır gibi bazı metaller koruyucu gaz içindeki kirlenici gazlar için alüminyum ve magnezyum gibi kirliliğe oldukça duyarlı metallere göre yüksek toleranslara

sahiptir. Yine de Titanyum ve Zirkonyum gibi bazı metaller koruyucu gaz içindeki her yabancı bileşene karşı son derece hassastırlar.

Kaynak yapılan metale ve kullanılan kaynak yöntemine bağlı olan çok düşük miktardaki yabancı gazlar kaynak hızını, kaynak yüzeyinin görünüşünü, kaynak damlası katılaşmasını ve gözenek derecesini etkiler. Ve her zaman kullanılan koruyucu gazın kirlenme olasılığı vardır. Bu sebeple düzgün bir şekilde düzenlenmiş gaz boru sistemleri ve yüksek kalitede hortumlar aracılığıyla koruyucu gazların sevkedilerek kaynak yapılması gerekir (Larson, 1990).

5.1.7. Gaz Yoğunluğu

Gaz yoğunluğu, gazın birim hacimdeki ağırlığıdır. Yoğunluk koruyucu gaz etkileşimini etkileyen ana faktörlerden biridir. Temel olarak kaynak banyosunun yeterli miktarda korunması için argon ve karbondioksit gibi havadan ağır olan gazların, yanıcı gazlardan daha düşük akış hızlarında kullanılmalıdır.

5.1.8. Koruyucu Gaz Debisi

Nozula gönderilen koruyucu gaz miktarı kullanılan nozul çapı ve kaynak akım şiddetine göre belirlenir. Koruyucu gaz debisinin fazla düşük olması durumunda kaynak banyosuna hava gireceğinden gözenek meydana gelme olasılığı oluşacaktır. Koruyucu gaz debisinin fazla olması halinde ise, türbülans nedeniyle koruyucu gaz örtüsü bozulabileceğinden kaynak banyosuna giren havanın gözenek oluşturma riski yine olacaktır.

Uygulamada koruyucu gaz debisi aşağıdaki gibi alınabilir:

Düşük kaynak akımı şiddetlerinde (takribi 50-150 A) 12 litre/dakika.

Orta kaynak akımı şiddetlerinde (takribi 150-350 A) 15 litre/dakika.

Yüksek kaynak akımı şiddetlerinde (takribi 350 A'dan yukarı) 15 litre/dak. (Anık, 1986).

5.2. MIG/MAG Kaynağı'nda Kullanılan Koruyucu Gaz ve Gaz Karışımları

MIG/MAG için geliştirilmiş gaz karışımlarının çoğu özellikle karbonlu çeliklerde kullanılır. Kabaca bunlar dört kategoride incelenebilir: Saf gazlar, Argon-Oksijen karışımı, Argon-Karbon dioksit karışımları, Argon dışında yapılan üçlü kombinasyonlar, Helyum, Oksijen, Karbon dioksit, Hidrojen. Tablo 5.2.'deki koruyucu gaz seçimi metal transfer şekli, kalınlık ve malzeme tipine göre önerilmektedir.

Tablo 5.2. MIG/MAG kaynağı için önerilen koruyucu gaz seçimi

	Kalınlık mm	in.	Transfer şekli	Önerilen koruyucu gazlar	Avantajları ve Sınırlamaları
Karbonlu Çelikler	<2	<0,080	Kısa devre	Ar-25CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-8CO ₂	İyi penetrasyon ve kontrollü distorsiyon oluşumu, muhtemel yanma oluklarının azaltılması
	2, 0-3,2	0,08-0,125	Kısa devre	Ar-8CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-25CO ₂	Yanma oluğu oluşmaksızın yüksek ergime hızı, minimum çarpılma ve sıçrama, zor kaynak pozisyonlarında iyi bir kaynak banyosu birikimi
	>3,2	0,125	Kısa devre	Ar-15CO ₂ Ar-25CO ₂ CO ₂	Yüksek kaynak hızları, iyi penetrasyon ve kaynak banyosu kontrollü, zor kaynak pozisyonları için uygundur.
			Damlasal (Globular)	Ar-25CO ₂ CO ₂	Yüksek akımlarda ve yüksek ergitme hızlarında kaynak için uygun, derin penetrasyon ve kaynak ilerleme hızı, fakat çok büyük yanma oluğu potansiyeli
			Sprey ark	Ar-O ₂ Ar-2O ₂ Ar-5O ₂ Ar-8CO ₂ Ar-10CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ karışım	İyi ark stabilitesi, O ₂ arttırıldığında çok akışkan bir kaynak banyosu, çok iyi birleşme ve damla akışı
Darbeli Sprey ark	Ar-5CO ₂ Ar-He-CO ₂ karışım Ar-CO ₂ -O ₂ karışım	her kalınlıkta ve zor kaynak pozisyonlarında kullanılır; geniş bir ark karakteristiği ve bir nüfuziyet aralığında çok iyi darbeli sprej stabilitesi elde edilir.			
Alaşımli çelikler	Tüm boyutlar için		Kısa devre	Ar-8CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ karışım	Yüksek kaynak hızları; çok iyi penetrasyon ve kaynak banyosu kontrollü, zor pozisyonlardaki kaynaklar için uygundur.
			Sprey ark (yüksek akım yoğunluğu)	Ar-2O ₂ Ar-5O ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ karışım Ar-He-CO ₂ karışım	dikiş altı çatlakların azaltılması, yüksek kaynak banyosu birikme aralığı, penetrasyon derinliği artar ve iyi mekanik özellikler elde edilir.

			Darbeli Sprey ark	Ar-5CO ₂ Ar-8CO ₂ Ar-2O ₂	Düşük kalınlıklarda ve zor kaynak pozisyonlarında kullanılır, çok geniş bir ark karakteristiği ve bir nüfuziyet aralığında çok iyi darbeli sprej stabilitesi elde edilir
Paslanmaz çelik, Bakır, Nikel ve Bakır-Nikel alaşımları	Tüm boyutlar için	Kısa devre		Ar-He-CO ₂ karışım He-Ar-CO ₂ karışım Ar-O ₂ Ar-2O ₂	Helyumlu karışımlardaki düşük CO ₂ bazı aşamalarda tanelerarası korozyona neden olabilir, helyum iletme kabiliyetini artırır; bazı alaşımlarla CO ₂ %5 ten fazla kullanılırken dikkat edilmelidir; bütün kaynak pozisyonları için uygundur.
			Sprey ark	He-Ar-CO ₂ karışım Ar-O ₂ Ar-2O ₂	İyi bir ark stabilitesi; akışkan fakat kontrol edilebilir bir kaynak banyosu; çok iyi birleşme ve damla akışı; büyük kalınlıklarda azaltılmış dikişaltı çatlakları
			Sprey ark	He-Ar-CO ₂ karışım Ar-O ₂ Ar-2O ₂	Düşük kalınlıklarda ve zor kaynak pozisyonlarında kullanılır, çok geniş bir ark karakteristiği ve bir nüfuziyet aralığında çok iyi darbeli sprej stabilitesi elde edilir
Alüminyum, Titanyum ve diğer reaktif metaller	≤13	≤1/2	Sprey ark	Argon	Çok iyi metal transferi, ark stabilitesi ve temiz yüzey; çok az veya hiç sıçrama yoktur; ters kutuplama kullanıldığında oksitler kaynaktan atılır.
			Sprey ark	75He-25Ar 50He-50Ar	Yüksek ısı girişi; akışkan bir kaynak banyosu, düz bir kaynak akışı ve derin bir nüfuziyet elde edilir.
	>13	>1/2	Sprey ark	Helyum 75He-25Ar	Yüksek ısı girişi; tavan ve mekanik kaynak yöntemleri için uygundur; büyük kesitli kaynaklar için uygundur.
			Darbeli Sprey ark	Argon	İletme kabiliyeti ve kaynak banyosu kontrolü iyidir

5.2.1. Argon

Saf Argon genellikle alüminyum, nikel, bakır, magnezyum ve alaşımları gibi demir olmayan metaller ve titanyum gibi reaktif metallerin kaynağında kullanılır. Bu metaller birbirlerine kaynak edildiği zaman, argon kaynağa çok iyi ark stabilitesi, penetrasyon ve damla profili verir. Düşük iyonizasyon enerjisiyle kolay ark başlangıcı (ateşleme) sağlar. Argon, küçük bir alan üzerinde yüksek ark enerjisi nedeniyle parmak şeklinde bir penetrasyon sağlayan yüksek akım yoğunluğuna sahip sıkıştırılmış bir ark kolunu oluşturur. Düşük ısıl iletkenliği sayesinde sprej transferi oluşturur. Ayrıca malzeme distorsiyonlarının (çarpılmalarının) veya süreksizliklerin kontrolünde de kullanılır.

5.2.2. Karbondioksit

Karbondioksit reaktif bir gazdır ve genellikle yalnızca karbonlu çelikleri birleştirme işlemlerinde kullanılır. Çok kolay elde edilir ve diğer gazlara nazaran da ucuzdur.

Genellikle yapı çeliklerinin kaynağında kullanılır. Çok iyi nüfuziyet sağlar ve yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilir (Chiarelli at al.,1999).

Kaynak metali birikim verimi düşüktür çünkü karbondioksit sprey transfere izin vermez. Sıçrıntı miktarı ve duman oranları argon gazıyla yapılan kaynaktan daha yüksektir. Kaynak dikisi yüzeyi daha oksitli ve pürüzlü bir şekildedir. Karbondioksit yüksek iyonizasyon enerjisi ve yüksek ısılarda çok büyük ergime hızı ve nüfuziyet sağlar.

5.2.3. Helyum

Bir asal gaz atmosferi korumasında helyum yüksek ısı iletkenliğinden dolayı, ana malzemeye ek bir ısı sağlar. Helyumun iyonizasyon enerjisi (24,6eV) argonla (15,8eV) kıyaslandığında çok büyüktür. Bunun sonucu olarak helyumun yüksek bir ark sıcaklığı olduğu düşünülmektedir, fakat maalesef deneysel uygulamalarda görülmüştür ki helyumun kaynak arkında yüksek bir sıcaklık yoktur, varsa bile koruyucu gaz olarak kullanıldığı zamanlarda çok aşırı bir ergime etkisi açığa çıkarmamıştır (Eager, 1990).

