

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAG KAYNAĞINDA ELEKTROD TİPİNİN
(ÇIPLAK TEL – ÖZLÜ TEL) KAYNAK DİKİŞİ
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Muhammet GÜNER

**F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. MAG KAYNAK YÖNTEMİ	3
2.1 MAG Kaynağının Esası.....	3
2.2 MAG Kaynak Donanımı.....	7
2.2.1 Kaynak Torçları	8
2.2.2 Torç Bağlantı Paketi	12
2.2.3 Tel Sürme Tertibatı.....	13
2.2.4 Kontrol Ünitesi	16
2.2.5 Koruyucu Gaz Sağlama Sistemleri.....	16
2.2.6 Sulu Soğutma Sistemleri	19
2.2.7 MIG-MAG Kaynağı Akım Üreteçleri	19
2.2.7.1 Motor Generatör Tipi Akım Üreteçleri.....	22
2.2.7.2 Redresör Türü Akım Üreteçleri	23
2.2.7.3 Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri	23
2.2.7.4 İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri	24
3. ARK TÜRLERİ VE ARKTA KAYNAK METALİ TAŞINIMI	27
3.1 MAG Kaynağında Damla Transferinin Gerçekleşmesi.....	27
3.1.1 Kısa Ark (Kısa Devreli Metal Taşınımı)	29
3.1.2 Uzun Ark (Damlasal metal taşınımı).....	30

3.1.3	Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı).....	31
3.1.4	Darbeli Sprey Ark ile Metal Taşınımı	32
3.2	Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi	34
4.	KORUYUCU GAZLAR	35
4.1	Koruyucu Gazların Fonksiyonları	35
4.2	Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri.....	37
4.2.1	İyonizasyon Potansiyeli	37
4.2.2	Termal İletkenlik	37
4.2.3	Gaz Yoğunluğu.....	37
4.2.4	Safılık ve Çiğ Noktası.....	37
4.3	MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar	40
4.3.1	Karbondiyoksit (CO ₂).....	40
4.3.2	Karışım Gazlar.....	43
5.	ELEKTRODLAR	47
5.1	MIG - MAG Kaynak Yönteminde Elektrod Seçimi.....	47
5.2	Kaynak Teli İçeriğindeki Alaşım Elementleri.....	50
5.2.1	Karbon	50
5.2.2	Silisyum	50
5.2.3	Mangan	51
5.2.4	Alüminyum, Titanyum, Zirkonyum	51
5.2.5	Diğer Alaşım Elementleri	51
5.3	Çıplak Tel (Dolu Tel) Elektrodlar	52
5.4	Özlu Tel Elektrodlar	54
5.5	MAG Kaynağında Kullanılan Özlu Tel ile Çıplak Telin Karşılaştırılması	61
5.6	Çıplak Tel ve Özlu Tel Elektrodların Sınıflandırılması	61
6.	KAYNAK PARAMETRELERİ.....	64
6.1	Kaynak Öncesi Belirlenen Parametreler.....	65

6.1.1	Elektrod Çapı.....	65
6.1.2	Koruyucu Gaz Türü.....	66
6.1.3	Kutuplama.....	68
6.2	Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler	69
6.2.1	Kaynak Akım Şiddeti	69
6.2.2	Kaynak Gerilimi (Ark boyu)	69
6.2.3	Kaynak Hızı.....	70
6.3	İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler.....	71
6.3.1	Serbest Tel Uzunluğu	71
6.3.2	Torç Açısı	72
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	74
7.1	Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	74
7.1.1	Ana Metal	74
7.1.2	Kullanılan Elektrodlar	74
7.1.3	Koruyucu Gaz.....	75
7.1.4	Kaynak Makinesi.....	75
7.2	Uygulanan Deneyler	76
7.2.1	Çekme Deneyi	76
7.2.2	Sertlik Deneyi	80
7.2.3.	Makroskopik İnceleme	82
8.	SONUÇLAR.....	89
	KAYNAKLAR.....	91
	ÖZGEÇMİŞ.....	93

SİMGE LİSTESİ

Ar	Argon
b	Dikiş genişliği
CO ₂	Karbondiyoksit
E _N	Net birim dikiş enerjisi
h	Dikiş yüksekliği
I	Kaynak akımı
t	Nüfuziyet
U	Kaynak gerilimi
η	İzafi ısı tesir derecesi

KISALTMA LİSTESİ

AWS	American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneđi)
DAEN	Doğru Akım Elektrod Negatif Kutuplama (Düz Kutuplama)
DAEP	Doğru Akım Elektrod Pozitif Kutuplama (Ters Kutuplama)
EN	Avrupa Normları
GMAW	Gas Metal Arc Welding
ITAB	Isının Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Yığılan kaynak metali göz önüne alınarak ergitme kaynak yöntemlerinin yıllara göre dağılımı.....	2
Şekil 2.1	MAG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	3
Şekil 2.2	MIG-MAG kaynağı donanım blok şeması	8
Şekil 2.3	Hava soğutmalı kuğu boynu tür bir torç kesiti ve torç bağlantı paketi.....	9
Şekil 2.4	Makine tipi kaynak torçu	10
Şekil 2.5	Çeşitli MIG-MAG torçları.....	11
Şekil 2.6	İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması	15
Şekil 2.7	Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması	15
Şekil 2.8	Basınç düşürme manometresi	18
Şekil 2.9	Bilyalı debimetre takılı manometre	18
Şekil 2.10	Kaynak akım üreteçlerinde volt-amper karakteristikleri	20
Şekil 2.11	Sabit gerilimli akım üreticinde ark boyunun kaynak süresince sabit kalması	21
Şekil 2.12	MIG-MAG kaynak yöntemi için motor-generatör akım üretici	22
Şekil 2.13	MIG-MAG kaynağında darbeli akım değişimi.....	24
Şekil 2.14	İnverter türü akım üreteçlerinin prensip şeması	25
Şekil 3.1	Elektrodun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri	28
Şekil 3.2	GMAW’de metal transfer modları.....	29
Şekil 3.3	Uzun ark ile MIG-MAG kaynağında damla geçişi.....	31
Şekil 3.4	Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi.....	32
Şekil 3.5	Darbe frekansının dikiş profiline etkisi	33
Şekil 4.1	Koruyucu gazın saflaştırılmasının çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi	39
Şekil 4.2	CO ₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar	42
Şekil 4.3	CO ₂ ve Ar/ CO ₂ /O ₂ ile yapılan kaynak dikişlerinin karşılaştırılması	45
Şekil 5.1	MIG-MAG kaynağında kullanılan tel elektrodlarda cast ve helix	50
Şekil 5.2	Özgül tel elektrod ile kaynakta ark bölgesi	54

Şekil 5.3	Özlu tel üretimi.....	56
Şekil 5.4	Özlu elektrolarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri.....	57
Şekil 6.1	Gazaltı kaynağında kullanılan terimlerin açıklanması	65
Şekil 6.2	Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve elektrod çapı arasındaki ilişki	66
Şekil 6.3	Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikiş profilinin şematik olarak gösterilişi.....	67
Şekil 6.4	MIG-MAG Kaynağında kutuplamanın etkisi.....	68
Şekil 6.5	Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi.....	71
Şekil 6.6	Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi.....	71
Şekil 6.7	Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrod açıları.....	72
Şekil 6.8	Elektrod açısının ve kaynak tekniğinin etkileri	73
Şekil 7.1	Oerlikon GKS 500 kaynak makinesi	75
Şekil 7.2	Çekme çubuğu numunesi.....	77
Şekil 7.3	Çekme cihazı	78
Şekil 7.4	Çekme dayanımı grafiği	79
Şekil 7.5	Akma dayanımı grafiği	79
Şekil 7.6	% Uzama miktarı grafiği	80
Şekil 7.7	Sertlik ölçülen bölgeler ve sertlik dağılımı.....	81
Şekil 7.8	Kaynak dikiş geometrisi	82
Şekil 7.9	Tek paso ile kaynak edilen numunenin ölçüleri	83
Şekil 7.10	Kaynak gerilimine bağlı olarak nüfuziyetin değişimi	84
Şekil 7.11	Kaynak akımına bağlı olarak nüfuziyetin değişimi	85
Şekil 7.12	Serbest tel uzunluğuna bağlı olarak nüfuziyetin değişimi	86
Şekil 7.13	Kaynak gerilimine bağlı olarak nüfuziyetin değişim grafiği	87
Şekil 7.14	Kaynak akımına bağlı olarak nüfuziyetin değişim grafiği	88
Şekil 7.15	Serbest tel uzunluğuna bağlı olarak nüfuziyetin değişim grafiği	88

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Yığılan kaynak metali göz önüne alınarak ergitme kaynak yöntemlerinin kullanım yüzdeleri	2
Çizelge 3.1	MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları	34
Çizelge 4.1	EN 439'a göre ark kaynak ve kesme yöntemlerinde kullanılan gazların bileşimleri ve işaretlenmeleri.....	36
Çizelge 4.2	Çeşitli gazlara ait saflık ve çığ noktası değerleri	38
Çizelge 4.3	MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar.....	40
Çizelge 5.1	MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler	58
Çizelge 5.2	EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri	59
Çizelge 7.1	Ana metalin kimyasal bileşimi.....	74
Çizelge 7.2	Çıplak tel elektrodun kimyasal bileşimi	74
Çizelge 7.3	Rutil karakterli özlü tel elektrodun kimyasal bileşimi.....	75
Çizelge 7.4	Oerlikon GKS 500 kaynak makinesi teknik özellikleri	76
Çizelge 7.5	Kaynak parametreleri.....	77
Çizelge 7.6	Ana metalden yapılmış numunenin çekme deneyi sonuçları.....	78
Çizelge 7.7	Çıplak tel elektrod ile kaynak edilmiş numunelerin çekme deneyi sonuçları ..	78
Çizelge 7.8	Özlü tel elektrod ile kaynak edilmiş numunelerin çekme deneyi sonuçları	79
Çizelge 7.9	Kaynak parametre değerleri.....	83
Çizelge 7.10	Kaynak gerilimine bağlı olarak nüfuziyetin değişimi.....	87
Çizelge 7.11	Kaynak akımına bağlı olarak nüfuziyetin değişimi	87
Çizelge 7.12	Serbest tel uzunluğuna bağlı olarak nüfuziyetin değişimi	88

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında destek olan, yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI'ya, deneysel çalışmamın yürütülmesinde her türlü desteğini gördüğüm ağabeyim Necmettin GÜNER'e, Asım TÜRKMEN'e, kaynaklı birleştirmelerin hazırlanması için gerekli teçhizatın temininde yardımlarından dolayı Mert Akışkan Gücü San. ve Tic. A.Ş'ne, numunelerin işlenerek testlere hazır hale getirilmesinde yardımcı olan Otoman Makine San. ve Tic. Ltd. Şti'ne ve öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi her türlü destek olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

MAG kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle endüstrideki kullanım oranını giderek arttırmaktadır. MAG kaynağındaki en önemli noktalardan bir tanesi tel elektrod seçimidir. Bu yöntemde tel elektrod ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi, gerekli mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır.

Bu çalışmada, MAG kaynağında elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneylerde ana metal olarak St 37 düşük karbonlu yapı çeliği, koruyucu gaz olarak %76 Ar + %20 CO₂ + %4 O₂ bileşimindeki karışım gazı, ilave metal olarak ise çıplak (dolu) tel elektrod ile rutil karakterli özlü tel elektrod kullanılmıştır.

Farklı ilave malzeme kullanımının, kaynak dikişinin mekanik özelliklerine etkilerini saptamak amacıyla çekme ve sertlik deneyleri yapılmış, daha sonra da makroskopik incelemeler yapılmıştır. Makroskopik incelemelerde kaynaklı numunelerin nüfuziyet derinlikleri ölçülerek farklı parametrelerin nüfuziyet üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: MAG kaynağı, nüfuziyet, çıplak teller, özlü teller.

ABSTRACT

MAG welding continually increases its usage rate in the industry due to the benefits it possesses. One of the most important points in MAG weld is the selection of wire electrodes. In this method, the concretion of source metal resulting from wire electrode and shielding gas combination has to meet the required mechanical and physical properties.

In this study, the effects of electrode type to the properties of weld seam in MAG weld are examined. Through the experiments, St 37 low carbon structure steel was used as main metal, 76% Ar + 20% CO₂ + 4% O₂ combination mix gas was used as shielding gas and solid wire electrode and rutile character cored wire electrode were used.

In order to assess the effects of different material use on the mechanical properties of the weld seam, tensile and hardness test were made then macroscopic examinations were conducted. Effects of different parameters on penetration are evaluated by measuring penetration depths of welded samples in macroscopic examinations.

Keywords: MAG welding, penetration, solid wires, cored wires

1. GİRİŞ

Günümüzde kaynak teknolojisi, son derece yaygınlaşmış, kaynak yöntemlerinden birini veya birkaçını kullanmayan herhangi bir atölye, fabrika, şantiye vs. görmek hemen hemen imkansız hale gelmiştir. Gazaltı ark kaynağı ise, ergime esaslı kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemi haline gelmiş ve kullanım oranı gün geçtikçe artmaktadır (Anık ve Vural, 1996).

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrodla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrodan geçen kaynak akımının elektrodta oluşturduğu direnç ısıtması yoluyla üretilir. Elektrod çıplak bir tel olup, bir elektrod besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur (Eryürek, 2003).

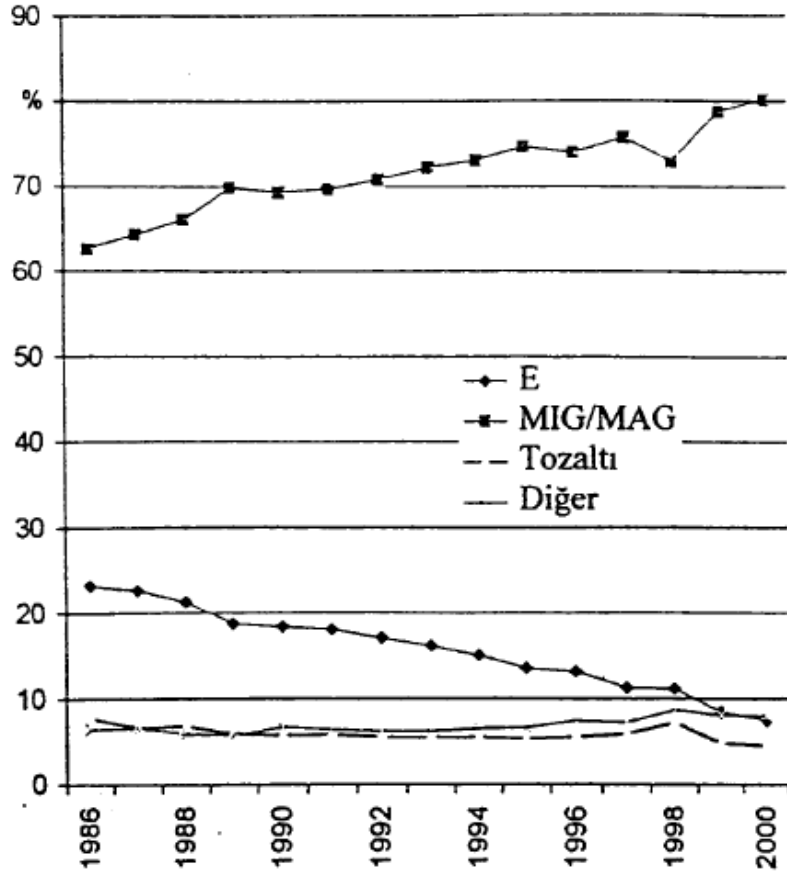
Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri yöntem soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağına kullanılmıştır. Ergiyen metal elektrod ve soy gaz kullanılması nedeniyle yönteme MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO_2) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur (Eryürek, 2003).

Gazaltı kaynak yöntemleri ile kaynak maliyeti düşürülmüş, kaynak süresi kısaltılmış ve kaynakçının dikişin kalitesine olan etkisi azaltılmıştır. Ayrıca bu yöntemler günümüz teknolojisinde yer alan otomatik veya mekanize kaynak yöntemleri diye isimlendirilen modern yöntemler arasındadır (Ören, 2002).

Sanayisi gelişmiş ülkelerde günümüzün en çok kullanılan yarı otomatik kaynak yöntemi olan MAG kaynak yöntemi son yıllarda ülkemizde hızlı bir şekilde yayılmaktadır (Ören, 2002).

Çizelge 1.1 Yığılan kaynak metali göz önüne alınarak ergitme kaynak yöntemlerinin kullanım yüzdeleri (Ören, 2002)

Yöntem	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Elektrikark kaynağı	23.2	22.6	21.2	18.7	18.3	18.0	17.0	16.1	15.0	13.5	13.1	11.2	11.1	8.4	7.4
MIG/MAG kaynağı	62.6	64.3	66.0	69.8	69.3	69.7	70.8	72.2	73.0	74.6	73.9	75.7	72.9	78.8	80.1
Tozaltı kaynağı	7.7	6.6	6.8	5.9	5.7	5.8	5.9	5.5	5.5	5.3	5.5	5.9	7.2	4.8	4.5
TIG kaynağı	1.5	1.5	1.5	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.3	1.8	2.0	2.0
Oksi-Asetilen kaynağı	2.6	2.7	2.2	1.7	2.1	2.0	2.0	2.1	2.1	2.0	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0
Özlü elektrod ile kaynak	2.3	2.3	2.3	2.3	3.0	2.8	2.6	2.5	2.8	3.0	4.3	4.5	5.7	5.0	5.0



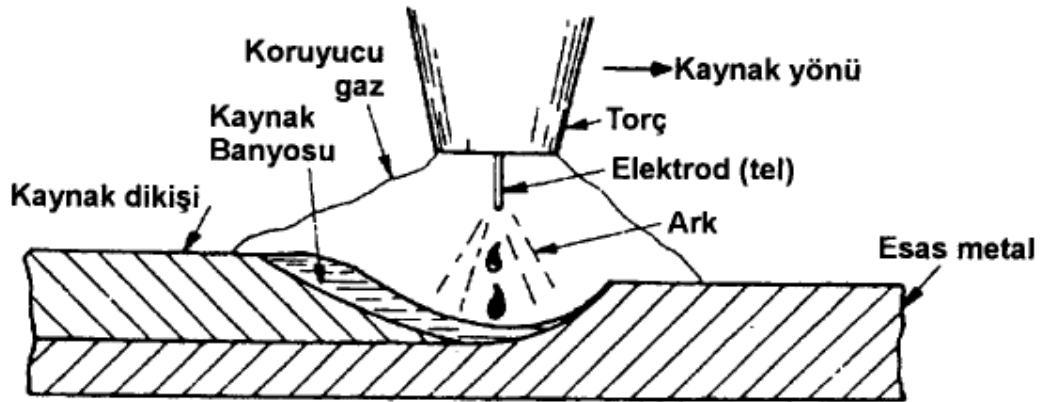
Şekil 1.1 Yığılan kaynak metali göz önüne alınarak ergitme kaynak yöntemlerinin yıllara göre dağılımı (Ören, 2002)

2. MAG KAYNAK YÖNTEMİ

2.1 MAG Kaynağının Esası

1950'li yılların sonlarına doğru özellikle otomobil endüstrisinde, tam otomatik olarak çalışan, yüksek ergime güçlü, çok hızlı ve sadece yatay pozisyonda çalışabilen, CO₂ koruyucu gazlı kaynak makineleri kullanılmaya başlanmıştır; bu yöntemde görülen sadece yatay pozisyonda çalışabilme olanağı ve fazla miktarda sıçrama araştırmacıları bu doğrultuda çalışmalara yöneltmiştir (Tülbentçi,1998; Kaluç, 2004).