Argonun aksine Helyum havadan hafiftir. Yüksek ısı iletkenliği ve yüksek iyonizasyon enerjisiyle ana malzeme yüzeyine daha fazla ısı transferinin yapılmasını sağlar böylece arkın nüfuziyet miktarını artırır. Pek çok uygulamada yüksek kaynak hızlarının kullanımını mümkün kılar

5.2.4. Argon-Oksijen

Argona küçük miktarlarda oksijen eklenmesi kaynak arkının büyük oranda stabilitesini artırır. Damla sayısını yükseltir. Sprey geçiş akımını düşürür ve damla şeklini etkiler. Kaynak banyosu çok akışkandır ve uzun süre eriyik halde durur ve kaynak sıvısının kenarlara doğru akmasını sağlar (Şekil 5.2.a) (EN 439, 1990).

En yaygın olarak argon içerisinde oksijen % 1, 2, 5 veya 8 oranında bulunur. Oksijen miktarının artması ark stabilitesini arttırır ve kaynak banyosunun akışkanlığının artmasıyla çok yüksek hızlarda kaynak yapabilmeyi mümkün kılar. Oksijen oranı artırıldığında özellikle %5'in üzerine çıktığında, alaşım elementi kaybı ve büyük oranda dikiş altı çatlak oluşma olasılığı artar. MIG/MAG yönteminde spreyc transfer damla geçişinde küçük miktardaki oksijen ilaveleri sıçrantsız kaynak yapılmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Karışıma oksijen eklendiğinde damlanın boyutu küçülür ve birim zamanda kopan damla miktarı artar.

5.2.5. Argon-Karbondioksit

Karbondioksit, argon koruyucu gaz karışımına ark stabilitesini arttırmak, penetrasyonu arttırmak, kaynak banyosunun akışkanlığını yükseltmek amacıyla eklenir. Özellikle karbonlu ve düşük alaşımli çelikler ve sınırlı miktarda paslanmaz çelikler için kullanılır. Argona karbondioksit eklenmesi, oksijen eklenmesiyle aynı etkileri verir, fakat karbondioksit miktarı artırıldığında oluşacak penetrasyon şeklinde bir artış olacaktır (Şekil 5.2.b). Sprey transferi için en yaygın karışımlar Argon içine % 5, 8, 10 veya % 13 ile 18 karbondioksit eklenmesiyle elde edilir. Karbondioksit oranının artmasıyla çok akışkan olan kaynak banyosu, yüksek kaynak hızlarına izin verir. Yüksek oranlarda karbondioksit içeren karışımlar (genellikle argon içinde % 20- 25 karbondioksit bulunur) kısa devre transferinde kullanılır.

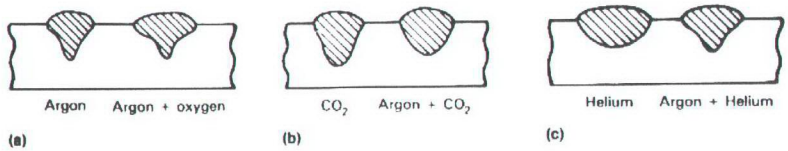
Karbondioksit yüksek ısı iletkenliği (içindeki elemanların disosasyon ve rekombinasyonundan dolayı) sayesinde ana malzemeye argonun taşıdığı ısı miktarından daha fazlasını transfer eder. CO₂ argonun sağladığı penetrasyona göre geniş bir penetrasyon alanı sağlar ancak ana malzemede distorsiyon ve süreksizlikler oluşma olasılığını arttırır (Cary, 1989).

5.2.6. Argon-Helyum

Her iki gazın da avantajlarından yararlanabilmek için argon sık sık helyum ile karıştırılır. Bu karışımlar genellikle demir dışı alüminyum, bakır ve nikel gibi metallerin kaynağında kullanılır. Helyum ana malzeme üzerine gönderilen ısıyı arttırır böylece yüksek ısı

iletkenliğe sahip kalın levhaların birleştirilmesinde kullanılır. Helyum oranı arttıkça ark voltajı, sıçrama miktarı ve kaynak genişliğinin nüfuziyete oranı artar (Şekil 5.2.c).

En sık kullanılan argon-helyum gaz karışımları içinde % 25-50 ve 75 helyum bulunanlardır. Helyumun en yüksek oranlardaki karışımı, kalın (50 mm veya 2 in.) plakalarda özellikle alüminyum ve bakır malzemelerin kaynağında kullanılır. Yüksek kaynak hızları helyum miktarının arttığı gaz karışımlarıyla elde edilir.



Şekil 5.2. Doğru Akım Elektrod Pozitif kutupta kullanılarak yapılan kaynaklarda kaynak profili üzerine koruyucu gaz karışımlarının etkileri a) Argon ve Argon-Oksijen karışımı b) Karbondioksit Argon-Karbondioksit karışımı c) Helyum Argon- Helyum karışımı

5.2.7. Argon-Oksijen-Karbondioksit

Üç gaz içeren bu gaz karışımı Kısa devre, damlasal ve sprej transfer şekillerinde kaynak yapabilmeyi mümkün kılmaktadır. Bu karışımları doğru kullanmak için üreticilerin tavsiyelerine uymak gerekir. Argon-Oksijen-Karbondioksit karışımları karbonlu ve alaşumlu çeliklerin kaynağında kullanılır.

5.2.8. Argon-Helyum-Karbondioksit

Islatma özelliği, kaynak banyosunun akışkanlığını arttıran argona helyum ve karbondioksit eklenerek ana metale verilen ısı arttırılır. Helyuma karbondioksit eklendiğinde, karbonlu ve düşük alaşumlu çeliklerin kaynağı da en az %40 daha iyi sprej transferi oluşur. Bunun yanında ana metal yüzeyinin kirlenmesinde biraz arttma görülür.

Helyum oranı %50, 60'ı geçtiğinde transfer şekli kısa devre ve damlasal transfer ile sınırlanır. İçinde düşük oranda Karbondioksit (\leq %5) bulunduran karışımlar korozyon direncinde bir kayıp olmaksızın paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır.

5.2.9. Argon-Karbondioksit-Hidrojen

Ostenitik paslanmaz çeliklerin sprej ve kısa devre transfer biçimlerinde kaynak edilmesi için elde edilmiş karışımdır. Hidrojenin eklenmesinden dolayı bu karışımlar karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılamazlar. Çok yüksek kaynak hızlarına çıksa bile, karbondioksit ve hidrojen ana metale ısı girişini artırır ve kaynak damlası şeklini iyileştirir (Lyttle, 1998).

Hidrojen, asal gazlara eklendiğinde ana metale taşınan ısı miktarının artmasına neden olmakta, bu nedenle de kesme veya oluk açma işlemlerinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Genellikle paslanmaz çeliklerin kaynağı ve plazma kesme gibi bazı özel uygulamalarda kullanılamazlar. Çünkü bazı malzemeler Hidrojen bazlı kombinasyonlara karşı hassastır (H_2 gevrekliği).

5.3. Özlü Elektrodlarla Kullanılan Koruyucu Gazlar

5.3.1.Karbondioksit

Genellikle büyük çaplı (1,6 mm veya 1/16 in.) tel elektrodların kullanıldığı kaynakta koruyucu gaz olarak karbondioksit kullanılır. Fakat bazen küçük çaplı elektrodlarla da %100 CO_2 kullanılabilir. Ark genellikle stabildir ve metal transfer şekli damlasal transferdir.

5.3.2. Argon-Karbondioksit

Küçük çaplı özlü elektrodlarla kaynakta ($\leq 1,6$ mm veya 1/16 in.) argon içinde %15 veya 50 CO_2 ile oluşturulan koruyucu gaz kullanılır. Bu karışımlar karbondioksit ile beraber zor kaynak pozisyonlarında çok iyi kaynak banyosu kontrolü sağlarlar. Bir özlü elektrodun çok iyi performans sağlaması için gaz karışımları önerileri elektrod üreticilerinin ürün listelerinden alınmalıdır.

BÖLÜM ALTI

GAZALTI KAYNAK ELEKTRODLARI

6.1. İçi Dolu (Masif) Tel Elektrod

6.1.2. İmalı

Ergiyen elektrodlu gazaltı kaynağında metal tel elektrodlar kullanılır. Sürekli elektrod diye tabir edilen bu elektrodlar, kural olarak kaynak yapılan metalle aynı tür veya benzer kimyasal bileşime sahip olup, soğuk çekme işlemiyle elde edilirler. Bu işlem için başlangıç ürünü, 5,5 ile 6,0 mm çapında sıcak haddelenmiş tellerdir.

Çekme işlemi başlamadan önce, sıcak haddelemeden kalan yüzey oksitlerinin temizlenmesi için bir dağlama veya mekanik temizleme işlemi uygulanır. İmalat işleminin akışı sırasında bir bakır kaplama yapılması gerekir. Bir kademede büyük bir kesit küçülmesi sağlamak mümkün olmadığından çekme işlemi çok kademeli olarak gerçekleştirilir. Bu sırada telin iç yapısında deformasyon sertleşmesi oluşur ve mukavemet artar, bu nedenle genellikle tele ara tavlama uygulanır. Ara tavlama 600 ile 650 ° C arasında bir rekristalizasyon tavidan oluşur. Bu işlem sırasında tellerin yüzeyinde yeniden oksit oluşumunu önlemek için tavlama işlemi fırında vakum ortamında veya koruyucu gaz altında yapılır.

Böylece yumuşayan teller son ölçülerine getirilmek amacıyla bir “bitirme çekmesi” işlemine tabi tutulur.

Son çekmeden önce tellerin bakır kaplanması gerekir. Bu işlem, elektrolitik yöntemle veya galvanik bakır kaplama yöntemiyle gerçekleştirilir. Her iki durumda da tel, bakır içeren bir banyoya, örneğin bir bakırvitriol/sülfirik asit çözeltisine daldırılır. Bu banyo içinde Bakır sülfat, yüzeyden demir atomlarını çözer, yerine çözüldüden bakır iyonları geçer.

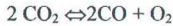
Elektrolitik bakır kaplamada, yüzey tabakasının kalınlığı uygulanan gerilimden etkilenirken, galvanik kaplamada bu kalınlığı, çözeltide tutma süresi belirler.

Her iki yöntemde de oluşan bakır tabakası pürüzlü ve gözeneklidir. Bu nedenle sonradan bir "bitirme çekmesi" ile pürüzsüzleştirilir ve daha yoğun hale getirilir.

Bakır tabakası, akım memesindeki geçiş direncini ve tel iletme mekanizmasındaki sürtünmeyi azaltır ve yeterli yoğunlukta ise, çelik teli atmosferik korozyona karşı korur.