MAG diğer bir deyimle aktif gaz altında eriyen elektrod ile kaynak, son yıllarda büyük gelişme göstermiş, az alaşımlı çeliklerin kaynağında diğer yöntemlere karşı büyüyen bir rakip konumuna gelmiştir. Özellikle son yıllarda MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gaz karışımları üzerinde birçok bilimsel araştırma yapılmış, alaşımsız ve yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağında bu tür koruyucu gazların kaynak dikişinin mekanik özelliklerini arttırdığı, kaynak hatalarında gazlardan gelen türlerin en aza indiği, sıçramaların azaldığı, kaynak dikiş profilinin düzeldiği ve nüfuziyetin arttığı saptanmıştır (Tülbentçi,1998; Kaluç, 2004).



Şekil 2.1 MAG kaynak yönteminde ark bölgesi (Tülbentçi,1998; Kaluç, 2004)

Kısa devre halinde, akımı sınırlayan frekanslı akım üreteçleri geliştirilerek, kısa ark boyu ile çalışılarak sıçrama minimuma indirgenmiştir; diğer önemli bir gelişme sonucunda da ince çaplı elektrod kullanabilme olanağı sağlanmış ve bu şekilde, her ne kadar elektrodun akım yoğunluğu artırılmış ise de, arkın oluşturduğu ısı azalmıştır. Akım yoğunluğunun artması, arkı yoğun ve

istenilen yöne kontrollü olarak doğrultulabilir hale getirmiş ve dolayısı ile de her pozisyonda kaynak yapabilen bu yöntemde önceleri sadece CO₂ kullanılmıştır (Tülbentçi,1998; Kaluç, 2004).

Günümüzde gereken durumlarda, arkı yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO₂'ye argon karıştırılıp kullanılmaktadır; karışım oranı % 85 argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde bir üçüncü gelişme de çeşitli bileşimlerde ki koruyucu gazlar ile sprey ark yönteminin bulunmasıdır. Argon içine çok az miktarda oksijen ilave edilerek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, daha kalın çaplı elektrodlar ile her pozisyonda çalışabilme olanağı sağlanmış ve çok daha düzgün görünümlü kaynak dikişleri elde edilebilmiştir.

Son yıllarda geliştirilen, darbeli akım yönteminde, kaynak akımı, ayarlanan frekansta bir alt ve bir üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimumda tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılma azaltılmıştır. Gene son yılların önemli gelişmelerinden bir tanesi de inverter tür kaynak makinelerinin uygulama alanına girmesidir; bu tür akım üreteçleri ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde saf CO₂ kullanılması halinde dahi sıçrama tamamen ortadan kalkmıştır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

Bu yöntemin yaygınlaşmasını, her tür metal ve alaşıma uygulanmasını sınırlayan önemli engellerden bir tanesi de esas metalin bileşimine uygun kaynak teli üretimi olmuştur; zira bazı tür alaşımları kaynak teli haline getirip makaralara sarmak teknolojik olarak mümkün olamamış ve de diğer bazı türlerinde tüketiminin sınırlı oluşu tel üretimini ekonomik olmaktan çıkarmıştır. Bu önemli engeli aşabilmek amacı ile, günümüzde özlü tel elektrodlar geliştirilmiş ve bunlar yaygın bir uygulama alanına sahip olmuşlardır. İnce tel kalınlığında fakat boru biçiminde üretilmiş olan bu sürekli tel elektrodarda, borunun içine alaşımlanmayı sağlayan metal tozları ile gerek arkın kararlılığını ve gerekse de kaynak metalinin dezoksidasyonu sağlayan ve de sıçramayı azaltan ve hatta gerektiğinde yanarak koruyucu gazı da kendi oluşturan curuf yapıcı maddeler konmuştur. Bu yeni buluş, bu kaynak yöntemini endüstrinin en önemli yöntemlerinden biri haline getirmiş ve yaygınlaşmasına olanak sağlamıştır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

MIG-MAG yönteminin diğer ark kaynak yöntemlerine göre çok önemli üstünlükleri vardır ve bu üstünlükler sayesinde endüstride bugünkü yaygın uygulama alanlarına sahip olmuştur. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir:

- Ergiyen elektrod ile ark kaynağı yöntemleri arasında, MIG-MAG yöntemi endüstriyel öneme sahip demir esaslı ve demir dışı tüm metal ve alaşımlara aynı etkinlik ile uygulanabilen tek kaynak yöntemidir.
- Yarı otomatik çalışma sırasında kaynak operatörü sadece torç açlarına dikkat etmek ve ilerleme hızını ayarlamakla sorumludur. Kaynak donanımın ayarı basittir ve tüm kontroller bizzat donanım tarafından gerçekleştirilmektedir. Operatörün özel ve uzun süren bir eğitimden geçmesi gerekmemektedir; diğer ark kaynak yöntemlerinden herhangi birisi için yetiştirilmiş kaynakçılar birkaç saatlik bir eğitim sonucu bu yöntemi kolaylıkla uygulayabilirler.
- Kaynak işlemi her pozisyonda rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir; bu konuda yöntemin en önemli rakibi olan tozaltı kaynak yöntemine nazaran büyük bir üstünlüğe sahiptir; ayrıca kaynak işleminde sadece az miktarda sıçrıntı oluşumu ve curuf oluşmaması kaynak sonrası temizleme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.
- Kaynak telinin kaynak bölgesine sürekli olarak sürülmesi, elektrod değişimi için duraklamaları ortadan kaldırmakta ve çok uzun kaynak dikişleri ara vermeden yapılabilmektedir. Bu konu, hem elektrod değiştirmek için harcanan ölü zamanı ortadan kaldırmakta hem de her dikişin başlangıç ve sonunda oldukça sık karşılaşılan gözenek, curuf kalıntısı, soğuk kaynak ve krater çatlağı gibi kaynak hatalarının oluşmasına olanak vermemektedir.
- Elektrod telinin otomatik olarak sistem tarafından kaynak bölgesine sürülmesi ve daha yüksek akım yoğunluklarında çalışılması gerek kaynak hızının yükselmesine ve gerekse de birim zamanda yığılan kaynak metali miktarının örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemlerinden çok daha fazla olmasına olanak sağlamaktadır.
- Sprey ark ile metal taşınımı halinde daha derin dikiş nüfuziyeti elde edilmekte ve daha az kaynak metali harcanması esas metal ile eş mukavemetli iç köse kaynak bağlantıları elde edilmektedir. Kullanılan tel elektrod çapının diğer yöntemlere göre daha ince oluşu daha dar bir kök aralığı bırakılmasına ve daha dar bir kaynak ağzı içinde kaynak yapılmasına olanak vermektedir ve bu olay da aynı kalınlıkta bir parçanın kaynatılmasında daha az tel

elektrod tüketimine neden olduğundan bağlantının maliyetinde önemli bir düşüş sağlanmaktadır.

- Elektrod fiyatları karşılaştırıldığında, örtülü elektrod ve tel elektrod arasındaki fiyat farkı piyasanın koşullarına göre değişmekte ise de çok büyük farklar göstermemektedir, ama buna karşın örtülü elektrolarda koçan kaybı ortalama % 17, örtünün yanma ve sıçrama kaybı da % 27'ye kadar yükselmektedir. Bu hesaba göre 1 kg örtülü elektrod 0.560 kg kaynak metali vermekte buna karşın 1 kg tel elektrod ile 0.950 kg kaynak metali elde edilmektedir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

Bütün bu üstünlüklerinin yanı sıra MIG-MAG yönteminin uygulama alanlarını sınırlayan bir takım özellikleri de vardır, bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak donanımı daha karışık bir yapıdadır, dolayısı ile daha pahalıdır ve daha etkin bir bakım gerektirir. Kaynak donanımı örtülü elektrod ile ark kaynağı donanımına nazaran daha zor taşınabilir bir yapıdadır; torç hortum paketinin uzunluğu esas donanım ile kaynak yapılan nokta arasındaki mesafeyi sınırlamaktadır.
- Kaynak bölgesi torcun ucundaki gaz nozulundan çıkan koruyucu gaz tarafından korunmaktadır, bu gaz akımı ortamın rüzgarlı olması halinde gerekli korumayı yapamamakta ve bu da yöntemin şantiyelerde ve açık havada yapılan işlerde uygulanmasını kısıtlamaktadır.
- MIG-MAG yönteminde torç, örtülü elektrod ark kaynağında kullanılan elektrod pensesine nazaran daha büyük, daha az esnektir; dar ve zor erişilen yerlerin kaynağında zorluk göstermektedir.(Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

MAG kaynağının, MIG kaynağından farkı yalnızca kullanılan gazdadır. Yani ayrı bir kaynak donanımına ihtiyaç yoktur. Çeliklerin kaynağında MAG kaynağının MIG kaynağına nazaran üstünlükleri vardır (Anık vd., 1978). Bunlar;

- Karbondioksit argon gazına nazaran daha ucuz olduğu için, gaz masrafı daha azdır,
- Aynı hacimli tüplere, argon gazına nispeten takriben üç misli daha fazla karbondioksit konur (karbondioksitin sıvı halde nakli dolayısıyla),
- MAG kaynağında, MIG kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir,

- Daha yüksek kaynak hızı ile çalışılır,
- MAG kaynağında hâsıl olan ultraviyole ışınlar, MIG kaynağına nazaran daha zayıftır. Bundan ötürü daha açık renkli kaynak maske camları ile çalışılır (Anık vd., 1978).

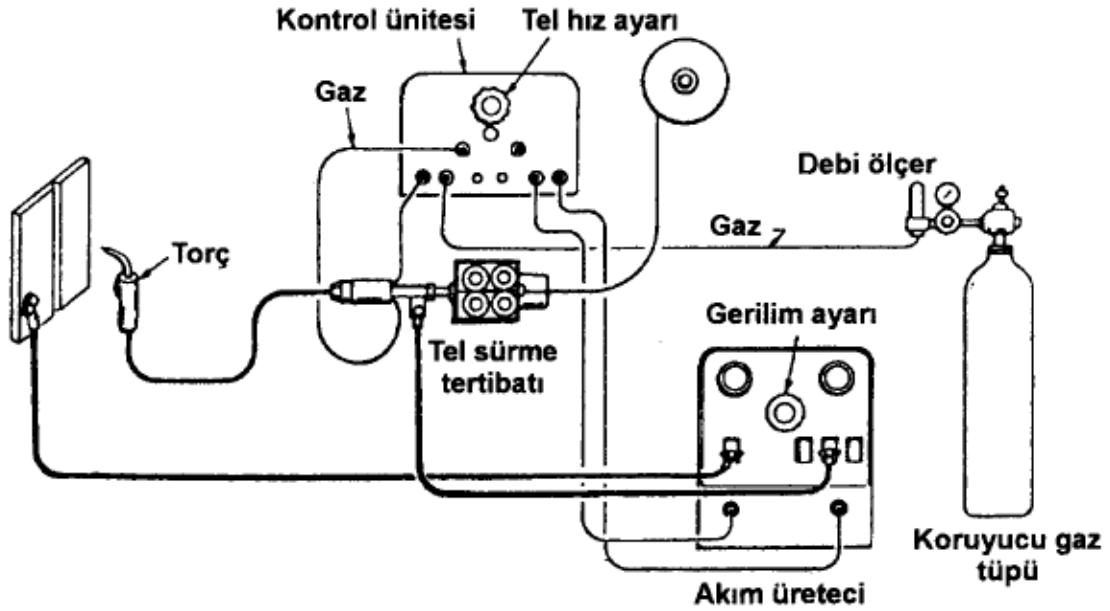
2.2 MAG Kaynak Donanımı

Her kaynak yönteminde olduğu gibi bu kaynak yöntemini de uygulayabilmek için özel bir kaynak donanımına gereksinim vardır. MIG-MAG kaynak donanımı, örtülü elektrod ile yapılan ark kaynak donanımı ile karşılaştırıldığında bir parça daha karmaşık görünmesine karşın aslında sistem olarak bir tozaltı kaynak donanımından daha basittir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

MAG usulü ile kaynak işleminde kullanılan cihaz ve donanımlar MIG yönteminde kullanılanın benzeridir. Farklı tarafı, katı CO₂'in kaynak tabancasına gelmesi için, özel bir elektrik ısıtıcılı, basınç düşürücü ventil ile donatılmış olmasıdır. Bu ilave elemanla gazın genişlemesi de sağlanmış olur (Gültekin, 1991).

Bir MIG-MAG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

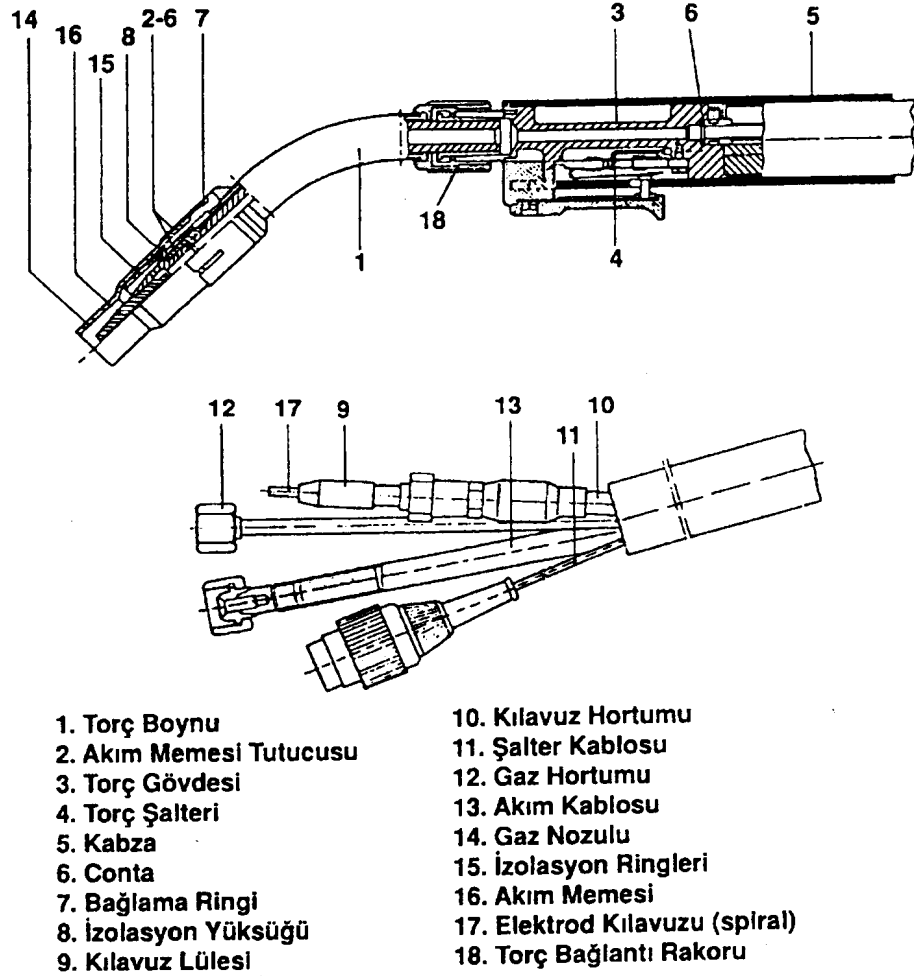
- Kaynak tabancası olarak da adlandırılan bir kaynak torcu.
- Tel biçiminde elektrod ve kılavuzunu, kaynak akım ve şalter kablolarını, gaz hortumunu, gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum; torç bağlantı paketi.
- Tel biçimindeki elektrodun ilerlemesini sağlayan tel sürme tertibatı.
- Kumanda ve kontrol donanımı.
- Kaynak akım üretici.
- Koruyucu gaz tedarik donanımı.
- Sulu soğutma sistemi
- Mekanize ve otomatik kaynak için yardımcı donanımlar (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)



Şekil 2.2 MIG-MAG kaynağı donanım blok şeması (Cary, 1989; Tülbentçi, 1998; Kaluç,2004)

2.2.1 Kaynak Torçları

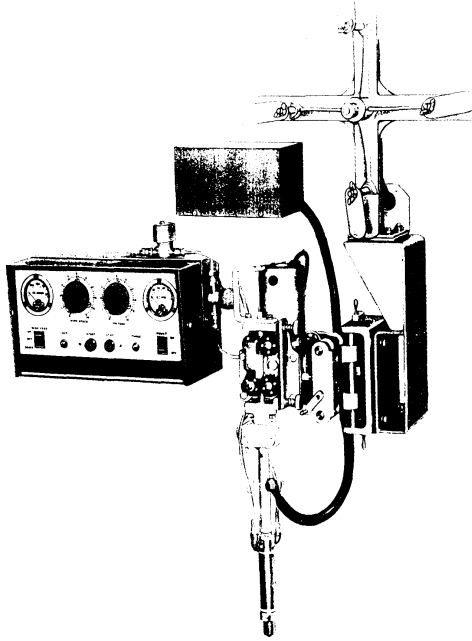
MIG-MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi ve kaynak bölgesine iletilmesi, ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir. Kaynak işleminde kullanılan akımın şiddetine ve kaynak yönteminin otomatik veya yarı otomatik olma haline göre çeşitli tür ve büyüklüklerde torçlar geliştirilmiştir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gereklidir; düşük akım şiddetlerinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğutmayı yapabilmektedir. Büyük çaplı elektrodlar, yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde ise ($I > 250$ A) su ile soğutma sistemi gerekmektedir. Su ile soğutma, doğal olarak düşük akım şiddetlerinde de daha iyi bir soğutma sağlarsa da, uygulamada torçta sızdırmazlığın sağlanması için kullanılan contaların bakımı külfetli olduğundan ve torç ağırlaştığından tercih edilmez (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).