Bitirme çekmesinden sonra teller ya doğrudan makaralara sarılır veya, daha sonradan makaralara sarılmak üzere yaklaşık 300kg'lık ara sarımlar haline getirilir.

Masif elektrodlarla kaynakta yüksek ark sıcaklığı nedeniyle karbondioksit



denklemindeki gibi karbonmonoksit ve oksijene ayrışır, yani oksitleyici bir etki vardır. Dolayısıyla bir yandan silisyum ve manganezin yanma kayıplarını karşılamak, diğer taraftan gözenek oluşumunu önlemek için, kaynak teli metaline yeterli miktarda Si ve Mn katılır.

Burada kaynağın iyi bir şekilde yapılabilmesi için masif elektrodların bazı özellikleri de göstermesi gerekmektedir.

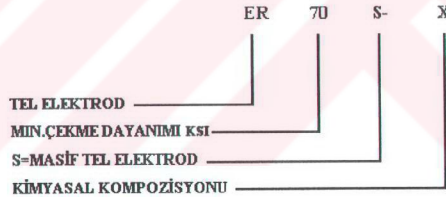
— Tel yuvarlak olmalı ve çapı belli toleranslar içinde bulunmalıdır, aksi halde dar toleranslarla işenmiş anod memesinden telin geçişinde zorluklar olabilir.

—Telin yüzeyi düz, temiz ve metal parlaklığında olmalıdır. Yüzeyinde oksit, yağ pas ve kir bulunmamalıdır.

—İyi bir elektrik akımı geçişi ve daha iyi bir korozyon direnci için gerekli olan bakır kaplama çok iyi yapılmış olmalıdır.

—Tel, makaraya özenle sarılmalı, mekanik hasarlardan ve bükülmelerden korunmalıdır.

Ark uzunluğuna ve damla geçiş şekline, kullanılan gazın saf CO₂ veya karışım gaz olmasına bağlı olarak elektrod bileşiminde bulunan silisyumun %60'a ve manganın %50'sine varan miktarları yanar. Mekanik özelliklerinin kontrolü bakımından Cu en fazla %0,3, Al≤%0,02 , V ≤ % 0,05, Zr + Ti ≤ % 0,15, Cr, Ni ve Mo ≤ % 0,15 olmalıdır. Kararlı bir ark ve düzgün kaynak görünüşü için elektrod çap toleransı tel çekme sırasında oluşan burulma ve helisleşme miktarları iyi kontrol edilmeli ve özellikle ince elektrodlar için (0,6-0,8 mm) tel sertliği yeterli olmalıdır. 0,8-1,2 mm arasındaki elektrodlar için çap toleransı 0,01-0,03 mm dir. 1,6-2,4 mm için 0,01- 0,05 mm'ye müsadde edilebilir.



Şekil 6.1. Masif tel elektrodların AWS'ye göre gösterilişi (AWS Committee on Structural Welding,1996)

Şekil 6.1.'de E simgesiyle tel elektrodun MIG/MAG kaynak yönteminde kullanıldığı, yanındaki R harfiyle de bu elektrodun aynı zamanda TIG kaynağında da kullanılabileceğini göstermektedir.

6.2. Elektrod Seçimi

Elektrod ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi, gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır.

Elektrod seçimini etkileyen en önemli faktör esas metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimidir. Esas metalin bu özellikleri bilinmediği zaman görünüşü, ağırlığı, magnetik özelliği ile kama testi, kırma ve kıvılcım testi gibi basit atölye testleri ile bu konuda bir fikir edinebilirse de, özellik gerektiren işlerde, kimyasal bileşimin muhakkak bir analiz ile saptanması gereklidir. Elektrod seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler gözönünde bulundurularak yapılır;

1. Esas metalin mekanik özellikleri : Bu kriter gere göre elektrod seçimi, genellikle esas metalin çekme ve akma mukavemeti gözönüne alınarak yapılır; bazı durumlarda, özellikle ferritik çeliklerin kaynağında malzemenin kırılma tokluğunun da (çentik darbe mukavemeti) gözönüne alınması gereklidir.

2. Esas metalin kimyasal bileşimi : Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, özellikle renk uyumunun, korozyon direncinin, sürtünme direncinin, elektiriksel ve ısı iletkenliğinin sözkonusu olduğu hallerde gereklidir. Bunun yanı sıra çelikler halinde, ısının tesiri altında kalan bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağına önceden belirlenmesi bakımından da esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir. Genel olarak sade karbonlu ve az alaşım ı çelikler halinde elektrod seçiminde, esas metalin kiyasal bileşimi en önemli faktördür.

3. Koruyucu gazın türü : Koruyucu gaz olarak asal gaz veya karışımlarının kullanılması halinde bir yanma kaybı sözkonusu değildir; buna karşın bir aktif gaz, örneğin karbondioksit veya aktif gaz + asal gaz karışımı kullanılması halinde birtakım yanma kayıpları ile karşılaşılır.

Aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynatılması halinde az miktar demir, oksijen tarafından oksitlenir ve ortaya çıkan demir oksit de bileşimindeki mangan ve silisyum tarafından redüklenir; buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrod tarafından karşılanmak zorundadır, bu nedenle çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için geliştirilen elektrodlar MAG yönteminde kullanılamaz.

4. Esas metalin kalınlığı ve geometrisi : Kaynakla birleştirilecek parçaların, kalın kesitli veya karışık kesitli olmaları halinde, çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir; bu durumlarda en iyi süneklığı sağlayan, en iyi kaynak metalini oluşturacak şekilde bir elektrod seçilmelidir (Tülbentçi, 1990).

Kaynaklı yapının aşırı düşük veya yüksek sıcaklıklarda, korozif ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu hallerde, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini yansıtmaması gerekmektedir. Ayrıca kaynak metalinin bazı ilave özelliklere sahip olması istenebilir ve bu husus da elektrod seçiminde çok önemli bir rol oynar.

6.3. Özlü Elektrodlar

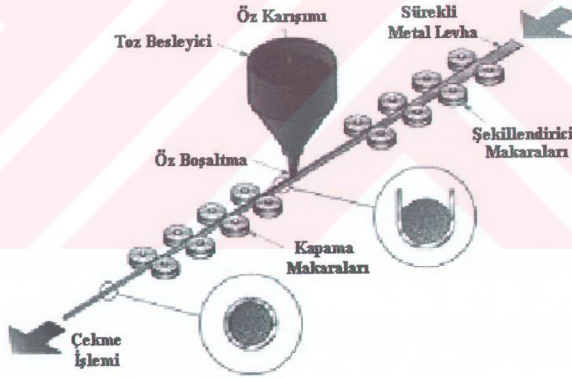
MIG/MAG kaynağında kaynak teli bileşimi esas metalin bileşimine uygun bir kaynak metali verecek şekilde ayarlanmıştır. Kaynak teli, koruyucu gaz olarak karışım gaz veya karbondioksit kullanılması halinde, ark bölgesinde karbondioksitin ayrışması sonucu ortaya çıkan oksijenin etkisini ortadan kaldırmak, kaynak banyosunu deokside etmek ve kaynak banyosundaki oksitlerin karbon tarafından redüklenmesini önlemek, esas metalden gelen kükürt ve fosforun olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için de bileşiminde birtakım alaşım elemanları içermek zorundadır.

Bu nedenlerden dolayı bazı metal ve alaşımların kaynağı için istem azlığı bu tellerin üretimini ekonomik kılmamaktadır. Bazı metal ve alaşımların ise sertlik ve gevreklikleri nedeniyle tel haline getirilmeleri teknolojik olarak mümkün değildir.

6.3.1. İmalî

Özlü tel elektrod ile kaynak yöntemi esas olarak normal masif elektrodla MIG/MAG kaynağında olduğu gibi dolu tel yerine içi öz diye adlandırılan ve örtülü elektrodların örtüsü görevini gören bir madde ile doldurulmuş boru şeklinde elektrod kullanılan bir MIG/MAG kaynak yöntemidir.

Özlü tel elektrodların üretiminde çelik şerit ilk aşamada haddelenerek bir U enkesatine sahip hale getirilir. Daha sonra içine mineral ve metalik öz doldurulur. Boylamasına eşit ölçülü bir dolgu sağlamak için bir dozaj cihazının kullanılması gerekir. Sonra U-enkesatine sahip şerit, kenetli borunun kapatılması için tekrar çekilerek kapatılır ve soğuk çekme veya haddeleme ile istenen son çapa getirilir.

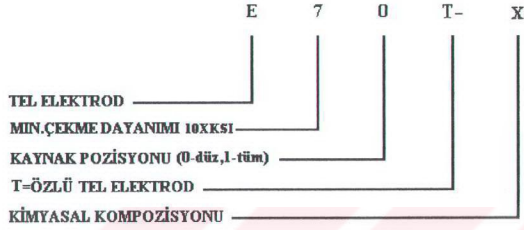


Şekil 6.2. Özlü tel imalatının akış şeması

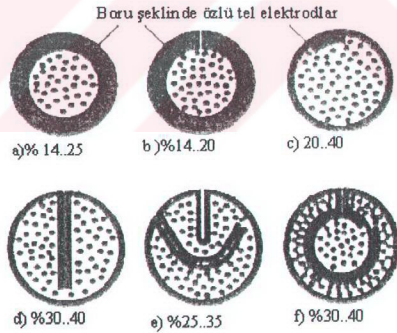
Bu elektrodların sağladıkları üstünlükler şunlardır:

— Yüksek bir ergime hızına sahiptirler, dolayısıyla daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler.

- İnce çaplı elektrodlar kullanılarak her pozisyonda kaynak yapılabilir.
- Bazı tür özlü elektrodalarda koruyucu gaz kullanımına gerek yoktur, bu da tesisatın basitleştirilmesine olanak sağlar.
- Örtülü elektrodların bütün avantajlarına sahiptirler. Buna karşın, koçan kaybı elektrod değiştirme zamanı kaybı gibi dezavantajları yoktur.