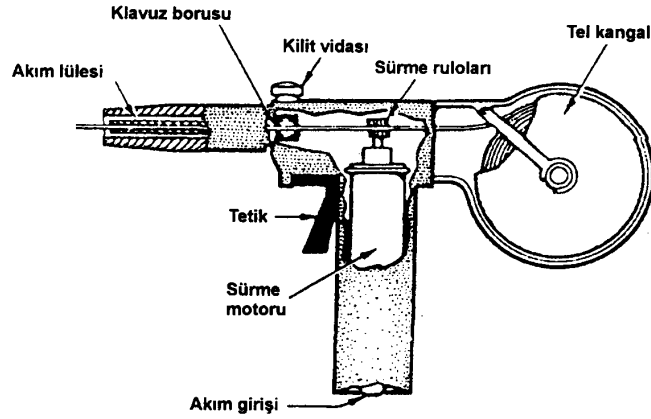
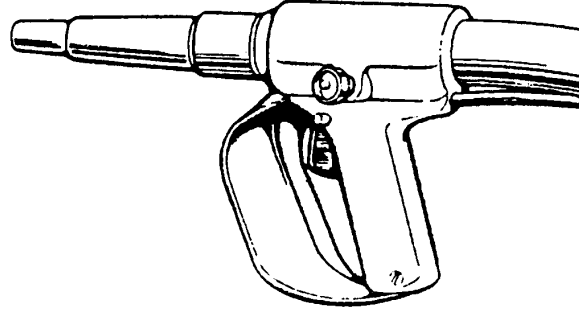
Şekil 2.3 Hava soğutmalı kuğu boynu tür bir torç kesiti ve torç bağlantı paketi
(Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000; Kaluç, 2004)

Arkın çok yakınında bulunması nedeni ile özellikle, yarı otomatik yöntemlerde operatörün sıcaklıktan olabildiği kadar az etkilenmesi için çeşitli biçimlerde torçlar geliştirilmişse de, günümüzde en yaygın olarak kullanılanı oksii-asetilen üflecini andıran biçimde bükülmüş olan kuğu boynu diye adlandırılan türüdür. Bu tür torçlar erişilmesi zor bölgelerdeki kaynak dikişleri ile zor pozisyonlardaki kaynak dikişlerinin yapımında kaynakçıya büyük kolaylık sağlar ve son derecede ergonomiktirler. Buna karşın otomatik veya mekanize kaynak işlemleri ile alüminyum ve alaşımlarının kaynağında düz torçlar tel elektrodun spiral içinde itilerek kolayca sürülebilmesi için düz boyunlu torçlar tercih edilirler. Spiral kılavuz içinde ilerlemesi çok zor alaşımlardan yapılmış tel elektrodlar için tabanca biçiminde, üzerinde tel iletme tertibatı ve ufak bir tel kangalı bulunan torçlar da üretilmektedir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Ayrıca tam mekanize sistemlerde kullanılan makine torçları vardır. Makine kaynak torçları yarı otomatik kaynak torçlarıyla aynı temel dizayn prensiplerinde ve özelliklerinde kullanılmaktadır. Bu torçların 1200 amperin üzerinde kapasiteye sahip olanları vardır ve genellikle yüksek amperaj değeri ve istenen yüksek çalışma çevriminden dolayı su soğutmalı olarak kullanılır. Torç direk olarak tel besleyicinin altına monte edilir. Sıklıkla 6 mm nin üstündeki büyük çaplı teller kullanılmaktadır. Şekil 2.4'de kontrol paneline monte edilmiş bir makineli kaynak torcu görülmektedir. Burada kaynak makinesi, tel besleme motoru ve tel dağıtıcı sisteminin tamamının kaynak torçuna eklendiği bir kontrol paneline sahiptir (Nippes, 1989; Geçmen, 2006).



Şekil 2.4 Makina tipi kaynak torçu (Nippes, 1989; Geçmen, 2006)



Hava soğutmalı MIG torcu (tel çekmeli tür).

Şekil 2.5 Çeşitli MIG-MAG torçları (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

MIG-MAG yönteminde tel elektrod sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi kayar bir temas elemanı ile sağlanır. Tel torcu terketmeden biraz önce bakır esaslı bir akım memesi içinden geçerek kaynak akımı ile yüklenir; bu akım memesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunur ve bu nozül sayesinde, koruyucu gaz akımı laminer olarak (girdapsız olarak) kaynak bölgesine sevk edilir.

Akım memesinin malzemesi elektriği çok iyi iletme ve aynı zamanda aşınmaya (özellikle elektroerozyona) dayanıklı olmak zorundadır. Uygulamada, memenin iç çapının tel çapından takriben 0,2 mm daha büyük olmasına izin verilir, bu değer yumuşak tel elektrodlar halinde daha da büyütülebilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Akım memesi ile konsantrik olarak bulunan gaz nozulu da çalışma sırasında aşırı ısıl zorlanmaya maruz kalan torç elemanlarından. Kaynak bölgesine gönderilen koruyucu gazın düzgün akımını sağlayan gaz nozulunun büyüklüğü, ergime gücü ve kaynak hızına bağlı olarak değişir. Kaynak işlemi sırasında nozul ve memeye yapışan, sıçrayan metal damlacıkları, koruyucu gazın laminar akımını bozar ve bu da kaynak bölgesinin iyi korunmamasına neden olur. Sıçramanın aşırı olduğu hallerde, yapışan metal damlacıkları akım memesi ile gaz nozulu arasında köprü oluşturarak, gaz nozulu ile iş parçası arasında ikinci bir arkın oluşmasına ve böylece, hem iş parçasının hem de torcun hasar görmesine neden olur; bu bakımdan kaynak sırasında sıçramanın fazla olduğu durumlarda torç sık sık kontrol edilip temizlenmelidir. Gaz nozulu, akım memesi ve gerekse de memenin vidalandığı meme hamili torcun kolaylıkla değiştirilebilen ve yedekleri bulunabilen parçalarıdır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

2.2.2 Torç Bağlantı Paketi

Torç, kaynak makinesine içinde tel elektrod kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın hortum ile bağlanmıştır, bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı da verilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Kullanılan tel elektrodun malzemesine göre çeşitli türde kılavuzlar kullanılır; bazı yörelerde bu kılavuzlara spiral veya gayd adı da verilir. Kılavuz, tel ileletme tertibatının temas memesine kadar tel elektrodun sevk edilmesi görevini üstlenir; alüminyum ve alaşımları, Cr-Ni paslanmaz çelikler için plastik hortum, alaşımsız ve alaşımlı çelik elektrodlar için ise çelik spiral biçiminde yapılmış kılavuzlar kullanılır.

Kullanılan kılavuz hortumunun çapı, elektrod çapına uygun olarak seçilir; uygulamada genellikle her kılavuz ile ancak iki birbirine yakın çaptaki teller kullanılabilir. Kılavuzun boyu normal

kaynak makinelerinde 3 ila 3,50 metre ile sınırlanmıştır; zira daha uzun olması halinde tel elektrod ve kılavuz iç cidarı arasındaki sürtünme tel ilerlemesini zorlaştırmakta ve kesikliklere neden olmaktadır. Bu gibi durumlarda bu boyu uzatabilmek amacı ile özel tür torçlar geliştirilmiştir. Bu torçlarda ikinci bir tel çekme tertibatı vardır; tel esas tel sürme tertibatı tarafından itilir iken, torçtaki makaralar tarafından da çekilir; bu tür torçlar daha ağır ve daha pahalıdır, genelde alüminyum alaşımları gibi normal boydaki kılavuzlarda dahi zor ilerleyen tel elektrodlar için tercih edilirler (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Günümüzde, fabrika içinde montaj hatlarında veya büyük parçaların kaynağı halinde erişebilirliği sağlamak ve kolaylaştırmak için çeşitli tasarımlar geliştirilmiştir.

Torç bağlantı paketinin içinde bulunan akım kablosu kaynak akım üreticinin maksimum kapasitesine göre boyutlandırılmıştır; genelde bakım gerektirmez ve üzerindeki yalıtım tabakası herhangi bir neden ile tahrip olmadığı sürece kullanılır. Koruyucu gaz hortumu neoprenden yapılmıştır ve her tür koruyucu gazın etkisine dayanıklıdır. Kumanda kabloları, torç tetiği ile kaynak donanımı kumanda dolabı arasındaki bağlantıyı sağlar ve yalıtım tabakaları zedelenmediği sürece de değiştirme ve bakım gerektirmezler. Su soğutmalı torç kullanılması halinde torç bağlantı paketi içinde su gidiş ve dönüş hortumları bulunur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Torç bağlantı paketi içindeki bu kablo ve hortumlar özel ekleme elemanları ile kaynak akım üreticine veya kumanda dolabına bağlanmışlardır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

2.2.3 Tel Sürme Tertibatı

Tel elektrod sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, ergiyen tel miktarını karşılayacak bir hızla ark bölgesine sevkeden bir mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme türü tertibatlar diye adlandırılırsalar da çalışma prensibi bakımından birbirlerinden pek farkları yoktur. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Kaynak akım üreticinin yatay karakteristikli doğru akım ve sabit gerilimli olması halinde tel sürme tertibatının motoru uygulanan akım şiddetine bağlı olarak sabit bir hızla döner.

Günümüzde en fazla bu tür kaynak akım üreteçleri tercih edilir. Çok kalın tel elektrodların kullanılması halinde düşey karakteristikli sabit akımlı kaynak akım üreteçleri gerekli olmaktadır. Bu durumlarda tel sürme tertibatının motoru sabit devirde dönmez, ark boyundan komut alarak hızını ayarlar (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

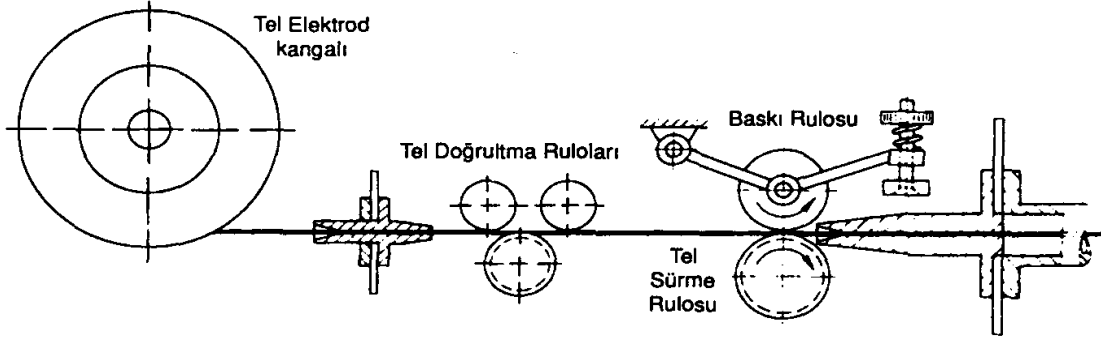
Tel sürme tertibatları çalışma prensibi bakımından, makaralı (rulolu) tertibatlar ve planet tertibatlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Makaralı tertibatlarda, tel iki veya dört makara arasından geçer; bunlardan alt makaralar arzu edilen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerler ve üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal açılmıştır, genelde üst makaralar avara döner, bunların bazıları düz, diğer bazılarına ise kanal açılmıştır. Kullanılan elektrodun sert olması halinde makaralara teli kaydırmamaları için tırtıllar da açılmıştır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Tel sürme tertibatında makaraların tel üzerine yaptıkları basıncın iyi ayarlanması, tel tür ve çapına uygun profilde makaraların kullanılması gereklidir. Yumuşak malzemeden yapılmış kaynak telleri ile özlü elektrodlar halinde dört makaralı ve dördü de tahrikli tel sürme tertibatlarının kullanılması ile daha iyi sonuç alınmaktadır, zira bu durumda makara basıncının olabildiğince azaltılması gereklidir; doğal olarak bu tel elektrodların kullanılması halinde makaraların profili, tırtılların biçimi ve kalitesi ile makara basıncının ayarı da büyük bir öneme sahiptir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

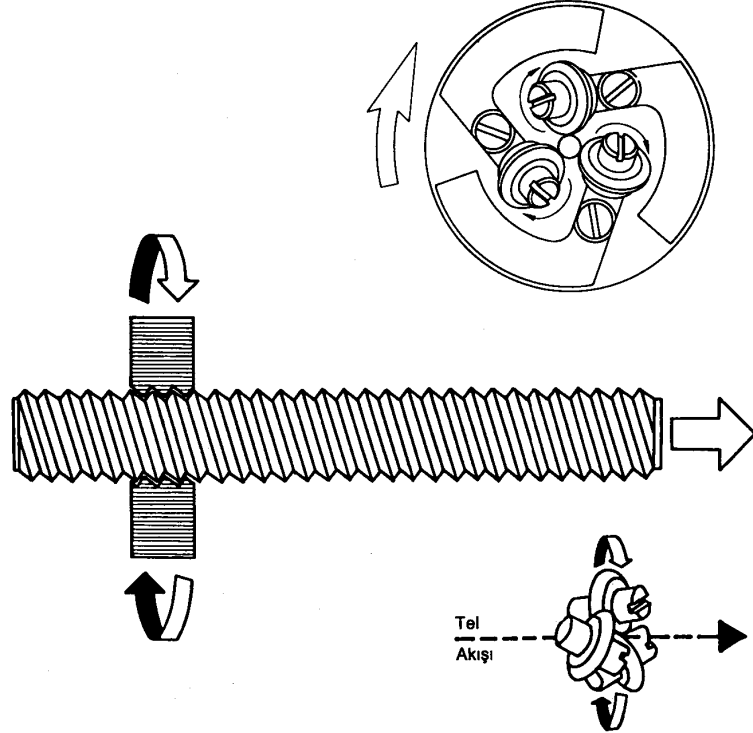
Tel bobinden sağılırken tam düz değildir ve bu şekilde tel kaynak bölgesine sevk edilirken, spiral kılavuz içinde sürtünme yaptığından sürme tertibatını zorlar ve bu da tel iletme hızının düzensiz olmasına neden olur ki bu olay da kaynak dikişinin kalitesini etkiler (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Makaralı tel sürme tertibatlarının yegane sakıncası makaradan sağılan teli tam olarak doğrultamamalarıdır. Dört makaralı tertiplerde tel bir dereceye kadar düzelir, iki makaralı tertibatlarda, sürme mekanizmasından önce bir tel doğrultma makaraları grubuna gerek vardır.



Şekil 2.6 İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

Dönel veya planet sistemi tel sürme tertibatlarında eksenleri birbirlerine göre çarpık üç rulo vardır, tel bunların arasından geçer, ruloların bağlı olduğu gövde döndürülür ve bu şekilde ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizer; tel dönmediği için de ilerleme hareketi yapar. Bu sistemin en büyük üstünlüğü tel elektrodu çok iyi bir şekilde doğrultmasıdır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).



Şekil 2.7 Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması (Cary, 1989; Kaluç, 2004)

Planet sistemi tel sürme mekanizmaları, teli çok iyi doğrulttuğundan, tel ile spiral kılavuz arasındaki sürtünme azalır ve dolayısı ile daha uzun hortumlar kullanmak olanağı doğar; bu tertibatla hortum boyu 6 m.'ye kadar uzatılabilir. Yalnız bu sistem ince ve yumuşak metallere yapılmış tel elektrodlar ile özlü elektrodlar için uygun değildir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

2.2.4 Kontrol Ünitesi

Kaynakta gerekli fonksiyonlar, hortum paketi içindeki kontrol kablosu üzerinden, torçtaki anahtar aracılığıyla kontrol ünitesinde devreye sokulur (Anık ve Vural, 1996).

Genel olarak iki ve dört zamanlı kontrol sistemleri mevcuttur.

a. İki zamanlı kontrol: torçtaki anahtardan, aynı anda akım, tel ilerlemesi ve koruyucu gaz devreye sokulur; anahtarın bırakılmasıyla bu fonksiyonların tümü aynı anda kesilir. Bu kontrol tipi, esas olarak puntalama işleminde ve kısa dikişler için kullanılır (Anık ve Vural, 1996).

b. Dört zamanlı kontrol: torçtaki anahtara basıldığında önce sadece magnet ventilin açması yoluyla koruyucu gaz akmaya başlar; anahtarın bırakılmasıyla akım ve tel ilerlemesi başlar; kaynak işleminin sonunda anahtara tekrar basıldığında akım ve tel ilerlemesi kesilir; bu arada anahtar bırakılana kadar koruyucu gaz akışı bir miktar daha sürer (Anık ve Vural, 1996).

Yeni cihazlarda ilave olarak arkın geri yanma süresi (telin ilerleyişinin durması ile akımın kesilmesi arasında geçen süre) de ayarlanabilir. Böylece arkın beklenmedik ani sönmelerinde telin banyoya yapışması önlenmiş olur. Bu durum, telin ilerlemesinin, akım kesilmesinden biraz önce durması ile sağlanır. Eğer geri yanma süresi uzun ayarlanmışsa, telin ilerlemesi erken kesileceğinden, telin kontak borusu içine kadar yanması ve dolayısıyla kontak borusunun zarar görmesi mümkündür (Anık ve Vural, 1996).

2.2.5 Koruyucu Gaz Sağlama Sistemleri

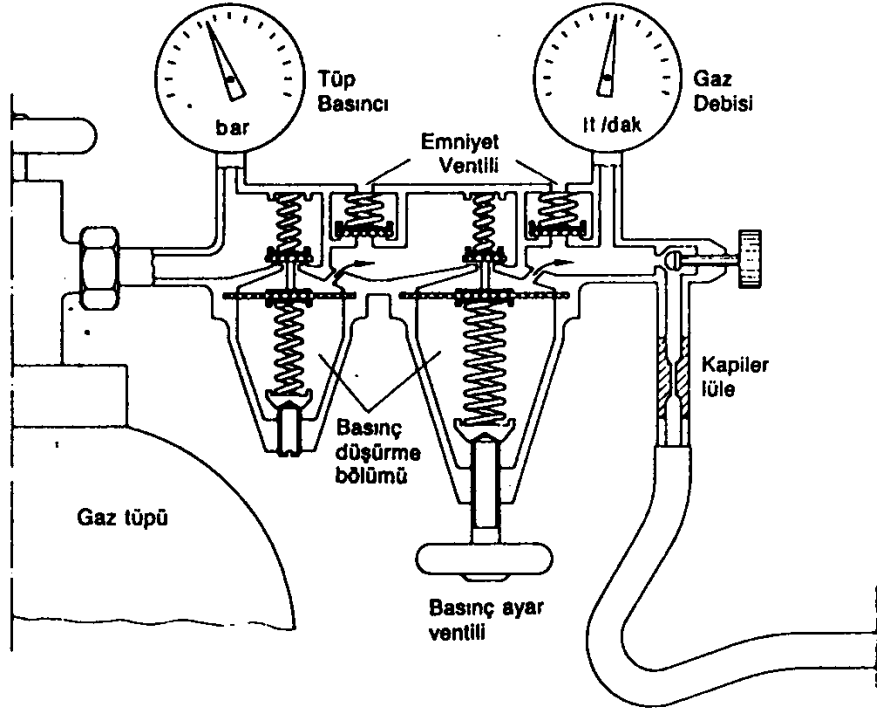
MIG-MAG kaynak yönteminde, daha önceden de belirtilmiş olduğu gibi kaynak bölgesi ve ark, atmosferin olumsuz etkilerinden bir koruyucu gaz örtüsü tarafından korunur. Bu gazın tüm işlem süresince yeterli miktarda kesiklik yapmadan sürekli olarak kaynak bölgesine beslenmesi

koruyucu gaz donanımı tarafından gerçekleştirilir. Kaynak için gerekli koruyucu gaz iki farklı sistem ile sağlanabilir:

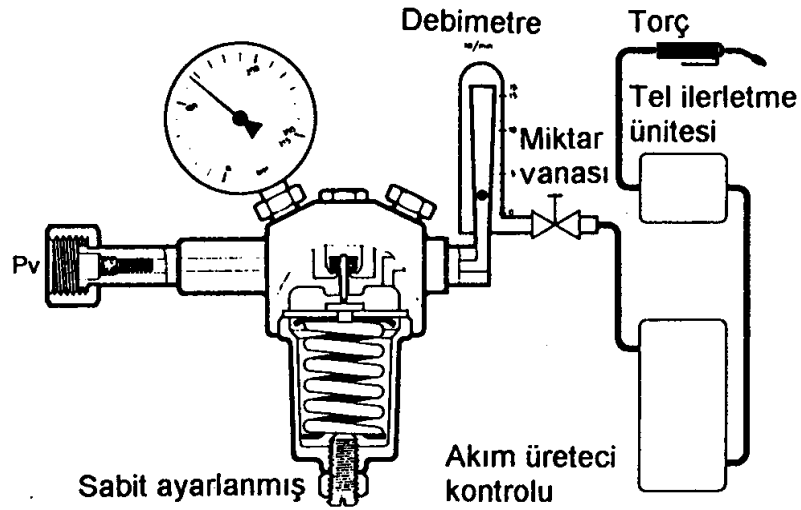
- Basınçlı gaz tüpünden,
- Merkezi gaz dağıtım sisteminden

Ülkemizde MIG-MAG kaynağı için gerekli koruyucu gaz, basınçlı tüplerden sağlanır. İşletme içi merkezi sistem gaz dağıtım şebekeleri henüz uygulama alanı bulamamıştır; zira bu sistemin ekonomik olabilmesi için çok sayıda MIG-MAG kaynak donanımının işletme içinde yoğun bir biçimde kullanılması gerekmektedir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Tüpten veya dağıtım hattından gelen koruyucu gaz ilk olarak basıncının kullanma basıncına düşürülmesi gerekir. Hemen sonra da debisi ayarlanmalıdır. Ayarlanan akış debisi, lt/dak cinsinden ölçüm yapan, kapiler boru ile birleşik bir manometreden okunabilir (Şekil 2.8). Kapiler boruda bir arıza olduğu takdirde, gerçek koruyucu gaz debisi, manometrede gösterilen tüketime göre oldukça yüksek olur. Bu durum kaynak için sakıncalıdır. Çünkü koruyucu gaz debisi ne kadar yüksekse kaynakta o derece yüksek hata ihtimali vardır. Bu durumda bilyalı ölçüm en uygun yöntemdir (Şekil 2.9) ancak biraz pahalıdır. Burada rotametredeki iğneli bir ventil yardımıyla tüketim lt/dak cinsinden ayarlanır ve debi ölçme borusu içindeki uçan bilya tarafından gösterilir. Bu durumda kapiler boru gerekli değildir (Anık ve Vural, 1996).



Şekil 2.8 Basınç düşürme manometresi (Anık ve Vural, 1996)



Şekil 2.9 Bilyalı debimetre takılı manometre (Anık ve Vural, 1996)

Bilyalı ölçüm aleti, doğrudan gaz çıkış lülesine takılabilen ve torçtan çıkan gerçek gaz debisin ölçen küçük bir gaz ölçüm borusudur. Gaz debisi, bilyalı borunun üzerindeki işaretlerden, kullanılan gaz türüne uygun olanı göz önünde tutularak ayarlanır (Anık ve Vural, 1996).

2.2.6 Sulu Soğutma Sistemleri

Özellikle MIG-MAG kaynak yönteminin otomatik veya mekanize sistemler yardımı ile uygulamalarında yüksek akım şiddetleri ile daha yoğun bir tempo ile çalışılır. Bu gibi durumlarda hava ile soğutulan torçlar beklenen verimi veremediğinden su soğutmalı torçlar tercih edilir. Prensip olarak su, doğrudan musluktan alınarak kanalizasyona geri verilerek de soğutma işlemini yapma olanağı varsa da bu tercih edilmez, genelde bir su deposu ve soğutmayı sağlayan fanlı bir radyatör ile pompadan oluşan kapalı sistem su soğutucular kullanılır. Bu şekilde, su içine konulan inhibitörler ile korozyon tehlikesi en aza indirilir, suyun sertliği kontrol altına alınabilir ve ayrıca su sürekli olarak filtre edilerek dar su kanallarının pislik v.s. ile tıkanmasının önüne geçilmiş olur. Ayrıca sistem suyun sıcaklığının 60 °C'yi aşmaması için bir termostat debi ayar kontrolü yapan bir sisteme sahiptir. Su doğrudan bu sistemden torca hortum ile sevk edilmez; soğutucunun hortumları kaynak donanımının kumanda dolabına bağlanır ve onun kontrolünde torca sevk edilir ve su devresinde bir tutukluk ortaya çıkınca otomatik olarak kaynak akımı kesilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

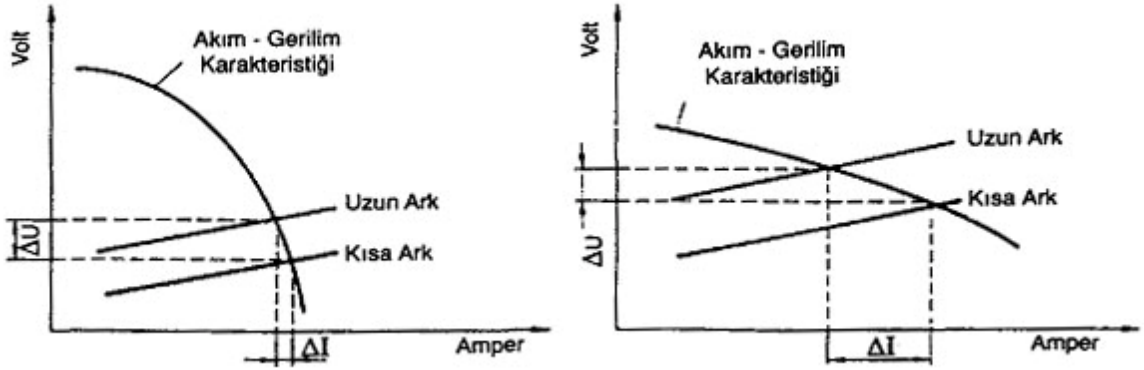
2.2.7 MIG - MAG Kaynağı Akım Üreteçleri

Ark kaynak yöntemlerinde, yöntemin gerektirdiği tür, akım şiddeti, gerilim ve volt-amper karakteristiğinde elektrik akımı gerekir ve bu bakımdan da her kaynak yöntemi için farklı tür ve büyüklükte akım üreteci geliştirilmiştir. Kaynak için gerekli koşullardaki elektrik akımı işyerinde özel bir generatör tarafından üretilebildiği gibi, şebeke akımının dönüştürülmesi ile de elde edilebilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

MIG - MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin V-I (Volt-Amper) karakteristiği, örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağında kullanılan akım üreteçlerindeki gibi düşey karakteristikli olabildiği gibi bunlardan çok farklı olan, yatay karakteristikli tipler çok daha yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

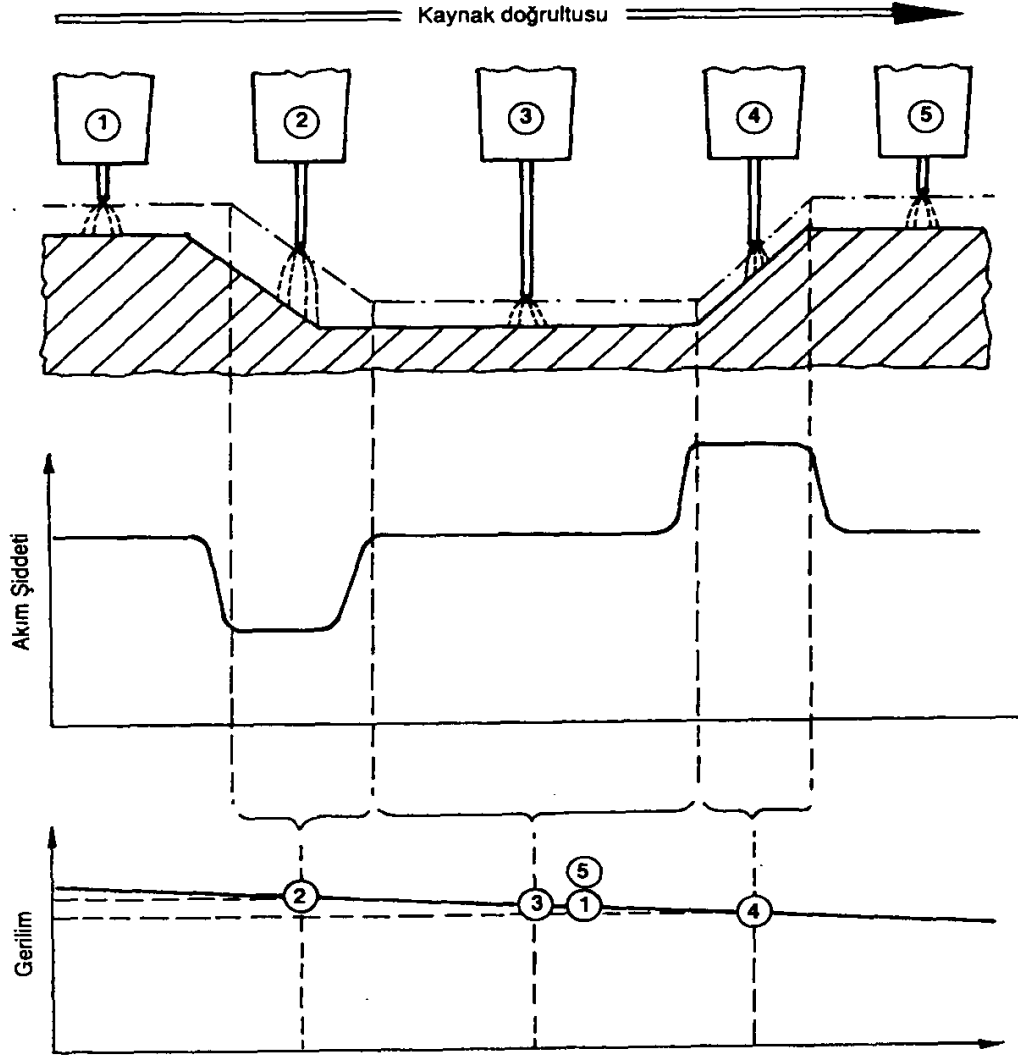
Düşey karakteristikli akım üreteçlerinde ark geriliminin önemli bir büyüklükte değişmesine karşın akım şiddetindeki değişim çok azdır. Bu olay ark boyunun kaynakçı tarafından ayarlandığı örtülü elektrod ile ark kaynağı ve TIG kaynağında çok önemli bir özeldir, kaynakçının el hareketleri nedeni ile ark boyunda bir değişme olduğu zaman ergime gücünde meydana gelen

değişim çok azdır ve bu da düzgün kaynak dikişi eldesi için çok önemli bir etkidir. Ark boyunun kaynak donanımı tarafından ayarlandığı ve sabit tutulduğu MIG-MAG yönteminde bu karakteristiğe sahip bir akım üretici kullanıldığında ark boyunun değişmesi, yani ark geriliminin değişmesi sonucu ark boyunu sabit tutabilmek için ark boyundan kumanda alan bir elektronik tertibat yardımı ile tel sürme tertibatının motor devri değiştirilir. Diğer bir anlatım ile bu tür bir akım üretici kullanıldığında, ark boyunun değişimi tel sürme motorunun hızının değiştirilmesi ile ark boyu sabit tutulur. Bu sistem hem pahalıdır ve hem de çok hızlı değildir, ancak tel ilerleme hızının yavaş olduğu kalın çaplı tel elektrod hali için uygundur. MIG-MAG yönteminde genelde ince tel (0.8, 1.0, 1.2 ve 1.6 mm) elektrod kullanıldığından bu kumanda sistemi yavaş kalmakta ve iyi sonuç vermemektedir; bu sistem 2,5 mm' den daha kalın çaplı tel elektrodların kullanıldığı otomatik kaynak sistemlerinde, tozaltı kaynak yönteminde ve elektrocuruf kaynak yönteminde uygun sonuçlar vermektedir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).



Şekil 2.10 Kaynak akım üreticilerinde volt-amper karakteristikleri (Tülbentçi, 1998)

Sabit gerilimli diye de adlandırılan yatay karakteristikli kaynak akım üreticilerinde ark geriliminin dolayısı ile de ark boyunun az bir miktarda değişmesine karşın akım şiddetinde yani ergime gücünde değişim çok daha şiddetlidir. Bu tür kaynak akım üreticilerinde iç ayar diye adlandırılan ve hiçbir ek donanım gerektirmeden kendinden oluşan bir ark boyu ayarı vardır. Bu akım üreticilerinde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinelerde tel ilerleme motoru, seçilmiş sabit bir devirde döner, tel hızı sabittir.



Şekil 2.11 Sabit gerilimli akım üreticinde ark boyunun kaynak süresince sabit kalması (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000)

Kaynak sırasında herhangi bir nedenle ark boyu uzadığı zaman Şekil 2.11’de görüldüğü gibi akım şiddeti büyük miktarda azalır. Buna bağlı olarak da ergiyen tel miktarı azalır ve bu sırada tel sürme devam ettiğinden ark normal boyuna döner; aksi halde, yani ark boyunun kısılması halinde ise akım şiddeti sürekli artar, ergiyen tel miktarı da buna bağlı olarak artacağından netice de ark boyu normale döner (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Bu kaynak yönteminde görüldüğü gibi ark boyunun ayarlanması yarı otomatik kaynak halinde dahi, kaynakçının kişisel el becerisine bırakılmamıştır. Ark boyu kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır.

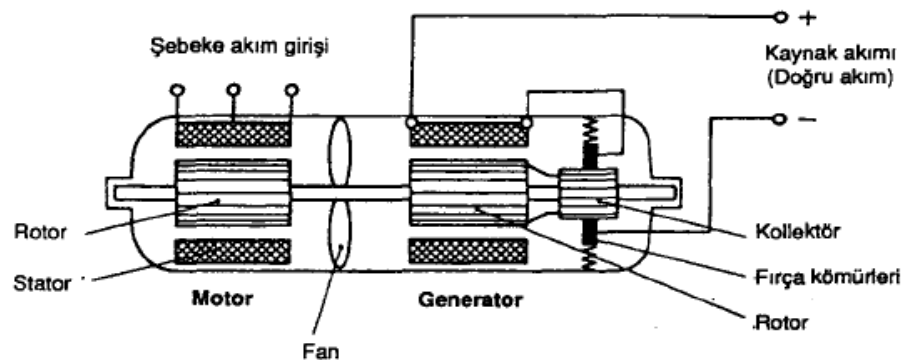
Sabit gerilimli diye adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulmasına olanak olmadığı gibi aynı zamanda sakıncalıdır. Zira, böyle bir üreteçte elektrod iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir ve bu da elektrod ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur; bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100 amper için azami 7 Volt kadar ark gerilimi düşümüne izin verilir; bu değer kaliteli üreteçlerde 2 ile 5 V arasındadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağında büyük bir çoğunlukla doğru akım ve yatay karakteristikli, nadiren de düşey karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılır. Bilinen diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akım kullanılması halinde elektrod pozitif veya negatif kutba bağlanabilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi için elektrodun kesinlikle pozitif kutba (ters kutuplama) bağlanması gereklidir. Diğer metal ve alaşımlarının özellikle çeliklerin kaynağında her iki kutuplama türü kullanılabilirse de, çok daha derin bir nüfuziyet sağladığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir; doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde kullanılır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

MIG-MAG kaynak yönteminde doğru akım kullanılır ve kaynak elektrodu pozitif kutba bağlanır, bu nedenle akım üretici kaynak koşullarına uygun doğru akım üretmek zorundadır.

2.2.7.1 Motor Generatör Tipi Akım Üreteçleri

Şantiyelerde, elektrik akımının bulunmadığı yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş, dizel veya benzin motoru tarafından tahrik edilen generatörlerdir.



Şekil 2.12 MIG-MAG kaynak yöntemi için motor-generatör akım üretici (Tülbentçi, 1998)

Bunlar genellikle hem yatay hem de düşey karakteristik ile çalışabilecek biçimde tasarlanırlar ve bu şekilde özellikle boru hatlarının kaynağında hem örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı ve hem de MIG-MAG yönteminde kullanılabilir. Bu özellik şantiyelerde büyük bir kolaylık sağlamaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

2.2.7.2 Redresör Türü Akım Üreteçleri

İşletme içinde kullanılan standard akım üreteçleri ise bir transformatör ve bir redresörden oluşmuş paket cihazlardır. Günümüzde artık elektrik motoru ile tahrik edilen generatörlerin imali yok denecek kadar azalmıştır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Normal şebekeye bağlanan bu cihazların monofaze ve trifaze akım ile çalışanları vardır. Trifaze akım ile çalışan üreteçler gerek daha kararlı bir kaynak arkı oluşturmaları ve gerekse de şebekeyi dengeli bir şekilde yüklemeleri nedeni ile tercih edilirler.

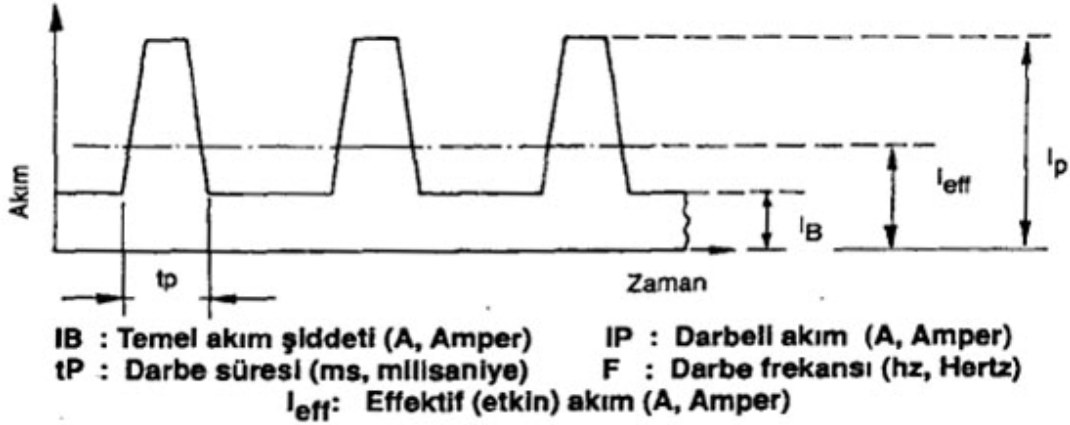
MIG-MAG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilimi gelir. Sabit gerilimli veya diğer bir deyimle yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Kaynak akım gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanabilir. Kaynak akım şiddeti ise MIG-MAG kaynak üreteçlerinde tel ilerletme düğmesinden ayarlanır. Seçilmiş olan gerilim ve akım şiddetinin dikiş biçimi ve ark oluşum türü üzerine etkileri vardır. Uygun seçilmiş bir çalışma noktası arkın sakin ve kararlı bir şekilde yanışı ile kendini belli eder (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

2.2.7.3 Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri

İyi bir nüfuziyetin, buna karşın parçaya ısı girdisinin sınırlı tutulmasının gerekli olduğu durumlarda, darbeli doğru akım yöntemi uygulanır. Darbeli doğru akım (pulsed direct current) ile alternatif akımı birbirlerine karıştırmamak gerekir; darbeli doğru akım halinde, seçilen akım şiddeti önceden saptanmış iki değer arasında, arzu edilen bir frekansta değişmektedir.