Şekil 6.3. AWS A.5.20.'ye göre özlü elektrodların gösterilişi (AWS Committee on Structural Welding,1996)

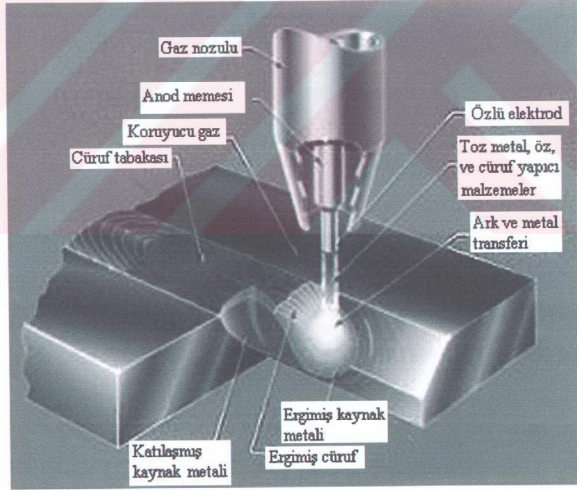


- a) kapalı (kaynak) boru b) Yank (aralıklı) boru
c) Bırdırme boru d, e) Kenetli özlü tel elektrodlar
f) Çift mantolu özlü tel elektrodlar

Şekil 6.4. Uygulamada özlü tel elektrod kesitleri (Alper Gülsöz, 2000)

Özli elektrod ile kaynak uygulamalarında, boru şeklinde eriyen elektrod ile iş parçası arasında oluşan ark, kaynak için gerekli ısıyı sağlar, iyonize olmuş gaz ortamını kateden elektrik akımı arkı oluşturur; Gerilim altında gaz molekülleri ayrışır ve atomlar elektron kaybederek iyonlaşır. Bu şekilde pozitif gaz iyonları, pozitif kutuptan eksi kutba elektronlarda negatif kutuptan pozitif kutba doğru hızla hareket eder. Ark ısısının % 95'i elektronlar %5' i iyonlar tarafından taşınır ve arkin sıcaklığı gerek elektrodun ve gerekse de iş parçasının erimesini sağlar.

Kaynak bölgesinde ergimiş metal ya dışarıdan uygulanan bir koruyucu gaz örtüsü, ya da özün dekompozisyonu sonucu ortaya çıkan bir koruyucu gaz atmosferi tarafından korunur; Görtüldüğü gibi burada öz, aynen örtülü elektrodteki örtünün görevini üstlenmektedir. Erimiş elektrod metali ark tarafından kaynak banyosuna taşınır ve katılaştıran banyo üzerinde de kolaylıkla temizlenebilen bir cüruf tabakası oluşur (Şekil 6.5) (Gürcan, 1985).



Şekil 6.5. Özli tel elektrod ile kaynakta ark bölgesi

Doğru akım kullanılan özlü elektrod uygulamalarında ters ve düz kutuplama yapılabilir. Koruyucu gazla beraber kullanılan türdeki elektrodlar genellikle ters kutuplama ile kullanılırlar, ters kutuplamada (elektrod pozitif kutupta) daha derin nüfuziyet elde edilmektedir.

Özlü elektrod ile kaynak donanımı prensip olarak bir MIG-MAG donanımdır. Özlü elektrodlar ile kaynakta koruyucu gazla kullanılması halinde asal, aktif veya karışım gazlar kullanılmaktadır.

Aktif koruyucu gaz olarak özlü elektrod ile kaynakta CO₂ kullanılır. Kaynak arkında 2 CO₂ ⇌ 2CO + O₂ şeklinde ayrışma gösterir ve oksitleyici bir karaktere sahip bu gazın etkisi, öze katılmış olan deoksidasyon elementlerince karşılanır ve oluşan oksitler banyonun yüzeyinde toplanarak cürufa katılır. CO₂ nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde, elektrodun kaynak banyosuna kaynak metali iletimi damlasal geçişle olur.

Argon+CO₂ karışımlarının kullanılması ile sıçrama minimuma iner ve elektrodların iş parçasına kaynak metali iletimi de daha ince damlalar halinde olur. Özlü elektrodlarda koruyucu gaz olarak % 75 Argon- %25 CO₂ karışımı da kullanılır. CO₂ ile kullanılmak üzere üretilmiş özlü tellerin bu tür karışım gazlar ile kullanılması halinde kaynak dikişi mangan, silisyum ve diğer deoksidasyon elementlerince zenginleşir ve bu da mekanik özellikleri etkiler. Argon oksijen karışımları kaynak metalinin arkta sprey şeklinde taşınmasını sağlar sıçrama en aza iner; bu karışım gazlar özellikle paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır.

Özlü elektrod ile kaynakta, elektrod seçiminde şu hususlar gözönünde bulundurulur:

- Esas metalin mekanik özellikleri,
- Esas metalin kimyasal bileşimi,
- Kaynak pozisyonu,
- Kaynak akımı,
- Kaynak ağız dizaynı,

—Parça kalınlığı ve geometrisi,

—Kullanma koşulları ve şartları,

—İmalat ve işletme şartları.

—Koruyucu gazın türü

Özden beklenen görevler şunlardır:

—Kaynak banyosunun kimyasal bileşimini ayarlayarak kaynağın mekanik, metalurjik ve korozyon özelliklerinin sağlanması,

—Kaynak banyosunu atmosferdeki azot, oksijen ve hidrojenle koruyarak sağlıklı bir kaynak metalinin oluşmasının sağlanması,

—Cüruf-Banyo reaksiyonları ile kaynak banyosundaki yabancı maddelerin en aza indirilmesi,

—Sıvı banyo üzerinde bir cüruf oluşturup soğumayı kontrol altında tutmak, çeşitli pozisyonlarda kaynak yapmaya olanak sağlamak ve kaynak dikişi yüzünün formunu kontrol altında tutmak,

—Arkın stabilizasyonunu sağlamak, sıçramayı azaltmak, erime hızını sabit tutmak (Engindeniz, 1995).

Bütün ergitme kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, özlü elektrodla ark kaynağında da kaynak ağızı hazırlanmak gereklidir. Bu yöntemde kaynak ağızı dizayn edilirken gözönünde bulundurulması gereken en önemli husus koruyucu gaz kullanılıp kullanılmayacağıdır. Koruyucu gaz kullanılması halinde daha iyi bir nüfuziyet elde edildiğinden, daha dar bir kök aralığı ve daha yüksek bir kök yüksekliği seçilir. Ağız açısı genelde örtülü elektrodla kaynaktakine göre daha dardır. Ağız dizaynında diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kaynatılan metalin türü, kalınlığı, birleştirmeden beklenen mukavemet, kaynak pozisyonu, dikişin bulunduğu yere erişilebilirlik gözönünde bulundurulmalıdır.

Uyulamada özlü tel elektrod ile kaynak yönteminin sağladığı avantajları şöyle sıralayabiliriz:

—Basit kaynak ağız hazırlığı gerektirir,

—Yüksek ergime hızına sahiptir, daha az paso ile kaynak yapma olanağı sağlar,

—Derin nüfuziyetli ve yüzey düzgünlüğü çok iyi kaynak dikişleri elde edilir,

—Özel öntemizleme işlemlerine gerek göstermeden, oksitli, paslı yüzeylerin dahi kaynak edilmesine olanak sağlar,

—Öz içine ilave edilen alaşım elementleri yardımı ile her malzeme için istenilen bileşimde kaynak metali verecek elektrod üretmek mümkündür; ayrıca teknolojik bakımdan tel halinde çekilemeyen alaşımlar içinde benzer şekilde elektrod üretmek mümkündür.

—Birçok alaşımli çeliği argon yerine karbondioksit kullanarak kaynatmak mümkündür,

—Elektirik enerjisi tüketimi diğer yöntemlere göre daha azdır,

—Doldurma işlemlerinde koruyucu gaz kullanmadan kaynak yapılarak doldurulan kısımlarda nitrürler oluşturup, aşınmaya daha dayanıklı dolgular elde edilir.

Öztlü tel elektrodlar ile kaynak yöntemi sahip olduğu üstünlükler ve sunduğu çeşitli kolaylıklar nedeniyle her geçen gün uygulama alanını genişletmektedir (Tülbentçi, 1990).

BÖLÜM YEDİ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

7.1.1. Ana Malzeme (İş Parçası)

Deneylerde kullanılan ana malzeme karbonlu çeliktir. Karbonlu çelikler birçok endüstri kolunda kullanılan malzemelerdir. Bunda, bu çeliklerin düşük maliyeti, yeterli mekanik özellikleri ve çeşitli şekillerde ve ebatlarda (plaka levha, tüp, boru vb.) kolayca bulunabilmesi çok önemli etkenlerdir.

Karbonlu çeliklerinin içerisinde yüksek miktarda demir olmakla beraber fiziksel özelliklerine etki eden küçük miktarda alaşım elementleri veya artık elementler (üretim yöntemlerinden gelen) bulunur. Fakat bu çelikler için asıl önemli olan içerdiği karbon miktarıdır. Çeliklerde karbon miktarı, çeliğin sertliğine, mukavemetine ve şekil değiştirme kabiliyetine etki eder (Bean, 1993)

Karbon oranı %0,22' den az olan çelikler kolay kaynak edilebilirler bu aynı zamanda kaynak edilebilirlik için sınır değeridir. Bu sınırlandırmanın nedeni Isı Tesiri Altındaki Bölgenin, yani kaynak banyosuna yakın bölgelerdeki malzemenin sertleşme eğilimidir. Bu bölgelerde soğuma hızı kritik bir değere ulaştığında malzeme kırılgan martenzite dönüşür. Dolayısıyla çeliğin karbon miktarı ne kadar yüksekse, oluşan martenzit yüzdesi o kadar fazla ve malzeme o kadar sert ve gevrek olur (Bargel, Schulze, 1993).

Çeliklerde Silisyum, mangan, fosfor ve kükürt kaynak kabiliyetini zorlaştıran, Bakır, Nikel, Krom ve Molibden ise kaynak kabiliyetini iyileştiren alaşım elementleridir (Rende, 1996).

Tablo 7.1. Ana malzemenin kimyasal bileşim oranları

Malzeme İçerisindeki % Miktarı					
C, max.	Si, max.	Mn,max.	P, max.	S, max.	V
0.1058	0.0968	0.5566	0.0168	0.0078	0.0317
Mo,Ni,Cr	Cu	Al	Fe		
0.0000	0,0232	0,0257	99,1141		

7.1.2.Kullanılan Elektrodlar

7.1.2.1. Masif elektrod (İçi dolu Tel)

SG 2 Gazaltı Kaynak elektrodu genel olarak yapı çeliklerinin kaynağında kullanılmaktadır. Bu nedenle özellikle kaynaklı imalat sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir. Genel kullanım alanını sıralayacak olursak:

- Çelik konstrüksiyon ve makina yapımında
- Gemi, kazan, tank ve boru kaynaklarında
- İnce taneli çeliklerin kaynağında,
- İnce sac, çelik mobilya, kaporta, egzost ve karoseri kaynaklarında kullanılır.

Elektrodun standart gösterilişi:

TS 5618 : SG 2

EN 440 : G3 Si 1

DIN 8559 : SG 2

AWS A 5.18 : ER 50 S-6

Elektrod çapı : Ø 1,0 mm

Kaynak Telinin bileşimi - C : 0,10 % Si:0,85 % Mn:1,45 %

Tablo 7.2. SG2 masif tel elektrodun mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti R_A (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti, R_m , N/mm ²	Çentik Darbe Enerjisi min. (ISO-V/-30 °C)	Uzama Miktarı, min., %
Min. 420	540-640	47J	22

7.1.2.2. Rutil Karakterli Özlü Tel

Makine, gemi ve konstrüksiyonların her pozisyondaki kaynakları için kullanılır, cürufu çabuk katılır. Yüksek mekanik özelliklere sahip, düzgün, çentiksiz ve röntgen emniyetli dikişler verir. Her pozisyonda yüksek akım şiddetinde çalışılabildiğinden ve erime gücü yüksek olduğundan büyük ekonomi sağlar. Korumucu gaz olarak CO₂ veya Ar/ CO₂ gaz karışımları kullanılır.

Elektrodun standart gösterilişi:

TS 5618 : SG R 1- C Y 42 43

DIN 8559 : SG R 1- C Y 42 43

AWS A 5.20 : E 71 T- 1

Elektrod çapı :Ø 1,6 mm

Kaynak Telinin bileşimi - C : 0,06 % Si:0,50 % Mn:1,30 %

Tablo 7.3. Rutil Karakterli Tel Elektrodun mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti R_A (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti, R_m , N/mm ²	Çentik Darbe Enerjisi (ISO-V/-30 °C)	Uzama Miktarı, min., %
Min. 420	520-600	min. 50J	min22

7.1.2.3. Bazik Karakterli Özlü Tel

Özellikle alaşımlı ve az alaşımlı yapı çelikleri ile ince taneli çeliklerin otomatik ve yarı otomatik kaynağında kullanılır. Sakin bir arkı, derin nüfuziyeti ve gözeneksiz dikişi vardır. Korumucu gaz olarak CO₂ veya Ar/ CO₂ gaz karışımları kullanılır.

Elektrodun standart gösteriliŖi:

TS 5618 : SG B 1 C Y 42 54

DIN 8559 : SG B 1 C Y 42 54

AWS A 5.20 : E 71 T-5

Elektrod apı : \varnothing 1,6 mm

Kaynak Telinin bileŖimi - C : 0,05 % Si: 0,55 % Mn: 1,35 %

Tablo 7.4. Bazik tel elektrodun mekanik özellikleri

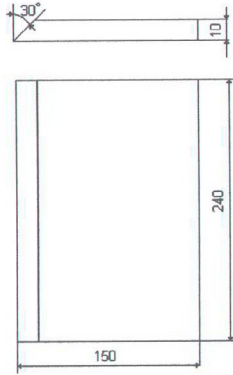
Akma Mukavemeti R_A (N/mm ²)	ekme Mukavemeti, R_m , N/mm ²	entik Darbe Enerjisi (ISO-V/-30 °C)	Uzama Miktarı, min., %
Min. 420	520-600	min. 50J	min24

7.2. Mekanik zelliklerin Belirlenmesi

Deney numunelerinin hazırlanabilmesi için öncelikle iŖ parçasından 34 adet 150X250 ebatlarında numuneler kesilerek 60° lik kaynak ağızı açılmıştır.

Daha sonra kaynak edilecek olan yukarıdaki ebatlarda iki adet numune karŖılıklı olarak kök aralığı 2 mm boŖluk kalacak Ŗekilde birleŖtirilmiŖ, numunelerdeki çarpılmaların (distorsiyonların) nlenmesi maksadıyla da konstrüktif nlem olarak numuneler kenarlarından birer parça ile kaynaklanarak sabitlenmiŖtir.

Kaynak banyosunun kaynak ağızını ergiterek aŖağı akmasını engellemek maksadıyla kaynak esnasında bakır altlık kullanılmıştır. Bakır altlık kaynak dikeŖlerindeki sarkmaları önlemenin yanısıra kaynak banyosundaki ısı transferini de sağlayarak çarpılmaları engeller.



Şekil 7.1. Kaynak edilecek iş parçası ve kaynak ağzının açılması

Kaynak yapmak için optimum kaynak parametrelerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmış ve buna göre tellere göre uygun kaynak akımı ve gerilimi, tel sürme hızı ve ilerleme (kaynak) hızları Tablo 7.5'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 7.5. Tellere göre her paso için uygun kaynak parametreleri

	Paso	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Gerilimi (V)	Kaynak Hızı (cm/sn)
Masif Tel	1. Paso	150	28	25
	2. Paso	175	28	25
	3. Paso	175	28	25
Bazik Özlü Tel	1. Paso	275	25	45
	2. Paso	300	25	45
	3. Paso	350	28	45
Rutil Özlü Tel	1. Paso	300	25	40
	2. Paso	300	25	40
	3. Paso	300	25	40

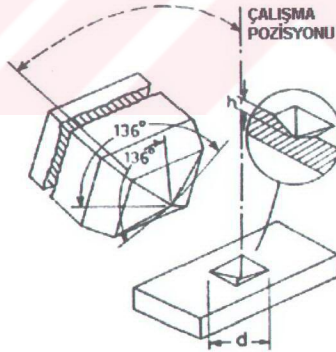
7.2.1. Uygulanan Test Yöntemleri

Bir malzemenin mekaniksel ve fiziksel özellikleri onun bir dizaynda uygulanabilirliğini belirlemektedir. Kaynaklı birleştirmelerin dizaynında temel sorun çeşitli yükler altında metalik malzemenin davranışının belirlenmesidir. Malzemenin bu özellikleri standartlaştırılmış test yöntemleri ve ekipmanları ile bulunur (Lincoln Electric Company, 1973).

7.2.1.1. Vickers Sertlik Deneyi

Sertlik bir maddenin bir başka cismin batırılmasına karşı gösterdiği dirençtir. Batırılan cismin (deney ucu) biçim ve sertliği ile uygulanan yükün tür ve büyüklüğü batma olayını etkilediğinden sertlik değeri verilirken kullanılan deneyin adının verilmesi zorunludur.

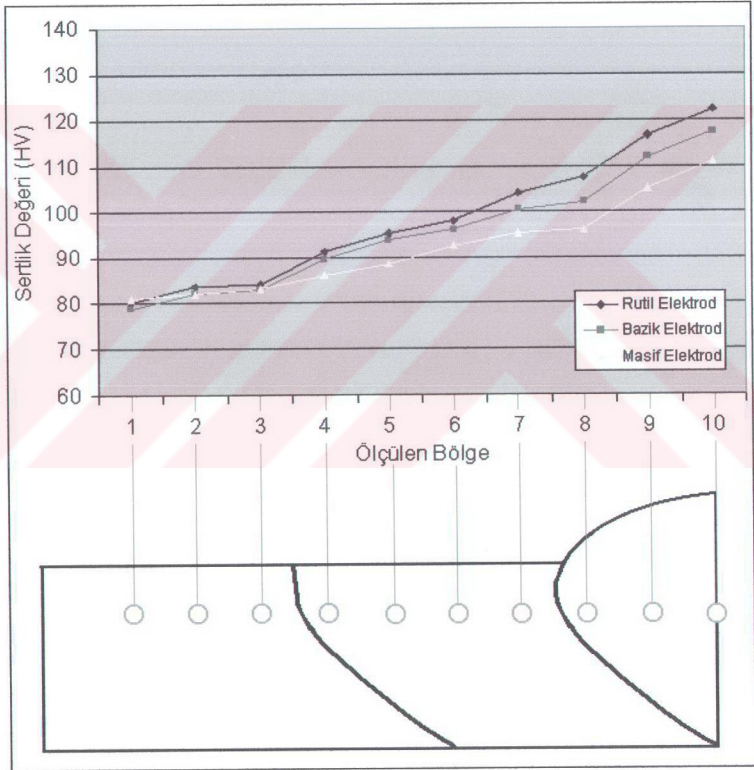
Kaynaklı birleştirmelerde, parçanın sertliğinde ısı etkisi nedeniyle Isı Tesiri Altındaki Bölgede (ITAB) bir değişim gözlenir. Bu sertlik değerlerindeki değişim çeşitli sertlik deneyleriyle tespit edilmektedir. Bizim kullandığımız sertlik deneyi Vickers sertlik yöntemidir.



Şekil 7.2. Vickers deney ucu ve açıları (Bushan at al., 1991)

Bu yöntemde Şekil 7.2'de gösterildiği gibi yüzleri arasında 136° lik bir açı bulunan kare tabanlı bir piramit uç kullanılır. Sertlik, mikroskoptaki iz köşegenlerin uzunluğunun

ölçülmesi ve bunların ortalamasının alınarak $HV=0,102 \frac{F}{d^2}$ bağıntısındaki yerine konulmasıyla hesaplanır. Bir mikrosertlik testinde 1 g ile 120 g arasındaki yükler uygulanır. Vickers sertlik deneyinin kullanım alanı çok geniştir; çok yumuşak ve çok sert malzemelerde olduğu gibi çok ince parçalar için de uygundur. 3 HV (kurşun) ile 1500 HV (sert metal) arasındaki sertlik değerleri elde edilebilir. Bu yöntemin kullanımının yaygınlaşmasındaki en önemli faktör küçük izlerde ve yüklerde bile kare köşegenin çok hassas olarak ölçülebilmesidir.