Bu sistemin üstünlüğü tel elektrodan ergiyen damlaların kaynak banyosuna geçişinin temel ve darbe akım şiddetine göre iki farklı hızda gerçekleşmesidir. Darbe akımı sırasında, tepe akımda, kaynak metali hızlı bir biçimde ergir ve kaynak banyosuna spreyci ark biçiminde taşınır; bunu takip eden temel akım periyodunda elektrod ucunun ergimesi azalır hatta gerekirse hiç ergimemesi sağlanır ve kaynak banyosuna da ısı girişi azalır ve bu sırada banyo kısmen katılaşmaya başlar; temel akım şiddeti arkın sönmeyeceği bir değerde tutulduğundan arkın yeniden tutuşturulması sorunu ortadan kalkar. Bu şekildeki bir ark ile her pozisyonda kaynak yapmak kolaylaşmış olur. Bu türde imal edilen ilk akım üreteçlerinde ya frekans ya da temel ve darbe akımı şiddetleri ayar edilebilmekteydi; bugün güç elektroniği yardımı ile frekans, temel akım şiddeti, darbe akım şiddeti ile bunların sürelerini birbirlerinden bağımsız olarak ayarlayabilen akım üreteçleri geliştirilmiş ve artık günümüz endüstrisinde, her akım darbesinde kaynak banyosuna tek bir damla kaynak metali transfer eden MIG-MAG kaynak donanımları uygulama alanına girmiştir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

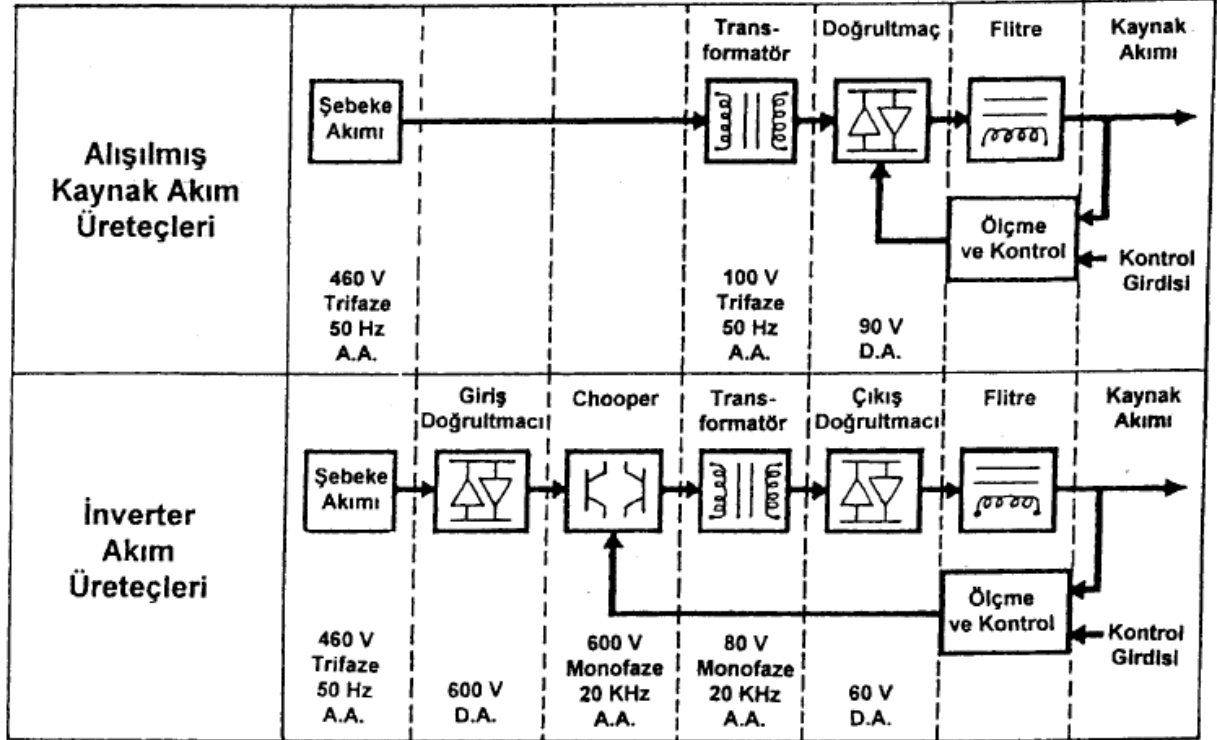


Şekil 2.13 MIG-MAG kaynağında darbeli akım değişimi (Tülbentçi, 1998)

2.2.7.4 İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri

Kaynak teknolojisindeki en son gelişmelerden bir tanesi hatta en önemlisi inverter türü akım üreteçlerinin uygulamaya girmiş olmasıdır. İnverterler daha önceleri uçak endüstrisinde, kontrol devrelerinde doğru akım üretiminde kullanılmaya başlanmış ve kazanılan deneyimler bunların kaynak endüstrisinde de güç kaynağı olarak kullanılmasına olanak vermiştir (Tülbentçi, 1998).

Alışılmış kaynak akım üreteçlerinde, şebekeden çekilen alternatif akım direkt olarak bir transformatöre girer, burada akımın frekansı değişmez sadece gerilimi ayarlanır. Bu akım redresörde doğrultulur ve filtre edilerek kaynak için gerekli koşullarda doğru akım elde edilir ve kontrol devreleri de çıkış akımından aldıkları sinyalleri giriş kontrol sinyalleri (akım üreticinin ayar değerleri) ile karşılaştırarak redresör çıkışını ayar eder (Tülbentçi, 1998).



Şekil 2.14 İnverter türü akım üreteçlerinin prensip şeması (Tülbentçi, 1998)

İnverterlerde ise, şebekeden çekilen alternatif akım önce bir redresöre girer ve doğru akım haline dönüştürülür ve bu akım Chooper diye adlandırılan özel bir cihazda yüksek frekanslı alternatif akım haline dönüştürülür; kaynak işlerinde kullanılan inverterlerde bu frekans 20.000 Hz mertebesindedir. Bu yüksek frekanslı alternatif akım transformatör gerilimi kaynak için uygun değere indirilir ve buradan çıkan akım aynen alışılmış redresörlerde olduğu gibi bir redresörde doğrultulur ve bir filtreden geçirilerek kaynak için gerekli koşullarda doğru akım elde edilir. Sonuç olarak, gerek alışılmış akım üreteçlerinde ve gerekse de inverterlerde şebeke akımı kaynak için gerekli koşullardaki doğru akıma dönüştürülmüş olur, ama burada inverterin sağladığı çok önemli üstünlükler vardır (Tülbentçi, 1998).

- Transformatörlerin büyüklüğü alternatif akımın frekansı ile ters orantılıdır; frekans büyüdükçe transformatör küçülür. Aynı akım gücündeki bir normal redresör ve inverter karşılaştırıldığında, inverterin ağırlık olarak % 25 ve boyut olarak ta %33 daha küçük olduğu görülür.
- İnverterler daha yüksek bir verim ve daha büyük bir güç faktörüne sahiptirler ve dolayısı ile inverter kullanımı halinde elektrik giderlerinde önemli bir azalma ortaya çıkmaktadır ve özellikle 200 A' in altındaki akım şiddetleri ile çalışma halinde bu verimlilik daha da büyümektedir.
- İnverterlerin en önemli avantajı kaynak arkının stabilizesinin, performansının ve kontrol kabiliyetinin artmasıdır. Kontrol devresi inverterin çıkısını saniyede 20.000 kez değiştirebilmekte ve ark kontrolünün çok hassas bir biçimde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır. Küçük transformatörler değişimlere alışılmış makinelerde kullanılan büyük transformatörlerden daha az direnç göstermekte ve daha hızlı bir uyum sağlayabilmektedirler.
- İnverterlerin, endüktans (akımın inme ve çıkma hızı) üzerinde daha etkin bir kontrol sağlaması kaynakçıya kaynak arkını çok yumuşak bir ark halinden daha delici ve derin nüfuziyet sağlayan bir ark haline kadar ayarlama olanağını sağlar. Bu olay ise, kısa ark ile çalışma halinde karşılaşılan yanma oluşu, soğuk kalmış bölgeler oluşumu tehlikesini ortadan kaldırdığı gibi bu tür çalışmada görülen büyük miktarda sıçramanın azalmasını da sağlar (Tülbentçi, 1998).

İnverterlerin bu üstünlükleri darbeli ark sistemi ile birleştirildiğinde, saf CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde bile sıçrama görülmez. Darbeli akım ile çalışan inverterlerin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Isı girdisinin daha etkin bir biçimde kontrolü,
- Kısa ark boyu ortalama akım şiddetlerinde dahi her pozisyonda sprey transfer uygulamasına olanak sağlar ve sıçrama yok denecek kadar azalır,
- Aynı akım şiddetinde bir büyük boy tel elektrod kullanabilme olanağını sağlar (Tülbentçi, 1998).

3. ARK TÜRLERİ VE ARKTA KAYNAK METALİ TAŞINIMI

3.1 MAG Kaynağında Damla Transferinin Gerçekleşmesi

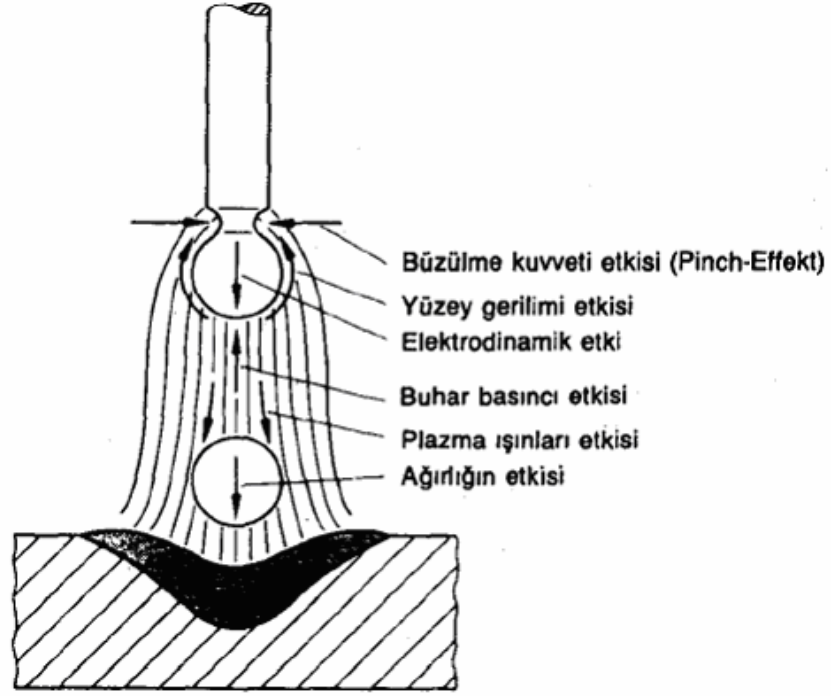
Ergiyen telden kaynak banyosuna aktarılan metalin davranışına metal transfer formu denir. MIG-MAG kaynağında ark karakteristikleri, elektrodan kaynak havuzuna olan metal transfer şekline bağlıdır. Ergimiş elektrod ucundan kaynak havuzuna metal aktarımının şekli, arkta oluşacak sıçrama miktarını, işlem kararlılığını, çeşitli konumlarda kaynak yapma imkanını, ana malzemenin nemlendirilmesini, kaynak dikişinin yüzey formunu ve kaynak metalinin kalitesi gibi bir çok parametreyi etkiler. (Gülenç ve Tülbentçi, 1997)

Kaynak arkı içinde metal taşınım türü aşağıda sıralanmış olan bir dizi faktörün etkisi altındadır:

- Kaynak akım şiddeti,
- Tel elektrod çapı,
- Elektrodun bileşimi,
- Serbest tel uzunluğu,
- Koruyucu gazın türü.

Kaynak arkının kendisi de bir tür elektrik iletkeni olduğundan etrafında bir manyetik alan oluşur; akı yoğunluğu yükseldikçe radyal büzülme kuvvetini oluşturan manyetik alanın şiddeti artar ve bu olaya Pinch-Effekt adı verilir. Arkın bu kısımlarında özellikle elektrod ucunda akım yoğunluğu fazla olduğundan en şiddetli büzülme kuvveti bu kısımda oluşur ve bu da telin ucunda ergimiş olan metalin damla haline geçişini kolaylaştırır (Tülbentçi, 1998).

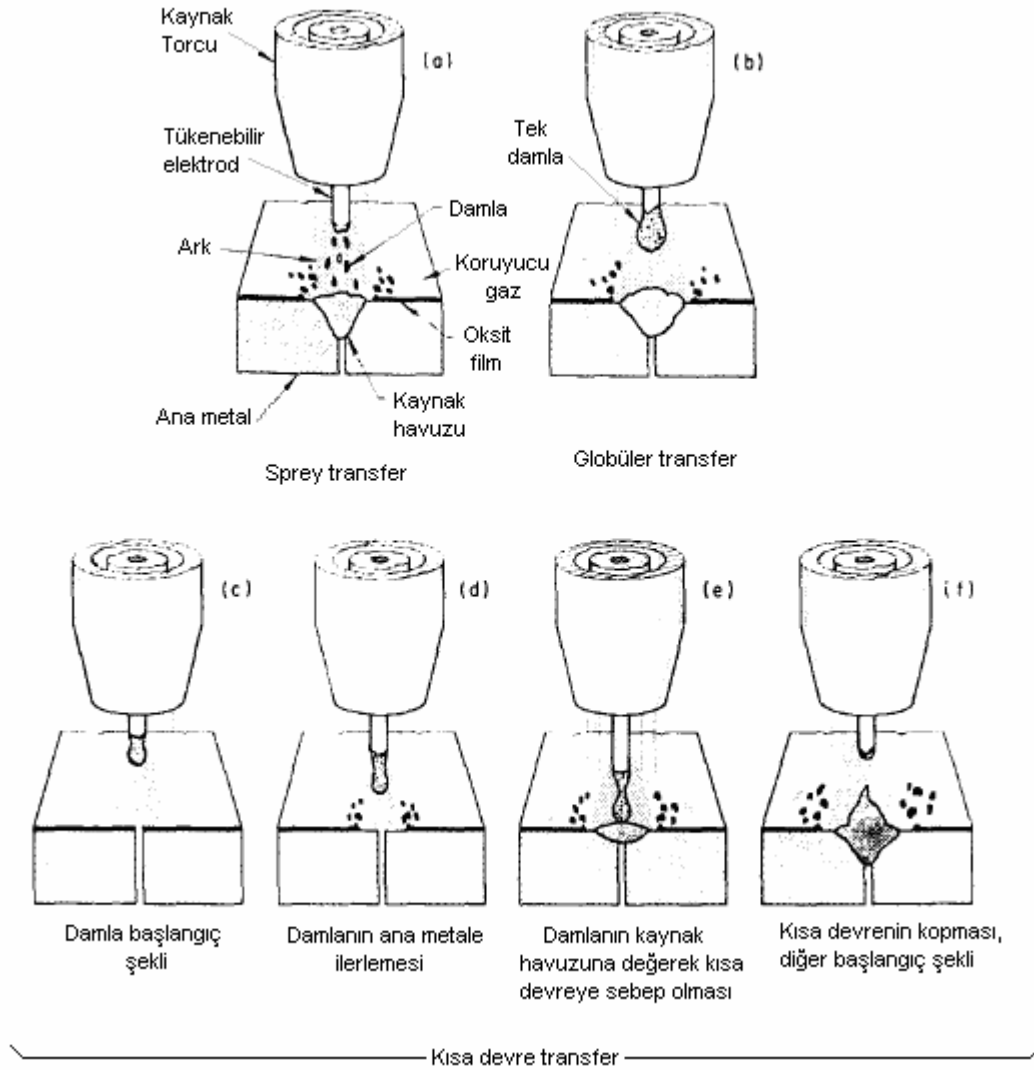
Radyal büzülme kuvvetinin büyük olduğu kısımdan, bu kuvvetin daha zayıf olduğu kısma doğru bir eksenel kuvvet oluşur ve bu da oluşmuş damlanın elektrod ucundan ayrılmasına ve kaynak ağzına taşınmasına yardımcı olur (Tülbentçi, 1998).



Şekil 3.1 Elektrodun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri
(Tülbentçi, 1998; Anık vd.,2000)

Gazaltı kaynağında metal damlalar elektrodan iş parçasına dört şekilde taşınırlar.

- 1- Kısa Ark (kısa devreli metal taşınımı)
- 2- Uzun Ark (damlasal metal taşınımı)
- 3- Sprey Ark (ince damlalı metal taşınımı)
- 4- Darbeli Sprey Ark ile metal taşınımı (Tülbentçi, 1998).



Şekil 3.2 GMAW'de metal transfer modları (Nippes, 1989; Geçmen, 2006)

3.1.1 Kısa Ark (Kısa Devreli Metal Taşımımı)

Kısa ark ince elektrodlar ile (0.6 ila 1.2 mm) kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti kullanılarak kaynak yapıldığında karşılaşılan bir ark türüdür. Bu tip bir iletim ince kesitlerin birleştirilmesi için, pozisyon kaynağı için ve büyük kök açıklıklarını birleştirmeye uygun olan küçük ve hızlı katılaştıran bir kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır (Eryürek, 2003).

Kısa devre damla iletim oluşum sırası Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Kısa devre ark döngüsünün başlangıcında, tel elektrodun ucunda küçük sıvı damla oluşur (Şekil 3.2-c). Sonra ergiyen damla

Şekil 3.2-d' de görüldüğü gibi iş parçasına doğru hareket eder. Sonra ergiyen metal iş parçası ile temas ederek bir kısa devre oluşturur. Döngünün bu safhasında, yer çekimi ve yüzey gerilimi ile metal transferi oluşur ve ark söner (Şekil 3.2-e). Son olarak ergimiş damla metal bağlantısı manyetik alanın etkisiyle meydana gelen büzülme kuvveti etkisi (Pinch-Effekt) ile kopar. Büzülme kuvvetinin şiddeti ve miktarı güç kaynağı tarafından kontrol edilmektedir. Bu durumda elektriksel temas kopar ve ark tekrar oluşur (Şekil 3.2-f). Arkın tekrar canlanmasıyla döngü yeniden başlar (Nippes, 1989; Geçmen, 2006).

Burada, kaynak metali iş parçasına sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışması ve metal taşınımının kısa devre sırasında gerçekleşmesi sonucu iş parçasına uygulanan ısı girdisi çok düşüktür, bu bakımdan ince parçaların kaynağı ve çarpılma tehlikesinin büyük olduğu haller için çok uygun bir ark türüdür (Tülbentçi, 1998).

Uygulanan akım şiddeti; ark gerilimi, koruyucu gaz türü ve elektrod metaline bağlı olarak saniyede 20 ila 200 kez tekrarlanır. Damlanın büyüklüğü ve kısa devrenin süresi, ergimiş metalin yüzey gerilimini etkileyen koruyucu gazın türüne bağlı olarak değişir. Uygulamada bu tür metal taşınımı için demir esaslı malzemelerde saf CO₂ veya karbondioksitçe zengin karışım gazlar tercih edilir (Tülbentçi, 1998).

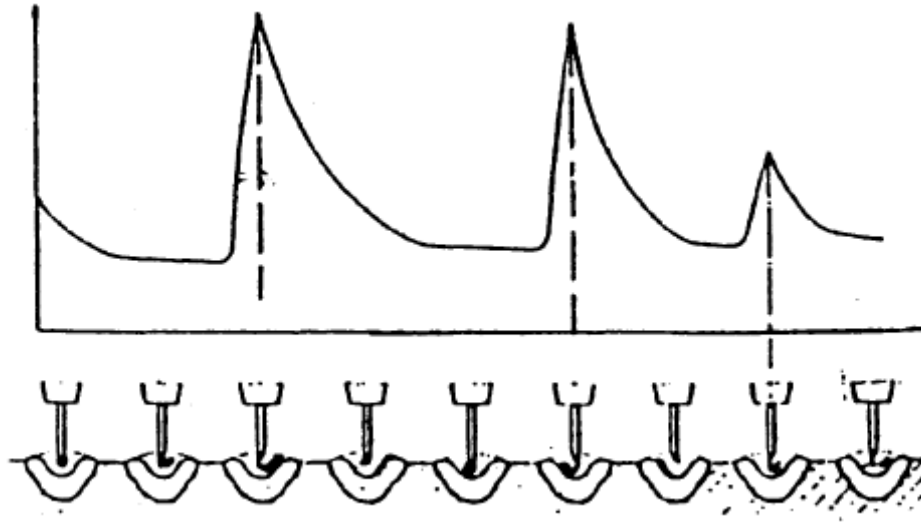
3.1.2 Uzun Ark (Damlasal metal taşınımı)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrodun uç kısmında ergime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrod çapını aştıktan sonra elektroddan kopar ve yer çekimi yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer (Anık vd., 2000).

Ark geriliminin yüksek olması nedeni ile burada ark boyu, uzundur ve dolayısı ile normal halde damla banyoya intikal ederken kısa devre oluşumu nadirdir (Anık vd., 2000).

Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkar, yalnızca CO₂ haricindeki gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde görülür, buna karşın CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma bölgesinde damlasal metal taşınımı görülür (Anık vd., 2000).

Damlaların iri olması ve metalin kaynak banyosuna yerçekimi ile taşınmasından ötürü bu yöntemde tavan kaynağı yapmak zorlaşır. Damlasal metal taşınımı halinde ark stabil değildir ve sıçrama miktarı fazladır (Anık vd., 2000).



Şekil 3.3 Uzun ark ile MIG-MAG kaynağında damla geçişi (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000)

3.1.3 Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı)

Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, sprej ark halinde görülür. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrod ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlalar halinde geçişi ile gerçekleşir. Damlacıklar tel çapından çok küçüktür ve telden uzun ark halinden çok daha süratle ayrılırlar. Damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir (Anık vd., 2000).

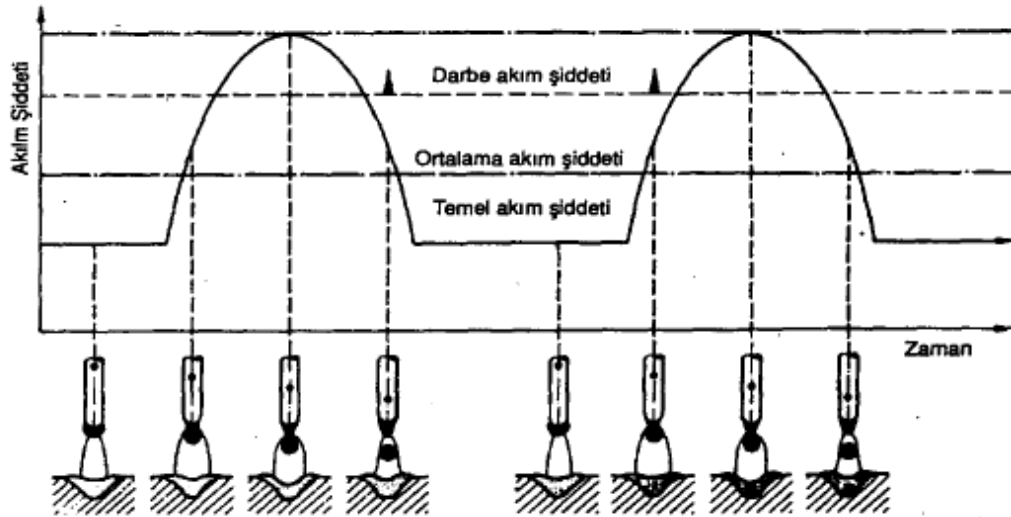
Sprej ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilim kullanıldığında ortaya çıkar. %10-15 den daha fazla CO₂ ihtiva eden koruyucu gaz karışımlarında doğru sprej ark elde edilemeyebilir (Nippes, 1989).

Sprey ark, yüksek akım şiddetlerinde oluştuğunda bilhassa kalın parçaların kaynağı için çok uygundur ve bu yöntemde sıçrama çok azdır. Yüksek ergime gücü nedeni ile banyo diğer ark türlerine nazaran daha geniş oluşur. Bu bakımdan yatay ve oluk pozisyonlarında dolgu ve kapak pasolarının çekilmesi için çok uygundur; kök pasolar için ancak altlık kullanmak koşulu ile uygulanabilir. Bu ark türünde yüksek güçlerde çalışıldığından torcun çok iyi bir şekilde soğutulması gereklidir (Anık vd., 2000).

3.1.4 Darbeli Sprey Ark ile Metal Taşınımı

Bu yöntemin uygulanabilmesi için kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreticine gerek vardır. Burada sözü edilen darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirlerinden iyi ayırmak gereklidir, darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmadan iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışmak olanağı bulunmakta ve ayrıca frekansı ayarlanarak istenen sayıda ve irilikte ergimmiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).

Bu yöntemin tek sınırlaması kaynak akım üreticinin ve tel iletme tertibatının pahalı ve donanım bakımının da pahalı olmasıdır (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).



Şekil 3.4 Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000)

Akım şiddetinin yükselmesi, parçaya olan ısı girdisinin artmasına neden olur ve daha çok yükselmesi halinde ise darbeler arasındaki sürede de ergime olabileceğinden damla oluşum

düzeni yok olur. Bu bakımdan kalın ve ısıyı iyi ileten metaller olabildiği kadar kalın elektrod kullanarak kaynatılmalıdır (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).

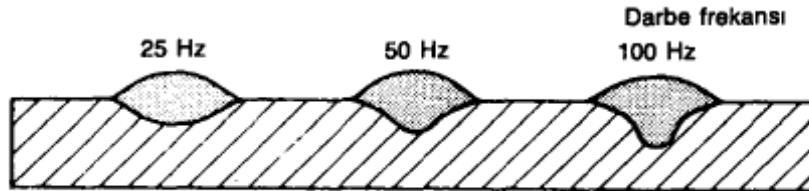
Darbe akımı, elektrod ucunda temel akım tarafından oluşturulmuş damlaya, kuvvetli bir büzülme kuvveti (Pinch Effekt) uygular ve damla kısa devre oluşturmadan ark tarafından kaynak banyosuna taşınır. Bu şekilde kısa devresiz damla taşınımı ancak darbe akımı belirli bir değere eriştiği zaman olasıdır ve bu değer elektrod malzemesi ile koruyucu gazın türüne ve tel çapına bağlı olarak değişir (Tülbentçi, 1998).

Çok şiddetli darbe akımı, damlanın çok fazla ivmelenmesine neden olur ve bu da sıçrantıyı artırır, banyoya hızla çarpan damla yarıcı bir etki yaparak dikiş kenarlarında çentikler oluşturur.

Bu ark türünün çeliklere uygulanmasında koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılmaz, zira darbe fazında ark kuvvetleri damla oluşumuna ters yönde etki yapmaktadır (Tülbentçi, 1998).

Darbe genişliğinin azalması, sinüzoidal değişim gösteren darbeye ortalama akım değerinin azalmasına neden olur; yalnız darbe genişliği daraltılırken damlaların gereken şekilde ivmelenip elektrod ucundan ayrılması için gerekli zaman göz önünde tutulmalıdır (Tülbentçi, 1998).

Darbe frekansının yükselmesi, damla sayısını, etkin akım şiddetini, parçaya olan akım girdisini artırır ve bu da dikiş biçimini etkiler. Darbe frekansı, akım üreteçlerinde genellikle 25, 33, 50 ve 100 olacak şekilde kademelendirilmiştir; 25 ve 33 düşük frekans değerlerinde oluşan ark, gözler için zararlı olduğundan bu kademeler el ile yapılan kaynakta kullanılmazlar (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).



Şekil 3.5 Darbe frekansının dikiş profiline etkisi (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000)

3.2 Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi

MIG-MAG kaynak yöntemi geniş ayar olanakları, çeşitli yardımcı malzeme ve donanımlar sayesinde günümüz endüstrisinde ince saclardan oldukça kalın kesitli parçalara kadar uygulama alanı bulmuştur (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).

İnce parçaların kaynağında birçok durumlarda sadece çok küçük ark güçlerinde çalışma gerekirken kalın parçalarda gerek ekonomiklik ve gerekse de yeterli bir nüfuziyet sağlanması, uygun pozisyonlarda çalışmanın gerçekleştirilmesi gibi nedenlerden ötürü yüksek güçlü arklar tercih edilmektedir. Yalnız şurası unutulmamalıdır ki, her kaynak makinesinde her koruyucu gazla bütün ark türlerinin eldesi mümkün değildir (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).

Örneğin, spreyc ark hali uygun elektrod ve gaz kombinasyonu ile iyi soğutulmuş torç kullanarak orta akım şiddetlerinde elde edilebilmektedir. Darbeli ark ise ancak bu iş için dizayn edilmiş akım üreteçlerine sahip olduğu zaman uygulanabilmektedir (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).

Çizelge 3.1 MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).

	SPREY ARK	UZUN ARK	KISA ARK	DARBELİ ARK
MIG	Alüminyum Bakır	Alüminyum -	Alüminyum S≤1.5 mm.	Alüminyum Bakır
MAGM	Alaşımız, az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler	Alaşımız ve az alaşımli çelikler	Alaşımız, az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler	Az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler
MAG	-	Alaşımli ve az alaşımli çelikler	Alaşımız ve alaşımli çelikler	-
KAYNAK POZİSYONU	Yatay ve oluk pozisyonda kalın ve orta kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında. Oluk pozisyonda kök ve dolgu pasolarında.	Yatay, oluk ve yukarıdan aşağıya dik pozisyonlarda kalın ve orta kalın parçaların alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda ince parçaların içköşe, alın birleştirmelerinde Her pozisyonda kalın parçaların alın birleştirmelerinin kök pasolarında. Tavan, içköşe tavan, yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı dik, korniş pozisyonlarında içköşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda orta ve kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında. Kök paso için özel hallerde. Az ısı girdisinin uygulanmasının gerekli olduğu hallerde.

4. KORUYUCU GAZLAR

4.1 Koruyucu Gazların Fonksiyonları

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür sarf malzemesi vardır, bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve ek kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MAG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekmektedir. Koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini engellemek, azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metaline sıvı kaynak banyosunda çözülerek girmesini önlemek işlevlerini yerine getirir. Ergimiş halde hemen hemen tüm metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler ve ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştıkça kaynak metalindeki elementler ile birleşir ve yeni bileşikler oluştururlar; bu olay kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye neden olur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin ergimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrodlardaki örtünün görevini görür. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır :

- a) Arkın karakteristiği
- b) Metal transferin şekli
- c) Nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili
- d) Kaynak hızı
- e) Yanma oluşu oluşma eğilimi
- f) Temizleme etkisi
- g) Kaynak metalinin mekanik özellikleri (Eryürek, 2003).

Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli etmenlerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak edilen metal veya alaşımın türü,

- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler,
- Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenmesi,
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Çizelge 4.1 EN 439'a göre ark kaynak ve kesme yöntemlerinde kullanılan gazların bileşimleri ve işaretlenmeleri (TS 5618 ve DIN 32526 ile paralel) (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

Kısa Gösterimi ¹⁾		Gazın % olarak Hacim Bileşenleri						Uygulama Alanı	Özelliği		
Grup	İşaret Sayısı	Oksitleyici		Soy		Redükleyici	Reaktif				
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂				
R	1 2			Kalan Kalan		0-15 15-35		TIG, Plazma Kaynağı, Kök Gazı	Redükleyici		
p ²⁾	1 2 3			100 Kalan	100 0-95			MIG, TIG, Plazma Kaynağı, Kök Gazı	Soy		
M1	1 2 3 4	0-5 0-5		Kalan Kalan Kalan		0-5		MAG	Hafif Oksitleyici		
M2	1 2 3 4	0-25 0-5 0-25		Kalan Kalan Kalan							
M3	1 2 3			Kalan Kalan Kalan							
C	1 2	100 Rest	0-30							Şiddetli Oksitleyici	
F	1 2					0-50	100 Kalan			Plazma Kesme Kök Koruma	Reaktif Redükleyici

¹⁾ Tabloda bulunmayan bileşenlerin karışımı olarak hazırlanan özel bileşimdeki karışım gazlar S harfi ile gösterilir.
²⁾ Ar, % 95 e kadar Helyum ile yer değiştirebilir, He miktarı EN 439 Paragraf 4 ve Tablo 3 e göre işaretlenir.

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların tür ve bileşimleri, dünyanın her gelişmiş ülkesinde standartlar ile belirlenmiştir. Bu konuda ülkemizde, Alman DIN 32526'ya paralel olarak TS 5618'de gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazlar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Avrupa Birliğinin kurulmasından sonra, AB üyesi devletler bu konuda EN 439'u hazırlamışlar ve standard da yürürlüğe girmiştir. EN 439, TS 5618 ve DIN 32526 ile esasta paralellik göstermektedir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

4.2 Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri

4.2.1 İyonizasyon Potansiyeli

Molekül, atom, iyon ve elektronlardan oluşmuş, yüksek ısı ile yüklü gaz "plazma" olarak tanımlanır. Plazma, gazı elektrik arkından geçirerek elde edilen iyonlaşmış ışıklı gaz olarak da tanımlanabilir. Plazma oluşumu, arkı saran gazların iyonizasyon potansiyeline (iyonu oluşturarak bir elektronu bir atomdan çıkarabilmek için gereken voltaj) bağımlıdır ve ark stabilitesi koruyucu gazın iyonizasyon potansiyeline bağımlıdır (Yalçın, 2005).

4.2.2 Termal İletkenlik

Koruyucu gaz elemanlarının termal iletkenlikteki farklar aynı zamanda kaynak birleştirme karakteristiklerinin sonuçlanmasında da farklılıklar oluşturur. Koruyucu gazların termal iletkenliği kaynak metalinin şeklini etkiler. Yüksek termal iletkenliğe sahip gazlar, üzerinde çalışılan parçaya daha fazla ısı aktarır; böylelikle kaynağın şekil ve nüfuziyet profilini etkiler. Ana plakaya artan ısı aktarımı, artan ek nüfuziyet ve kaynak banyosu akışkanlığına ilerler. Yüksek termal iletkenlik özellikle alüminyum ve bakır gibi yüksek iletken metaller eklendiğinde kritik öneme sahiptir. Helyum ve karbondioksit argondan daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir ve bunlar ana metale ısı aktarımına hazırdırlar (Yalçın, 2005).

4.2.3 Gaz Yoğunluğu

Koruyucu gazın yoğunluğu, kaynak bölgesinin korunması ve gaz tüketimi açısından önemli bir fiziksel özelliktir. Ağır bir gaz kaynak bölgesini daha iyi örter ve korur. Örneğin, argon gazı havadan 1,5 kat, helyum gazından 10 kat daha ağırdır. Bu nedenle helyum gazı aynı akış hızlarında diğer gazlarla aynı korumayı yapamaz. Aynı korumayı yapabilmesi için daha yüksek akış hızlarına gereksinim duyulur. Helyum gazının havadan hafif bir gaz olması tavan kaynağında avantaj sağlar (Yalçın, 2005).

4.2.4 Sıfırlık ve Çiğ Noktası

Koruyucu gazla kaynak uygulamalarında kullanılan bütün gazların çok düşük çiğ noktasına sahip olması gerekir. Bir gazın çiğ noktası, ne kadar nem içerdiğinin ölçüsüdür. Nem, arkın yüksek sıcaklıklarında oksijen ve hidrojene ayrışır, özellikle hidrojen kaynak dikişleri için çok tahrip

ediciidir. Atmosferdeki hidrojenin basıncı kaynak metalinde poroziteye neden olurken oksijen ise kaynak banyosunun yüzeyinde bir oksit tabakasının oluşmasına neden olur. Buda kaynak metalinde inkluzyona ve ergime hatalarına neden olur (Yalçın, 2005).

Koruyucu gazların çığ noktası en az 75°F veya daha düşük olmalıdır. Çizelge 4.2' de, koruyucu gazların saflık, çığ noktası gibi özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Çeşitli gazlara ait saflık ve çığ noktası değerleri (Yalçın, 2005).

Gaz Tipi	AWS Sınıflandırması	Ürün Hali	Minimum Saflık (%)	Maksimum Nem (ppm)	1 atm' de Maksimum Çığ Noktası	
					°F	°C
Argon	SG-A	Gaz	99,997	10,5	-76	-60
		Sıvı	99,997	10,5	-76	-60
Karbon dioksit	SG-C	Gaz	99,8	32	-60	-51
		Sıvı	99,8	32	-60	-21
Helyum	SG-He	Gaz	99,995	15	-71	-57
		Sıvı	99,995	15	-71	-57
Hidrojen	SG-H	Gaz	99,95	32	-60	-51
		Sıvı	99,95	32	-60	-51
Azot	SG-N	Gaz	99,9	32	-60	-51
		Sıvı	99,998	4	-90	-68
Oksijen	SG-O	Gaz	99,5	Uygun değil	-54	-18
		Sıvı	99,5	Uygun değil	-82	-63

Koruyucu gazda su buharı, oksijen ve azot gibi safiyetsizliklerin bulunması kaynak metalinin mekanik özelliklerini ters yönde etkilemektedir. Kaliteli bir kaynak dikişi, kaliteli bir korumaya ihtiyaç duyar. Bu da, temiz gaz eldesini ve bu gazın kullanımı esnasında kalitesinin korunmasını gerekli kılar (Yalçın, 2005).

Gazın bozulmasına neden olan bazı faktörler şunlardır:

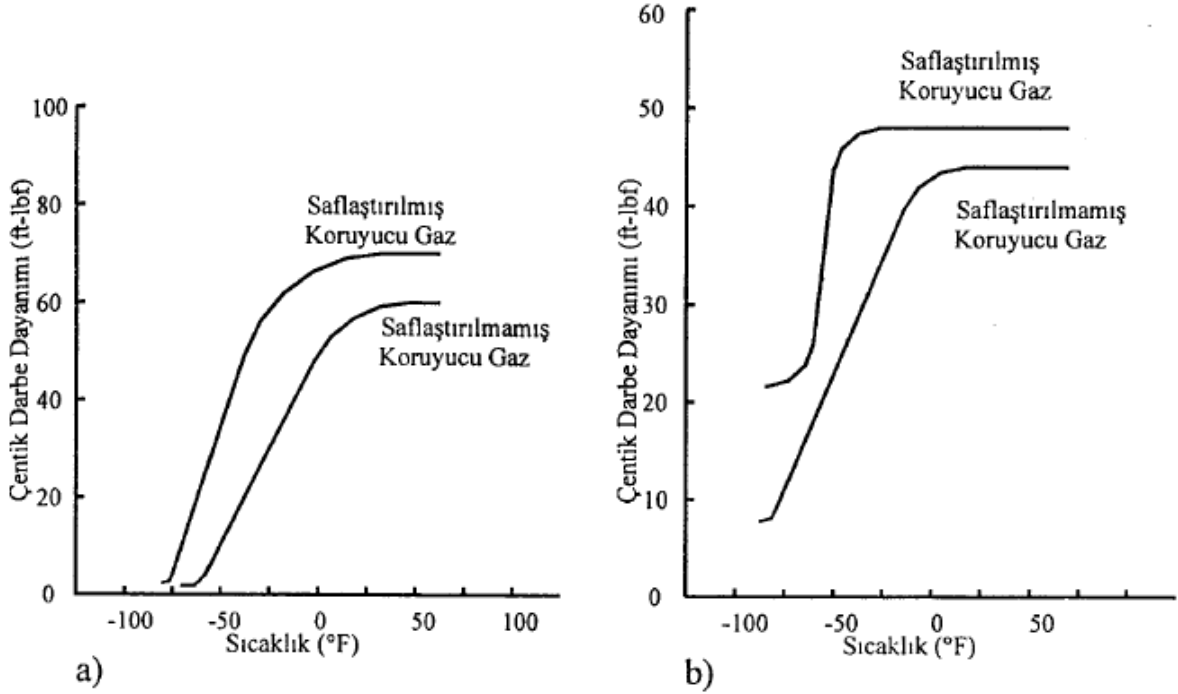
- Havadaki nemden dolayı kirlenmiş gaz silindirleri
- Kirlenmiş ya da kaçak mevcut olan gaz manifold sistemleri
- Hasarlı, arızalı ya da gevşek koruyucu gaz hattı bağlantı elemanları
- Gazların karışımı sırasında zararlı gaz bileşenlerinin istenmeyen bir şekilde karışıma dahil olması (Krisyak ve Bhadha, 1990).