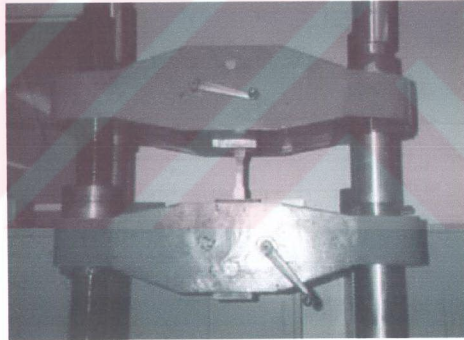


Şekil 7.3. Kaynaklı birleştirmenin ana malzemeden kaynak dikişi merkezine kadar olan sertlik değişimi

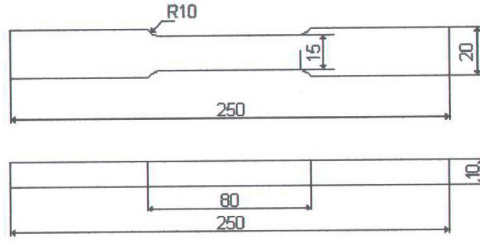
7.2.2.2. Çekme Deneyi

Çekme deneyinde deney sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için deney numuneleri standartlaştırılmıştır. Çekme deneyinde yükleme hızı belirli sınırlar içerisinde kalmalıdır. Çekme zorlamaları altında σ anma gerilmesinin ϵ birim uzama ile kopmaya kadar değişiminin oluşturduğu diyagrama gerilme şekil değiştirme diyagramı denir.

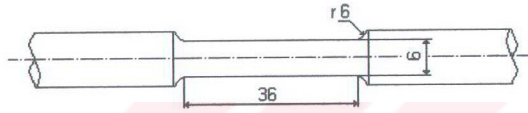
Çekme deneyi ile saptanan şekil değiştirme büyüklükleri ve mukavemet büyüklükleri tespit edilir. Bu şekil değiştirme büyüklükleri (kopmadaki uzama yüzdesi, üniform uzama yüzdesi ve kesit daralma yüzdesi) malzeme davranışının incelenmesinde çok önemlidir. Konstrüksiyonların boyutlandırılmasında yükleme sınırlarını belirleyen mukavemet büyüklüklerinden yararlanır. Bu mukavemet büyüklüklerinin en önemlileri plastik bölgede oluşan akma dayanımı ve gerilme şekil değiştirme diyagramında en yüksek gerilmeyi gösteren çekme dayanımıdır.



Şekil 7.4. Çekme deneyi cihazına numunenin yerleştirilmesi



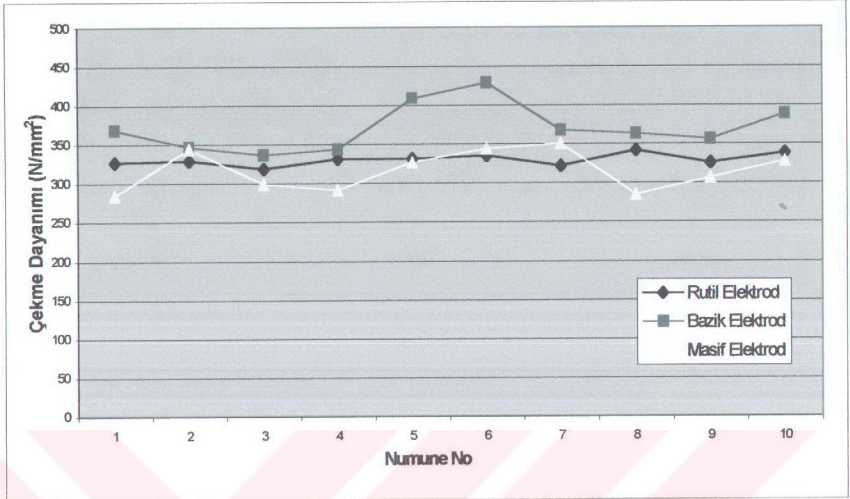
Şekil 7.5. Kaynaklı birleştirme çekme test numunesi



Şekil 7.6. Tüm kaynak metali çekme numunesi (AWS 4.8.3.6)

Tablo 7.6. Kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımı değerleri

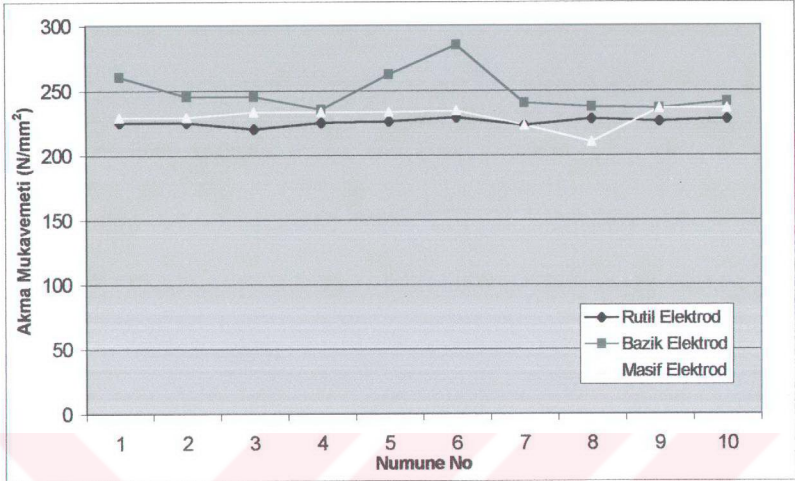
Numune No	Rutil Elektrod (N/mm ²)	Bazik Elektrod (N/mm ²)	Masif Elektrod (N/mm ²)	Kopma Bölgesi
1	327	368	284	Ana malzemede
2	329	346	344	Ana malzemede
3	319	336	299	Ana malzemede
4	331	343	291	Ana malzemede
5	331	409	327	Ana malzemede
6	335	429	344	Ana malzemede
7	370	367	350	Ana malzemede
8	342	363	285	Ana malzemede
9	326	356	307	Ana malzemede
10	338	388	328	Ana malzemede



Şekil 7.7.Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi sonucu elde edilen Çekme dayanımı diyagramı

Tablo 7.7.Kaynaklı birleştirmelerin Akma mukavemeti değerleri

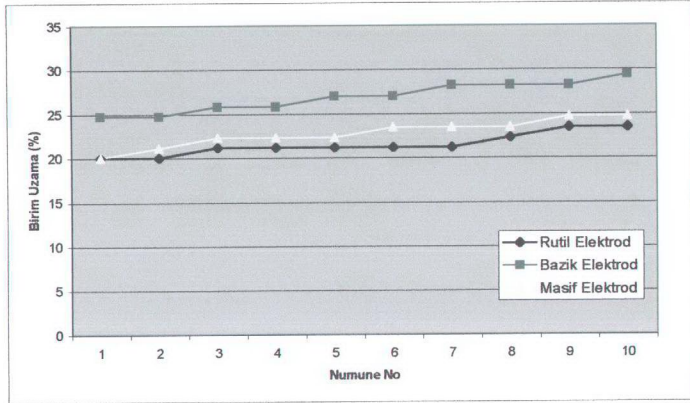
Numune no	Rutil Elektrod (N/mm ²)	Bazik Elektrod (N/mm ²)	Masif Elektrod (N/mm ²)
1	225	260	229
2	225	245	229
3	220	245	233
4	225	235	233
5	226	262	233
6	229	285	234
7	223	240	223
8	228	237	210
9	226	236	236
10	228	241	236



Şekil 7.8. Kaynaklı birleştirmeye ait Akma dayanımı diyagramı

Tablo 7.8. Kaynaklı birleştirmenin Kopma uzaması değerleri

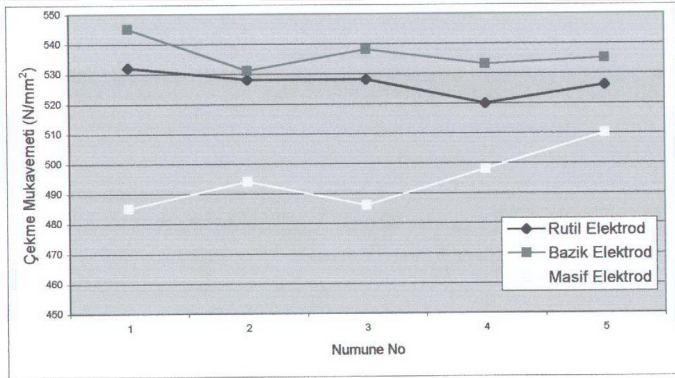
Numune no	Rutil Elektrod (%)	Bazik Elektrod (%)	Masif Elektrod (%)
1	20	24,7	20
2	21,1	24,7	20
3	22,3	25,8	21,2
4	22,3	25,8	21,2
5	22,3	27	21,2
6	23,5	27	21,2
7	23,5	28,2	21,2
8	23,5	28,2	22,3
9	24,7	28,2	23,5
10	24,7	29,4	23,5



Şekil 7.9. Kaynaklı birleştirmeye ait Kopma uzaması diyagramı

Tablo 7.9. Tüm kaynak metaline ait Çekme Dayanımı değerleri

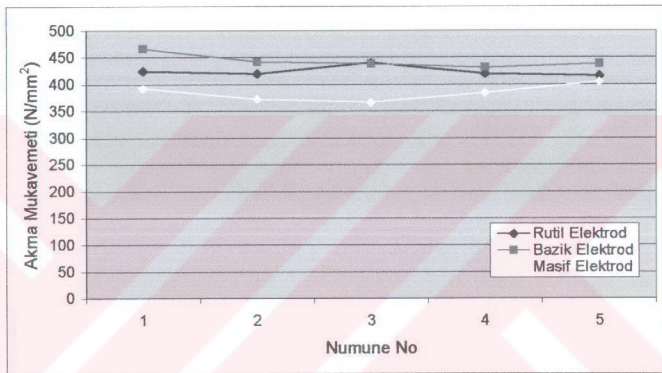
Numune No	Masif Elektrod (N/mm ²)	Rutil Elektrod (N/mm ²)	Bazik Elektrod (N/mm ²)	Kopma Bölgesi
1	485	532	545	Ana malzemede
2	494	528	531	Ana malzemede
3	486	528	538	Ana malzemede
4	498	520	533	Ana malzemede
5	510	526	535	Ana malzemede



Şekil 7.10. Tüm kaynak metaline ait Çekme dayanımı diyagramı

Tablo 7.10. Tüm kaynak metaline ait Akma mukavemeti değerleri

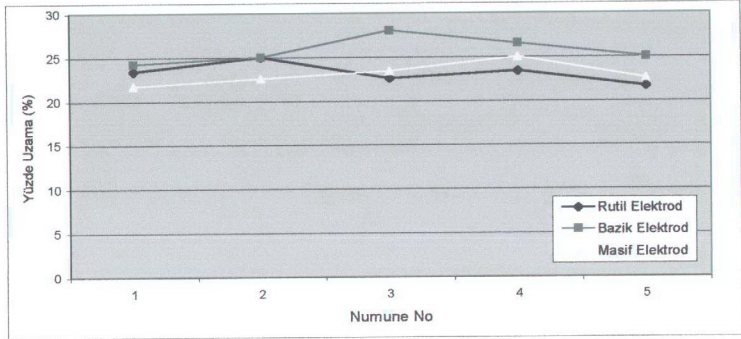
Numune No	Masif Elektrod (N/mm ²)	Rutil Elektrod (N/mm ²)	Bazik Elektrod (N/mm ²)
1	392	425	466
2	372	420	442
3	366	440	438
4	384	420	431
5	405	416	438