Yetersiz gaz kalitesinin sonucu olarak ;

- Tamiri güç ve pahalı kaynak hataları
- İşin tamamlanma süresi gecikebilir
- İşin kalitesi tehlikeye atılır (Krisyak ve Bhadha, 1990).

Bu amaçla gaz karışımlarını saflaştırmak için bir sistem geliştirilmiştir. Genel olarak argon ve helyum gibi koruyucu gazlardan nem, oksijen ve çeşitli sebeplerden karışmış olan hidrokarbonların temizlenmesini sağlarlar (Krisyak ve Bhadha, 1990).

Krisyak ve Bhadha (1990) nın yaptığı deneyde saflaştırılmış ve saflaştırılmamış koruyucu gazların dubleks ve ferritik paslanmaz çeliklerin çentik darbe dayanımına etkisi incelenmiştir. Şekillerden de anlaşıldığı gibi saflaştırılmamış gazların çentik darbe dayanımı düşüktür.



Şekil 4.1 Koruyucu gazın saflaştırılmasının (a-dubleks, b-ferritik paslanmaz çelik) çentik darbe dayanımı üzerindeki etkisi (Krisyak ve Bhadha, 1990; Yalçın, 2005)

4.3 MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

MAG kaynağında koruyucu gaz olarak ya karbondioksit (CO₂, MAGC Yöntemi) ya da TS EN 439'a göre bir karışım gaz (MAGM Yöntemi) kullanılır (Anık ve Vural, 1996).

Çizelge 4.3 MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar (Anık ve Vural, 1996)

Kaynak yöntemi	Gazın karakteri	TS EN 439'a göre gazın işareti	Gazın bileşimi	Kullanma yeri
MIG	Asal	I1	Ar %100	Çelik dışında tüm metal ve alaşımları Cu ve Al alaşımları Cu ve Al alaşımları
	Asal	I2	He %100	
	Asal	I3	He %25-75, kalanı Ar	
Karışım gazlar	Hafif oksitleyici	M1.1	O ₂ %1...3, Ar kalan	Paslanmaz çelikler Paslanmaz çelikler Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler
		M1.2	CO ₂ %2...5, Ar kalan	
		M1.3	CO ₂ %6...14, Ar kalan	
	Oksitleyici	M2.1	CO ₂ %15...25, Ar kalan	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler (özlü tel) Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler
		M2.2	CO ₂ %5...15, O ₂ %1...3 kalan Ar	
		M3.1	CO ₂ %26...40, Ar kalan	
	Kuvvetli oksitleyici	M3.2	CO ₂ %5...20, O ₂ %4...6 Ar kalan	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler Alaşımsız çelikler
		M3.3	O ₂ %9...12, Ar kalan	
		M3.3	O ₂ %9...12, Ar kalan	
MAG	Kuvvetli oksitleyici	C	CO ₂ %100	Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler

4.3.1 Karbondioksit (CO₂)

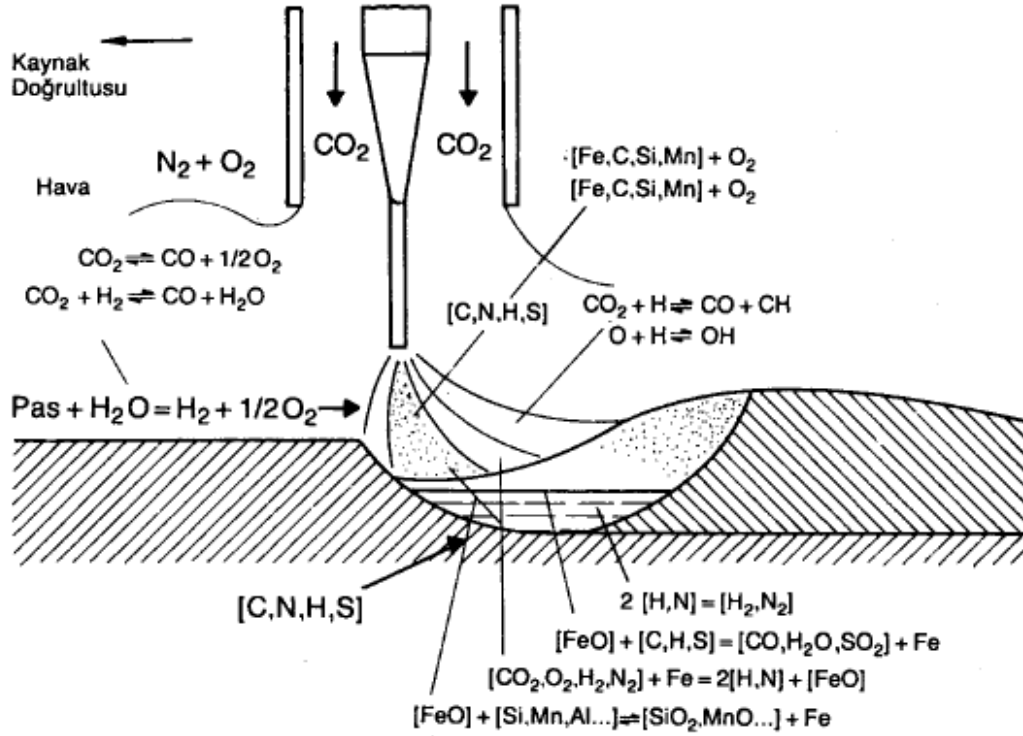
Karbondioksit, argon ve helyum gibi soy olmayan, renksiz, kokusuz, özgül ağırlığı 1,977 kg/m³ ve havadan yaklaşık 1,5 kez daha ağır olan bir gazdır. Karbonun yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit, endüstriyel çapta, yanıcı gazların, akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi ve alkolün fermantasyonunda da yan ürün olarak ve bazı yörelerdeki kuyulardan da doğrudan elde edilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Genel olarak kaynak uygulamalarında CO₂ basınçlı tüplerden çekilerek kullanılır; karbondioksit tüpleri 15 °C de yaklaşık 65 atmosferde doldurulur, bu koşullarda tüpün içindeki gaz sıvı haldedir. Karbondioksit kaynak işletmelerine genellikle tüp içinde getirilir; tüp içindeki karbondioksitin büyük bir bölümü sıvı halindedir ve sıvının üst kısmında (tüpün 1/3) ise, buharlaşmış karbondioksit gaz fazında bulunur. Kaynak sırasında tüketime bağlı olarak tüpten gaz çekildikçe, gaz fazın basıncı düşer ve gazın basıncı düştükçe de sıvı buharlaşarak basıncı normale döndürür (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Sıvı haldeki karbondioksitin buharlaşması sırasında, buharlaşma ısısına gerek vardır, bu enerji tüp tarafından atmosferden çekilerek sağlanır; bu bakımdan standard bir tüpten bir anda çok fazla miktarda gaz çekme olanağı yoktur; zira buharlaşma ısısının çekilmesi sonucu sıcaklık düşer ve sıvı karbondioksit zerrecikleri karbondioksit karına dönüşür, çıkış borusunu ve basınç düşürme tertibatını tıkar. Bu bakımdan bir tüpten sürekli olarak 12 lt/dak'dan daha büyük debilerde gaz çekilmemesi gereklidir, sürekli olmamak koşulu ile bu değer 17 lt/dak'ya kadar çıkabilir. Bu debiden daha fazla gazın gerekli olduğu hallerde, birden fazla tüpün bir manifold ile bağlanarak kullanılması gereklidir. Soğuk ortamlarda yapılan çalışmalarda ise karbondioksit karı zerreciklerin çıkış ağzını tıkamaması için, buraya elektrikli bir ısıtıcı takılması şiddetle önerilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Birçok aktif gazın kaynakta koruyucu gaz olarak kullanılmaya uygun olmamalarına karşın, karbondioksit sunduğu çok sayıda üstünlük dolayısı ile az alaşımlı ve yalın karbonlu çeliklerin gazaltı kaynağında yeni olanakların ortaya çıkmasına neden olmuş, çok geniş çapta bir uygulama alanı bulmuştur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Karbondioksitin çeliklerin kaynağında sunduğu üstünlükler derin nüfuziyet, daha yüksek kaynak hızları ve düşük kaynak maliyeti olarak sıralanabilir. Karbondioksit ile düşük akım şiddetleri ve ark gerilimlerinde kısa ark ile, yüksek akım değerlerinde ise uzun ark ve damlasal metal geçişi ile kaynak yapmak olanağı bulunmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).



Şekil 4.2 CO₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000; Kaluç, 2004).

Karbondioksit, argon gibi monoatomik ve soy bir gaz olmadığından, arkın yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır, ark sütunu içinde iyonize olan gazlar kaynak banyosuna doğru gelir ve bir miktarı tekrar karbondioksit haline geçer ve dolayısı ile ayrışma sırasında almış olduğu ısıyı tekrar verir ve bu da dikişte nüfuziyetin artmasına neden olur. Serbest kalan oksijenin bir kısmı da kaynak banyosundaki elementlerle özellikle demirle birleşir; banyo içindeki demiroksit, mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Kaynak banyosundaki bu mangan ve silisyum kaybı kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için üretilmiş teller MAG yönteminde kullanılmaz (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000; Kaluç, 2004).

MAG kaynağında, kaynak işlemi sırasında bir miktar alaşım elementi oksidasyona uğradığından, dikişin üzerinde çok ince bir curuf oluşur ve bu da çok kolay bir şekilde kalkar (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000; Kaluç, 2004).

4.3.2 Karışım Gazlar

Koruyucu gazın seçiminde, kaynak ile birleştirilecek metalin özelliklerinin yanısıra, koruyucu gazın ekonomikliği ve kaynak sırasındaki özellikleri de göz önüne alınmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Gazların ayrışma enerjileri, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları, ısı ve elektrik iletim özellikleri, maliyetleri büyük farklılıklar göstermekte ve bunun sonucu olarak da arkın oluşumu ve kaynak sırasındaki davranışı, ark içinde malzemenin taşınımı ve elde edilen kaynak bağlantısının profili farklılıklar göstermektedir. Sadece tek bir tür gazın kullanımında gazların her biri bir takım üstünlükler ve sınırlamalar gösterdiklerinden, günümüzde gazların iyi özelliklerini optimize edebilmek, sınırlamalarını en aza indirebilmek için MIG-MAG kaynak yönteminde çeşitli karışım gazlar kullanılır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Ark atmosferinin karakteri, çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir. Argon, helyum gibi soy gazların oluşturdukları ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılması sonucu oksitleyici bir karakter kazandırılabilir; hidrojen gazının karıştırılması halinde ise redükleyici bir gaz atmosferi oluşturulur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Karışım gazları (Ar/CO_2 , Ar/O_2 ve $Ar/O_2/CO_2$), saf CO_2 'den daha pahalı olduğu halde, MAG kaynağında bu gazların kullanımı Avrupa'da artmıştır. Bunun nedeni aşağıdaki gibidir (CO_2 ile karşılaştırıldığında):

- Ana malzemenin daha iyi ıslatılması ve yüksek kaynak hızı
- Yüzey atıklarının azalması ve daha güzel görünümlü kaynak dikişi
- Proses kararlılığının artması, sıçrantıların azalması ve daha yüksek elektrod verimliliği
- Daha az atık ve az temizleme süresi
- Kaynak metalinin sertliğinin, tokluğunun artması (Stenbacka ve Persson, 1989; Gülenç ve Tülbentçi, 1996; Ören, 2002).

Koruyucu gazların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin yanışlı bir ark ile kaynak yapabilmek için, her bir gaza belirli bir ark gerilimi ve akım şiddeti uygulamak gerekmektedir. Örneğin; karbondioksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek vardır. Bunun sonucu olarak iri taneli, sıçrantılı bir damla geçişi oluşur ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Yalın karbonlu çeliklerin CO₂ gazı altında kaynağı ekonomik açıdan çok uygun olmasına karşın, düzgün olmayan kaynak dikiş yüzeyleri, bazı durumlarda olumsuz etki yaratan derin nüfuziyet ve arkta metal taşınım türünün etkisi nedeni ile ortaya çıkan aşırı sıçrantı gibi olumsuzluklar da zaman zaman kendini etkin bir biçimde hissettirmektedir. Yüksek miktarda sıçrantı kaynak kalitesini düşürmesinin yanı sıra kaynak metali verimi ve sıçrantıların temizlenmesi işlemi nedeni ile de maliyeti etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

Argon'a oksijen veya karbondioksit gazların karıştırılması ile oluşan ekzoterm oksitlenme reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Karbondioksit gazına % 30'u aşan oranda Argon katılması sıçrama kaybını azaltmaktadır. Argon %20'yi aşan miktarda karbondioksit katılması ise arkta metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesine neden olur. Karbondioksit miktarı % 20'nin altına inmeye başlayınca belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında spreysel metal taşınımı gerçekleşir. Ar/CO₂ oranını değiştirerek arkta metal taşınım türünü ve kaynak nüfuziyet profilini kontrol altında tutmak olanağı vardır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Oksijenin oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir ilgisi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Argon gazına az miktarda oksijen eklenmesi (% 1 ila 5) arkın stabilizasyonunun iyileştirilmesi, sıçrantıyı en aza indirmesi ve buna karşın spreysel metal taşınım karakteristiğinin korunması, argon kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Koruyucu gaza oksijen katılması, karbondioksitten daha şiddetli olarak kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, ergiyen elektrod telinden

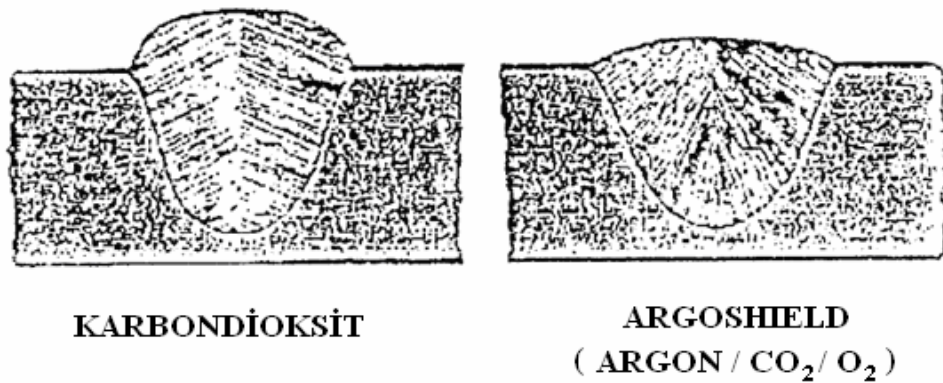
düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatarak ince damlalı bir metal taşınımı sağlamakta ve kısa devresiz damla taşınımının (sprey ark) oluşmasına yardımcı olmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Oksijen katkısı, daha derin bir nüfuziyetin ve daha düzgün bir dikiş profilinin oluşmasına olanak verdiği gibi saf argon ile çeliklerin kaynağında karşılaşılan yanma oluklarının oluşumunu da ortadan kaldırmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Argona % 1 ila 2 oksijen katılması, paslanmaz çeliklerin kaynağında çok iyi sonuç verir, sakin ve sıçrantsız bir ark ile kaynak olanağı sağlar; % 5 civarında oksijen içeren gazlar ise az alaşımlı çeliklerin ve dezokside edilmiş bakırın kaynağında iyi sonuçlar verir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Argon oksijen karışımları doğru kutuplama (elektrod negatif) ile de kullanılabilir, fakat bu durumda metal taşınımı az ve nüfuziyet derin değildir, bu bakımdan bu tür bir çalışma yüzey kaplama işlemleri için önerilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi karbondioksit ile yapılan dikişte, ana metal üzerinde ve hiçbir yararı olmayan tepe fazladan tel israfı demektir. Ar/CO₂/O₂ ile yapılanda ise daha düzgün dikiş vererek, tel tüketiminden önemli tasarruf sağlamaktadır (Okan, 1989).



Şekil 4.3 CO₂ ve Ar/ CO₂/O₂ ile yapılan kaynak dikişlerinin karşılaştırılması (Okan,1989)

Günümüz endüstrisinde standard karışım gazlar ve gaz üreten kuruluşların geliştirip piyasaya sürdükleri özel karışım gazlar piyasadan kolaylıkla tüpler içinde temin edilebilmektedir. Karışım gazlar halinde, tüpün içinde farklı yoğunlukta ve bazı hallerde bir bileşenin sıvı halde bulunması bir takım sorunlar yaratmaktadır. Karışım gaz tüpleri uzun süre kullanılmadıkları durumlarda kullanıma başlamadan önce tüp yuvarlanarak çalkalanmalı ve gaz karışımı homojen hale getirilmelidir. CO₂ içeren karışımlarda tüplerin iç kısımlarında tüp vanasına bağlı sifonlar vardır, dolayısı ile bu tüpler sadece o tür karışım gazlar ile doldurulmalıdır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5. ELEKTRODLAR

Bu yöntemde kullanılan tüm elektrodlar tel halindedir ve bir kangala sarılmış olarak makineye takılır. Kangal büyüklükleri ve tel çapları standardlarla saptanmıştır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Çıplak (dolu) tel elektrodlar, sıcak çekilmiş filmaşın tel çekme tezgahlarında soğuk olarak çekilerek istenen çapta tel haline gerilmesiyle üretilir. Çelik elektrodlar halinde, paslanmaz çelik elektrod dışındakiler gerek temas memesinden geçerken temas kolaylığı sağlamak ve gerekse de korozyondan korumak amacı ile ince bir bakır tabakası ile kaplanırlar; bu tabakanın kalınlığı ilgili standartlarda belirtilmiştir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Son yıllarda, kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere özlü veya kenetli elektrod diye isimlendirilen bir tür daha geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeritin, ferroaliyaj ve dekapanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmişlerdir. Bu şekilde tel halinde üretilmesi güç veya olanaksız bileşimdeki alaşımlar dahi kolaylıkla elektrod haline getirilebilmekte ve daha geniş bir spektrumda elektrod üretimi olanağı sağlanabilmektedir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Özlü tel elektrodların sunduğu üstünlükler son yıllarda pazar paylarını arttırmış ve tüketim artması ile fiyatları da kabul edilebilir düzeye inmiştir. Özellikle sert dolgu veya korozyona dayanıklı tabaka ile kaplama işlemlerinde bu elektrodlar bugün rakipsizdir ve birleştirme kaynaklarında sıfır altı sıcaklıklarda dahi tok kaynak metalinin gerekli olduğu hallerde ön plana geçmişlerdir; zira bazik örtülü elektrodlar ile sürekli tel elektrodların üstün özelliklerini beraberce sunmaktadırlar (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.1 MIG - MAG Kaynak Yönteminde Elektrod Seçimi

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynak yönteminde en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrodun seçimidir. Bu kaynak yönteminde tel ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi, gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrod seçiminde aşağıda belirtilmiş olan konular göz önüne alınmak zorundadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

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

a) Esas metalin mekanik özellikleri: Bu kriterle göre elektrod seçimi, genellikle esas metalin çekme ve akma mukavemeti gözönüne alınarak yapılır; bazı durumlarda, özellikle ferritik çelikler halinde malzemenin tokluğunun da (çentik-darbe mukavemeti) gözönüne alınması gereklidir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

b) Esas metalin kimyasal bileşimi: Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, özellikle renk uyumunun, korozyon direncinin, sürünme direncinin, elektriksel ve ısı iletkenliğinin söz konusu olduğu durumlarda gereklidir. Bunun yanı sıra çeliklerde, ısıdan etkilenen bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağından önceden belirlenmesi bakımından da esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir. Genel olarak, yalın karbonlu ve az alaşımlı çelikler durumunda elektrod seçiminde, en önemli faktör olarak esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