Şekil 7.11. Tüm kaynak metaline ait Akma mukavemeti diyagramı

Tablo 7.11. Tüm kaynak metaline ait Kopma uzaması değerleri

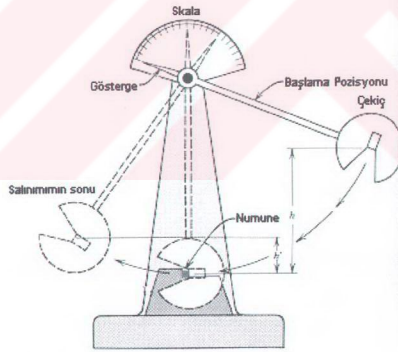
Numune No	Masif Elektrod (%)	Rutil Elektrod (%)	Bazik Elektrod (%)
1	21,73	23,4	24,22
2	22,58	25	25
3	23,4	22,58	28
4	25	23,4	26,5
5	22,58	21,7	25



Şekil 7.12. Tüm kaynak metaline ait Kopma uzaması diyagramı

7.2.2.3. Çentik Darbe Deneyi

Çentik darbe deneyi darbeli yükler altında bir malzemenin kırılması için gerekli enerji miktarının belirlenmesini bulmak için yapılır.

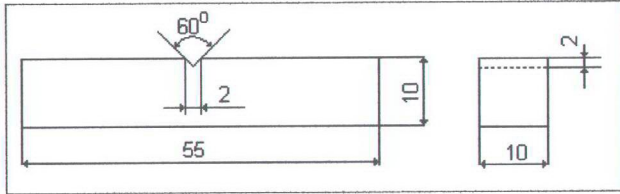


Şekil 7.13. Çentik darbe deneyi cihazının çalışma prensibi

(Louisiana Technic University, 1999)

Çentik darbe deneyi sarkaçlı vurma cihazında yapılır. Cihazın sarkaç çekici önceden belirlenmiş bir yükseklikten düşer ve en alt noktada arka yüzüne vurduğu çentikli deney numunesini kırmaya zorlar. Bu sırada vurma hızı 4 m/s ile 7 m/s arasında olmalıdır.

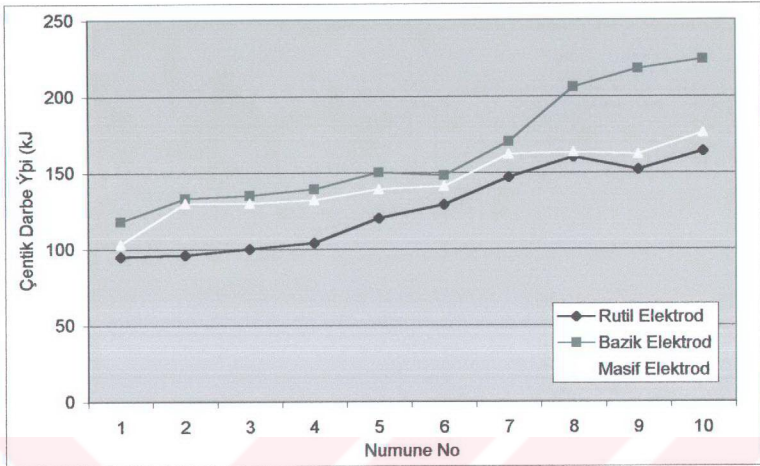
Bu yöntemle elde edilen çentik darbe işi, farklı iç yapılarıdaki birçok malzeme için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle çentik darbe işi bulunurken standartlara göre belirlenmiş sıcaklıklarda deney yapılır.



Şekil 7.14. Charpy çentik darbe numunesi

Tablo 7.12. Kaynaklı bağlantının Charpy çentik darbe deneyi sonuçları (ISO-V / 20 °C)

Numune	Masif Elektrod (kJ)	Rutil Elektrod (kJ)	Bazık Elektrod (kJ)
1	103	95	118
2	130	96	133
3	130	100	135
4	132	104	139
5	139	120	150
6	141	129	148
7	162	147	170
8	163	160	206
9	162	152	218
10	176	164	224



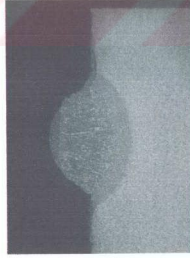
Şekil 7.15. Charpy çentik darbe işi diyagramı

7.3. Kaynak Parametrelerinin Kaynağa Etkileri

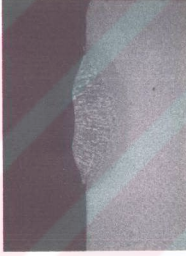
Kaynak parametrelerinin kaynak dikişinin formuna ve nüfuziyetine etkilerini araştırırken kaynak öncesi belirlenen parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler; elektrod olarak Türk Standartlarına ve Alman Standartlarına göre (TS 5618 ve DIN 8559'e göre) SG 2 olarak adlandırılan masif tel elektrod, koruyucu gaz olarak da CO₂, elektrod çapı 1 mm ve elektrodun bağlı olduğu kutup pozitif olarak belirlenmiştir.



a) 23 V (125 A)



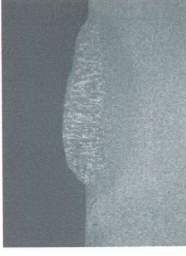
b) 26 V (130 A)



c) 27 V (130 A)



d) 30 V (135 A)

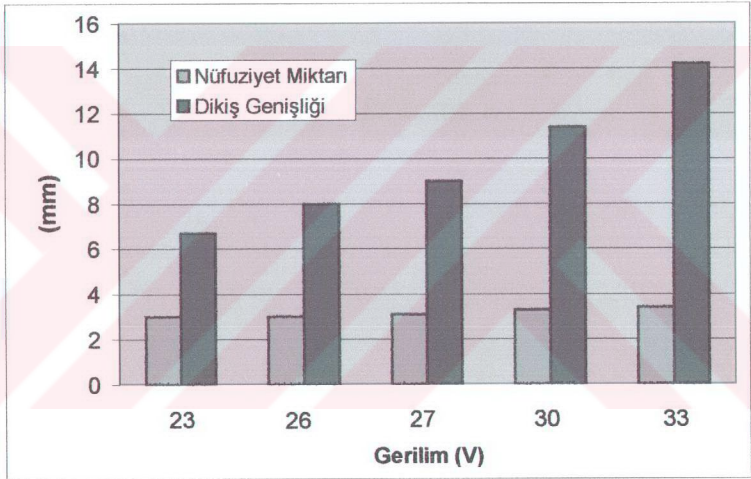


e) 33 V (160 A)

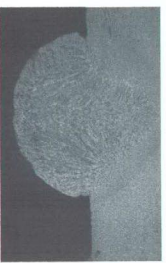
Şekil 7.16. Kaynakta gerilime bağlı olarak kaynak nüfuziyeti ve dikiş genişliğinin değişimi (Kullanılan akım $I = 140$ A, Kaynak hızı $= 7,5$ mm/s (45 cm/dak), tel çapı $= 1$ mm, koruyucu gaz CO_2 dir).

Tablo 7.13. Kaynak Gerilimine bağı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliği değerleri

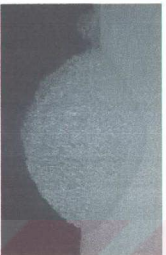
Numune No	Nüfuziyet Miktarı (mm)	Dikiş Genişliği (mm)	Kaynak Gerilimi (V)
1	3,0	6,7	23
2	3,0	8	26
3	3,1	9	27
4	3,3	11,4	30
5	3,4	14,2	33



Şekil 7.17. Kaynak gerilimi değışimine bağı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliğinin değışimi



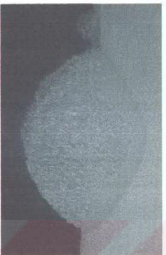
a) 145 A (9)



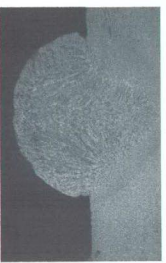
b) 180 A (12)



c) 200 A (14)



d) 220 A (16)

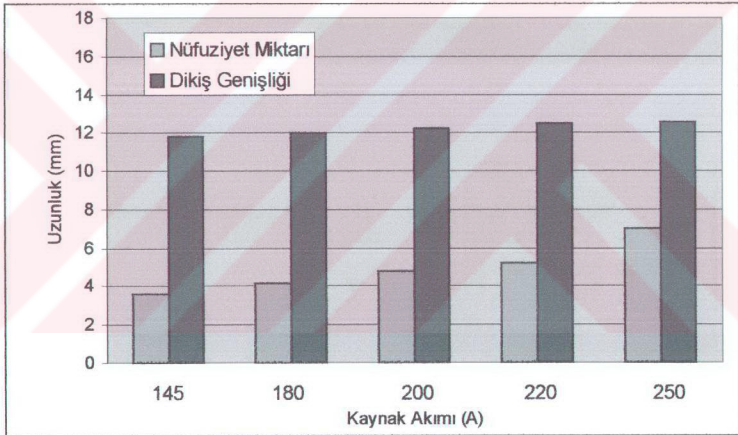


e) 250 A (20)

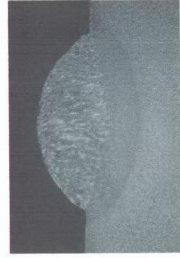
Şekil 7.18. Tel sürme hızı yani akım şiddetine bağlı olarak kaynakta nüfuziyet değişimi (Kaynakta kullanılan gerilim $U = 30$ V, Kaynak hızı 45 cm/dak, tel çapı 1 mm, koruyucu gaz CO_2 'dir)

Tablo 7.14. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliği değişimi değerleri

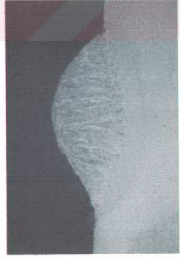
Numune No	Nüfuziyet Miktarı (mm)	Dikiş Genişliği (mm)	Kaynak Gerilimi (V)
1	3,6	11,8	145
2	4,2	12,0	180
3	4,6	12,2	200
4	5,2	12,5	220
5	7	12,6	250



Şekil 7.19. Kaynak akımı şiddetinin değişimine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliğinin değişimi



a) 4,2 mm/s (25 cm/dak)



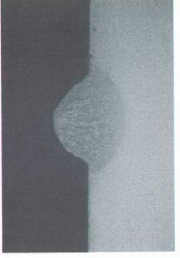
b) 5,8 mm/s (35 cm/dak)



c) 7,5 mm/s (45 cm/dak)



d) 9,1 mm/s (55 cm/dak)

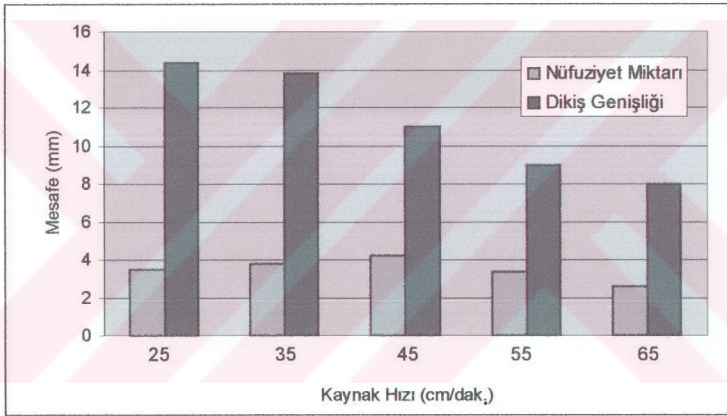


e) 10,8 mm/s (65 cm/dak)

Şekil 7.20. Kaynak hızına bağlı olarak nüfuziyetin değişimi (Kaynakta kullanılan gerilim $U = 30$ V, akım $I = 180$ A, Tel çapı $\phi = 1$ mm, koruyucu gaz CO_2 dir)

Tablo 7.15. Kaynak hızının değişimine göre nüfuziyet ve dikiş genişliği değerleri

Numune No	Nüfuziyet (mm)	Dikiş Genişliği (mm)	Kaynak Hızı (cm/dak)
1	3,5	14,4	25
2	3,8	13,8	35
3	4,2	11	45
4	3,4	9	55
5	2,6	8	65



Şekil 7.21. Kaynak hızının değişimine bağlı olarak nüfuziyet ve dikiş genişliğinin değişimi

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇ

8.1. Sonuç

Bu çalışmada gazaltı kaynak yönteminde kaynak parametrelerinin kaynak dikişi geometrisine etkileri ve masif ve özlü telle yapılmış gazaltı kaynak dikişleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Gerilim artırıldığında (diğer parametrelerin sabit olduğu kabul edilmiştir), ark boyu uzamakta, bunun sonucunda ark kesiti büyüyeceğinden birim alana düşen enerji yoğunluğu azalmaktadır, ancak $E = \frac{U}{l}$ ve $F=q.E$ 'den elektronların kinetik enerjileri artacaktır. Dolayısıyla bu iki durum birbirini yaklaşık olarak dengelediğinden nüfuziyet nüfuziyet çok az miktarda değişmektedir.
- Akım artırıldığında (diğer parametreler sabit tutularak), elektron adedi artmakta ve bu nedenle kaynaktaki nüfuziyet miktarı artmaktadır, fakat dikiş genişliği değişmemektedir.
- Gerilim artırıldığında, akımın tam sabit kalmadığı yani akımın çok az miktarlardaki değişimi nedeniyle nüfuziyet miktarında da çok az bir değişim olmaktadır. Aynı şekilde akım artırıldığında da dikiş genişliğindeki çok az miktardaki değişimde gerilim etkisi nedeniyle olmaktadır.
- Yüksek veya düşük kaynak hızlarında nüfuziyet azalmakta yalnızca optimum bir hızda nüfuziyet maksimum olmaktadır. Kaynak hızı düşük olduğu zaman, birim zamanda

birim boya yığılan kaynak metalî miktarı artmakta ve kaynak banyosu büyümektedir. Bu kaynak banyosu çok akışkan halde olduğundan arkın önüne doğru akmakta ve bu da nüfuziyetin azalmasına, kaynak dikişinin genişlemesine neden olmaktadır. Kaynak hızının artması ise birim boya verilen ısının azalmasına ve dolayısıyla esas metalin ergime miktarının azalmasına neden olmakta, bu da nüfuziyetin ve dikiş genişliğini azaltmaktadır.

- Özlü tellerle yapılmış hem kaynaklı bağlantıdan ve hem de tüm kaynak metalinden elde edilen numunelerin mekanik özellikleri masif telle elde edilen mekanik özelliklere nazaran çok daha iyidir. Özlü teller arasında ise mekanik özellikleri en iyi olan bazik özlü teldir.
- Sertlik taraması sonuçlarında en düşük sertlik değerlerinin masif telde, en yüksek sertlik değerlerinin de rutil özlü telde olduğu görülmüştür. Fakat masif tel düşük sertliği nedeniyle rutil özlü tele nazaran daha yüksek çentik darbe dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Bazik özlü tel yüksek mukavemet değerleri ve orta sertlik değerleriyle en yüksek çentik darbe dayanımına sahiptir.
- Özlü teller, kaynakta kullanılan yüksek akım yoğunluğu nedeniyle yüksek ergime hızına sahiptir. Bu da hem yüksek kaynak hızlarıyla kaynak yapabilmeye ve hem de daha az pasoda kaynak yapabilmeye olanak sağlamaktadır.
- Özlü tel elektrodlarla daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. Bunun nedeni ise özlü tel elektrodların arkının daha stabil olması yani sıçrama miktarının çok düşük olmasıdır. Bu aynı zamanda verimin masif elektroda göre daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Anık, S., Adsan, K., Macun, A., Tümer, T.,& Gürcan, M. (1980) Gazaltı Kaynak Teknikleri Seminer Notları. İstanbul
- Anık, S., Dikicioğlu, A.,& Vural, M.(1984). Koruyucu Gaz Altında Kaynak ve Alüminyumun MIG Kaynağı, Kaynak Tekniği Derneği Yayını
- Anık, S. (1986). Gazaltı Kaynak Teknikleri. SEGEM Yayınları
- ANIK, S., (1982). Kaynak Tekniği Cilt 2. İstanbul. İTÜ Yayınları.
- ANIK, S.,& VURAL, M. (1997). Gazaltı Ark Kaynağı. İstanbul. Gedik Yayınları.
- AWS Committee on Structural Welding. (1996). Structural Welding Code-Steel, Florida.
- Bean, H.S. (1993).General Properties of Materials. United States Carnegie Mellon University.
- Bergel, H-J.,&Schulze, G. (1993). Malzeme Bilgisi (Güleç, Ş.,&Aran, A.).İstanbul. İTÜ Yayınları
- Bushan, Bharat.,& B.K. Gupta.(1991). Handbook of Tribology. New York.McGraw Hill Inc.
- Cary, H. B.(1998). Modern Welding Technology 4 th. Ed. Prentice-Hall
- Cary, H. B. (1989). Modern Welding Technology 2th Ed. Prentice-Hall,

- Chiarelli M., Lanciotti A.,& Sacchi, M. (1999). Fatigue resistance of MAG Welded steel elements Dept. of Aerospace Eng., University of Pisa, Italy
- Doschu, K. E. (Şubat, 1968). Control of Cooling Rates in Steel Weld Metal. Welding Journal. P495.
- North, T.H. (1990). Advanced Joining Technologies. Eager, T. W. The physics of arc welding processes, Massachusetts Institute of Technology
- Engindeniz, E. (1995). Gazaltı Özlü Telleri İle Mag-Orbital Kaynağı Seminer Notları
- Eryürek, B. (1998). Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı. İstanbul. Askaynak Yayınları.
- European Standart (EN 439). (1990). Gases for Gas Shielded Arc Welding and Cutting'.
- Gourd, L., M. (1996). Kaynak Teknolojisinin Esasları, (Eryürek, B., Bodur, O.,& Dikicioğlu, A.). İstanbul. Birsen Yayınevi.
- Gülsöz, A., (2000). Özlü tel elektrodların önemi ve kaynak özellikleri, Mühendis ve Makina, No:488. p:35-40.
- Gürcan, M., (1985). Gazaltı Kaynak Teknikleri Seminer Notları, SEGEM. Ankara
- Jackson, C. E. (May, 1960). The Science of arc Welding, Part II, Welding journal. p177
- Karadeniz, S. (1985). Kaynak Makinaları. Ankara. SEGEM Yayınları
- Karadeniz, S. (1990).Plazma Tekniği.Ankara. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları
- Karadeniz, S.,&Günay, H. (Eylül 2000). Kaynak Makinalarındaki Son Gelişmeler Ve Kaynak Kalitesine Etkileri. Mühendis ve Makina-448. p:31
- Karadeniz, S. (2000). Kaynak Makinaları, İzmir. DEU Yayınları.

Karadeniz, S. (2000). Kaynak Yöntemleri: Ergitme Kaynağı, İZMİR, DEU Yayınları

Karadeniz, s. 16.mayıs 2001. (Personal interview).

Komaç, E. (1995). Gaz Metal Ark Kaynağı. Mühendis ve Makina-Kaynak Özel Sayısı-2. Sayı 428,

Lancaster, J. F. (1984). The Physics of Welding, International Institute of Welding. Elmsford, N.Y. Pergamon Press

Louisiana Technic University. (1999). Mechanical Engineering Engineering Materials Laboratory Course Paper. California.

Rende, H. (1996). Makine Elemanları Cilt 1. Seç Yayın ve Dağıtım, İstanbul.

Lyttle, K. A. (2000). Shielding Gasses. Praxair İnc

The Lincoln Electric Company (1973). The Procedure Handbook Of Arc Welding Twelfth Edition. Ohio.

TusÆek, J.,& Suban, M. (2000). Experimental Research of The Effect of Hydrogen in Argon Gas a Shielding Gas in Arc Welding of High-Alloy Stainless Steel, International Journal Of Hydrogen. Welding Institute of Ljubljana, Slovenia

Tülbentçi, K. (1998). Gazaltı Kaynak Yöntemi. İstanbul. Arctech

Tülbentçi, K. (1990). Mıg-Mag Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı. İstanbul. Gedik Holding Yayınları

U.S. Army Ordnance Center and School(1995) Operator's Circular for welding Theory and Application, U.S. Abardeen Government Printing