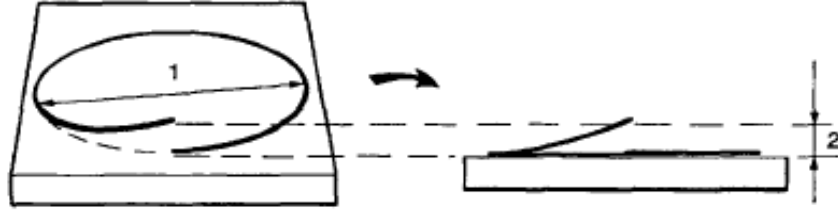
c) Koruyucu gazın türü: Koruyucu gaz olarak soy gaz veya karışımlarının kullanılması durumunda bir yanma kaybı söz konusu değildir; buna karşın bir aktif gaz, örneğin karbondioksit veya soy gaz + aktif gaz karışımı kullanılması durumunda birtakım yanma kayıpları ile karşılaşılır. Daha önceden belirtilmiş olduğu gibi aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynatılması halinde az bir miktar demir, oksijen tarafından oksitlenir ve ortaya çıkan demir oksit bileşimindeki mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrod tarafından karşılanmak zorundadır, bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için geliştirilmiş bir elektrod MAG yönteminde kullanılmaz (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

d) Esas metalin kalınlığı ve geometrisi: Kaynakla birleştirecek olan parçaların, kalın kesitli veya karışık şekilli olmaları halinde, çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir; bu durumlarda en iyi sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde bir elektrod seçilmelidir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

e) **Çalışma ortamının koşulları:** Kaynaklı yapının aşırı düşük veya aşırı yüksek sıcaklıklarda, korozif ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu durumlarda, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini aksettirmesi gereklidir. Ayrıca yönergelerde kaynak metalinin bazı ek özelliklere de sahip olması istenebilir ve bu konuda elektrod seçiminde çok önemli bir rol oynar. Günümüz endüstrisinde, elektrod seçimini kolaylaştırmak amacı ile çeşitli standartlar hazırlanmış ve özellikler sınıflandırılmıştır, gereksinimleri karşılayacak ve esas metal ile en iyi uyumu sağlayarak en iyi sonuçları verecek türde çok çeşitli çıplak tel ve özlü tel elektrodlar üretilmektedir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Yukarıda açıklanmış olan konular göz önüne alınarak yapılan elektrod seçimi sonucunda başarıya ulaşabilmek için elektrodun fiziksel özellikleri diye adlandırabileceğimiz yüzey düzgünlüğü ve temizliği ile telin beslenebilirliğinin de yeterli olması gerekmektedir. Aksi halde kaynak işlemi sırasında birtakım kaynak problemleri ile karşılaşılır ve bu da kaynak dikişinde süreksizliklere ve buna bağlı çeşitli hataların ortaya çıkmasına neden olur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

MIG-MAG kaynak yönteminde telin İngilizce de cast ve helix diye adlandırılan iki önemli özeliği de beslenebilirliği şiddetli bir biçimde etkiler. Bu olay özellikle robotik ve mekanize kaynakta çok önemlidir. Bu iki özeliği belirleyebilmek için makaradan yaklaşık 5 metre kadar tel sağılır ve yavaşça yere bırakılır, tel bir çember halini alır ve bu çemberin çapı tel elektrodun cast'i olarak adlandırılır. AWS bu çapın en az 15 inç (380 mm) olmasını önermektedir, ancak en iyi sonuçlar diğer bir anlatım ile en iyi ve tutuksuz besleme, bu değer 1,5 metre civarında olduğu zaman alınmaktadır. Helix ise çember sekline toplanmış olan bu telin yay etkisi diğer bir anlatım ile iki ucu arasındaki yükseklik farkıdır ve bu değer 25 mm civarında olduğunda temas problemi ile yani telin akım yüklenmesinde bir sorun çıkmamaktadır. Bu değer sifıra yaklaştığında telin temas memesine değmesi sürekliliğini yitirmekte ve sık sık ark sönmeleri ile karşılaşmaktadır; helix'in değerinin yüksek olması ise tel elektrodun kaynak sırasında memeden çıkarırken yön değiştirmesine ve bu da arkın gezinmesine neden olmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).



Şekil 5.1 MIG-MAG kaynağında kullanılan tel elektrolarda cast ve helix
(Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

Telin beslenebilirliğini kontrol etmek için bir diğer yöntem de, telin ekseninin iş parçası yüzeyi ile 45° lik bir açı yapacak şekilde tutmak ve salınım vermeden torcun tetiğine basarak teli ilerletmektir. Beslenme kabiliyeti iyi olan tel iş parçası üzerinde bir helisel yay biçiminde çember oluşturarak toplanır. Beslenebilirliği etkileyen bir önemli etken de kaynak torcu, tel kılavuzu ve tel sürme tertibatıdır; özellikle 4 makaralı ve 4'ü de tahrikli tel sürme tertibatları beslenebilirliği önemli ölçüde pozitif yönde etkilemektedir. Yüzeyleri düzgün, çekme dayanımı yüksek, büyük çaplı cast'a sahip tel elektrolar iyi beslenebilirlik göstermektedirler.(Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.2 Kaynak Teli İçeriğindeki Alaşım Elementleri

5.2.1 Karbon

Karbon, çeliklerin yapısal ve mekanik özelliklerini diğer bütün alaşım elementlerinden çok daha şiddetli bir şekilde etkiler, bu bakımdan çelik kaynak tellerinde miktarı %0.05 ila 0.12 arasında değişir. Bu miktar kaynak telinin mukavemetini gerektiği kadar yükselttiği gibi süneklik ve tokluğuna da olumsuz yönde hissedilebilir bir etki yapmaz (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Esas metal veya telde karbon miktarının artması, koruyucu gaz olarak CO_2 kullanılması halinde porozite oluşumuna neden olur; karbon miktarı artınca, banyoda CO oluşarak karbon kaybı ortaya çıkar, bu da gözenek oluşumuna neden olur, bu olay dezoksidasyon elementlerinin katılması ile önlenir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.2.2 Silisyum

Çeliklerin ergiyen elektrodla gazaltı kaynağında, silisyum elektrod metalinde en yaygın kullanılan dezoksidasyon elementidir. Genelde, çelik gazaltı telleri % 0,40 ila 1,2 arasında

değişen oranda silisyum içerirler ve bu bileşim aralığında, silisyum çok iyi bir dezoksidasyon özeliğine sahiptir. Silisyum içeriğinin yükselmesi sonucu kaynak metalinin sünekliğinin az bir miktar azalmasına karşın mukavemeti oldukça şiddetli bir artma oluşturur; bir sınır değer üzerinde, silisyum miktarının artması ise kaynak dikişinin çatlama hassasiyetini artırır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.2.3 Mangan

Mangan da silisyum gibi, kaynak metalinin mukavemet özelliklerinin geliştirilmesi ve kaynak banyosunun dezoksidasyonu için katılır. Mangan içeriğinin artması kaynak dikişinin mukavemetini silisyumdan daha şiddetli olarak yükseltir ve aynı zamanda kaynak metalinin çatlama hassasiyetini de azaltır. Çeliklerin kaynağında kullanılan kaynak tellerinin mangan içeriği % 1 ila 2 arasında değişir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.2.4 Alüminyum, Titanyum, Zirkonyum

Bu elementlerin hepsi de çok kuvvetli dezoksidandırılar, kaynak teline % 0.20'ye kadar ilave edildiklerinde aynı zamanda mukavemeti arttırıcı yönde de etki ederler (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.2.5 Diğer Alaşım Elementleri

Nikel, krom ve molibden mekanik özellikleri geliştirmek ve korozyona direnci arttırmak amacı ile çeşitli çelik kaynak tellerine katılan alaşım elementleridir. Bu elementler kaynak metalinin mukavemet ve tokluğunu az miktarda arttırmak, paslanmaz çelikler halinde ise oldukça yüksek miktarlarda paslanmayı önlemek için katılırlar. Genel olarak kaynak işleminde koruyucu gaz olarak bir soy gaz veya içinde az miktarda CO₂ içeren soy gaz kullanıldığında, kaynak dikişinin kimyasal bileşimi telin bileşiminden bir farklılık göstermez, buna karşın saf CO₂ kullanılması halinde Si, Mn ve diğer dezoksidasyon elementlerinin miktarında bir azalma görülür. Çok düşük miktarda (%0,04-0,05) karbon içeren teller ile yapılan kaynak dikişlerinde ise karbon miktarında bir artma görülür (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.3 Çıplak Tel (Dolu Tel) Elektrodlar

Alaşım-sız ve alaşımlı çıplak tel elektrodlar olarak iki çeşittir. Alaşım-sız çıplak tel elektrodlar yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılır, bunların bileşimlerini alaşımsız çeliklerden ayıran sadece mangan ve silisyum içeriklerinin bir miktar daha fazla olmasıdır. Alaşımlı çıplak tel elektrodlar ise özel bileşimde olup, alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır. (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000; Kaluç, 2004).

Gazaltı Metal Ark (MIG/MAG) Kaynağında kullanılan tel elektrodlar, soğuk çekme işlemiyle imal edilirler. Bu işlem için başlangıç ürünü, 5,5 ila 6,0 mm çapında sıcak haddelenmiş tellerdir (Anık ve Vural, 1996).

Çekme işlemi başlamadan önce, sıcak haddelemeden kalan yüzey oksitlerinin temizlenmesi için bir dağlama veya mekanik temizleme işlemi yapılır. 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 içyapısında deformasyon sertleşmesi oluşur ve dayanım artar; bu nedenle tele ara tavlama uygulanır. Ara tavlama, 600 ila 650 °C arasında bir yeniden kristalleşme taviden oluşur. Bu işlem sırasında tellerin yüzeyinde yeniden oksit oluşumunu önlemek için tavlama işlemi fırında vakum ortamında veya koruyucu gaz altında yapılır (Anık ve Vural, 1996).

Böylece yumuşayan teller son ölçülerine getirilmek amacıyla bir bitirme çekmesi işlemine tabi tutulur (Anık ve Vural, 1996).

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/sülfürik asit çözeltisine daldırılır. Bu banyo içinde asit, yüzeyden demir atomlarını çözer, yerine çözüldüden bakır iyonları geçer (Anık ve Vural, 1996).

Elektrolitik bakır kaplamada, yüzey tabakasının kalınlığı uygulanan gerilimden etkilenirken, galvanik kaplamada bu kalınlığı, çözeltide tutma süresi belirler (Anık ve Vural, 1996).

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, kontak

borusundaki geçiş direncini ve tel iletme mekanizmasındaki sürtünmeyi azaltır ve yeterli yoğunlukta ise, çelik teli atmosferik korozyona karşı korur (Anık ve Vural, 1996).

Yüksek alaşımlı tel elektrodlar ve metal telleri de yukarıda açıklanan yöntemle imal edilir. Ancak bunlarda herhangi bir bakır vs. kaplama yapılmaz ve yeniden kristalleşme tavı yerine malzemenin yapısına uygun başka tavlama işlemleri uygulanır (Anık ve Vural, 1996).

Bitirme çekmesinden sonra teller ya doğrudan makaralara sarılır veya, daha sonradan makaralara sarılmak üzere yaklaşık 300 kg'lık ara sarımlar haline getirilir (Anık ve Vural, 1996).

Gerek özlü ve gerekse de dolu tel elektrodların makaralara sarılmasında iki ayrı tür sarım biçimi vardır; birincisi ülkemizde yaygın olarak uygulanan sıra sarım veya paralel sarım, diğeri ise karışık sarımdır. Sıra sarım Avrupa Ülkelerinde ek maliyet getirmesi nedeni ile daha pahalıdır, üstünlüğü ise telin görünüşünün daha iyi olması, kaplama tabakası hakkında kolaylıkla fikir vermesi ve makaraya daha fazla tel sarılabilesidir. Buna karşın sıra sarımda tel gergin olduğundan sarma sırasında en küçük bir ihmal veya nakliye sırasında yapılan bir dikkatsizlik kangalın karışmasına ve büyük bir kısmının bir daha kullanılamamasına neden olur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Karışık sarım diye adlandırılan türde, telin birbirine dolaşması tehlikesi yoktur, kolay sağılır, sarma işlemi daha ucuza mal olur, yalnız telin kaplaması hakkında fikir sahibi olabilmek için bir miktar telin sağılarak muayene edilmesi gereklidir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

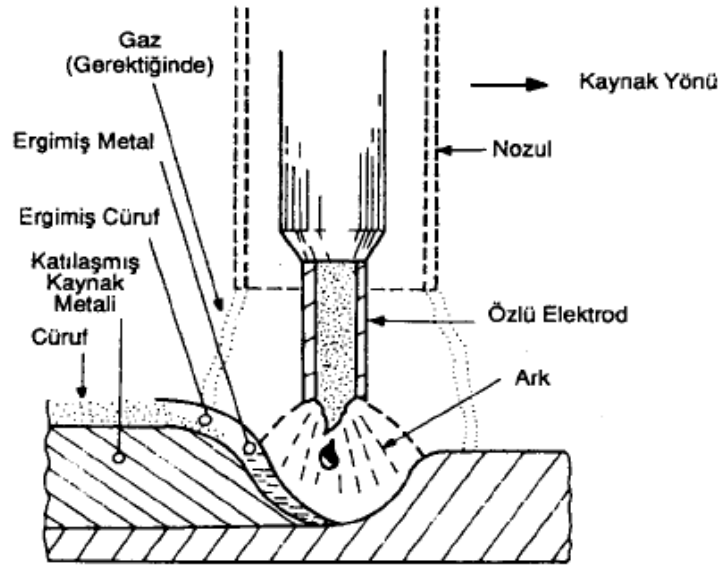
Son yıllarda robotik ve mekanize kaynak uygulamalarının artması üzerine daha uzun süre kangal değiştirmeden kaynak yapabilme, sarım ve makara giderlerini azaltma amacı ile Maraton sarma diye adlandırılan bir tür geliştirilmiştir. Maraton sarmada, tel elektrod bir karton varil içine özel bir makine ile sarılmakta ve özel bir tertiple hiç karışmadan burgusuz bir biçimde kaynak makinesi beslenebilmektedir. Telin karton varile sarılması ve varilden sağılarak makineyi beslemesi konusunda patenti alınmış çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Maraton ambalajlarının 30 kg'dan 250 kg'a kadar olan türleri batı ülkelerinde piyasadan temin edilebilmektedir. Maraton varilleri hakkında henüz bir standard geliştirilmemiştir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

5.4 Özlü Tel Elektrodlar

MIG-MAG kaynağında kaynak teli bileşimi esas metalin bileşimine uygun bir kaynak metali verecek biçimde ayarlanmıştır. Kaynak teli bileşiminde koruyucu gaz olarak karışım gaz veya karbondioksit kullanılması durumunda, ark bölgesinde CO₂'in ayrışması sonucu ortaya çıkan oksijenin etkisini ortadan kaldırmak, kaynak banyosunu dezokside etmek ve kaynak banyosundaki oksitlerin karbon tarafından redüklenmesini önlemek, esas metalden gelen kükürt ve fosforun olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için de bir takım alaşım elementleri içermek zorundadır (Tülbentçi, 1998).

Bu nedenlerden ötürü, bazı metal ve alaşımların kaynağı için istem azlığı bu tellerin üretimini ekonomik kılmamaktadır. Bazı metal ve alaşımların ise sertlik ve gevreklikleri nedeni ile tel haline getirilmelerinin teknolojik olarak olanağı yoktur (Tülbentçi, 1998).

Özlü tel elektrod ile kaynak yöntemi esas olarak MIG-MAG kaynağında olduğu gibi çıplak tel (dolu tel) yerine içi öz diye adlandırılan ve örtülü elektrodun örtüsü görevini üstlenen bir madde ile doldurulmuş boru şeklinde elektrod kullanılan bir kaynak yöntemidir.



Şekil 5.2 Özlü tel elektrod ile kaynakta ark bölgesi (Tülbentçi, 1998)

Özlü tel elektrodlar, MIG-MAG donanımı ile, gaz kullanarak veya kullanmadan uygulanmaktadır. Son yıllarda bu tür elektrodların tozaltı yönteminde de kullanılan türleri geliştirilmiştir (Tülbentçi, 1998).

Bu elektrodların sağladıkları üstünlükler şunlardır;

- Yüksek bir ergime hızına sahiptirler, dolayısı ile daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler,
- İnce çaplı elektrodlar kullanarak her pozisyonda kaynak yapılabilir,
- Bazı tür özlü elektrodlar koruyucu gaz gerektirmezler, bu da donanımın basitleşmesine olanak sağlar,
- Örtülü elektrodların bütün üstünlüklerine sahiptir buna karşın, koçan kaybı elektrod değiştirme zaman kaybı gibi sınırlamaları yoktur (Tülbentçi, 1998).

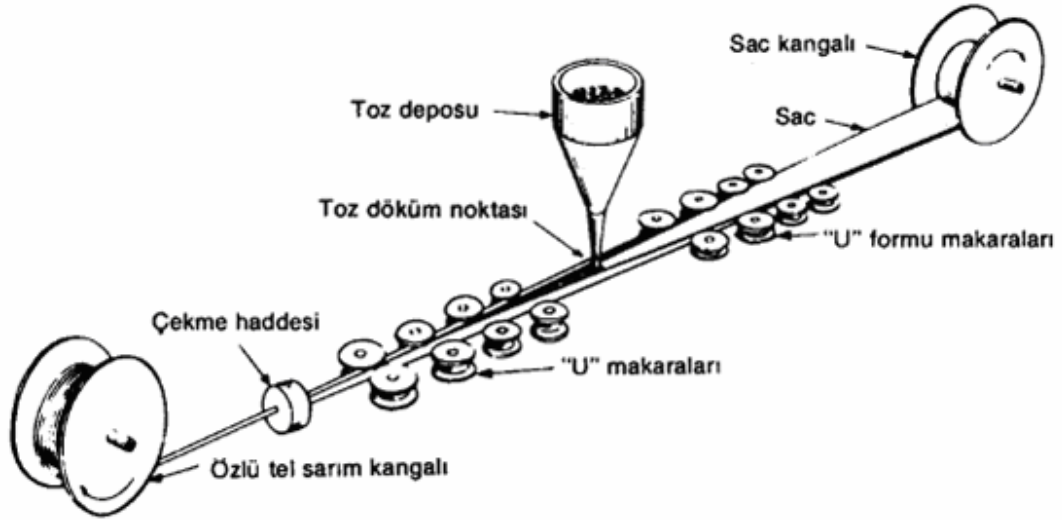
Özün görevleri şu şekildedir;

- Kaynak metalinin kimyasal bileşimini ayarlayarak arzu edilen mekanik ve metalurjik özellikleri ve korozyon direncini sağlamak,
- Ekonomik veya teknolojik bakımdan tel haline getirilme olanağı olmayan bileşimlerde kaynak teli üretimine olanak sağlamak,
- Gerektiğinde kaynak banyosunu ve kaynak bölgesini atmosferin olumsuz etkilerinden korumak,
- İçerdiği dekapanlar yardımı ile kaynak banyosunda reaksiyonlar oluşturarak istenmeyen katışkıların (gayri safiyetlerin) miktarını en aza indirmek,
- Dikiş üzerinde bir curuf oluşturarak, kaynak dikişine uygun bir biçim vermek ve soğuma sırasında kaynak dikişini korumak,
- Arkı dengeleyerek, sakin yanmasını sağlamak ve sıçrantıyı en aza indirmek (Tülbentçi, 1998).

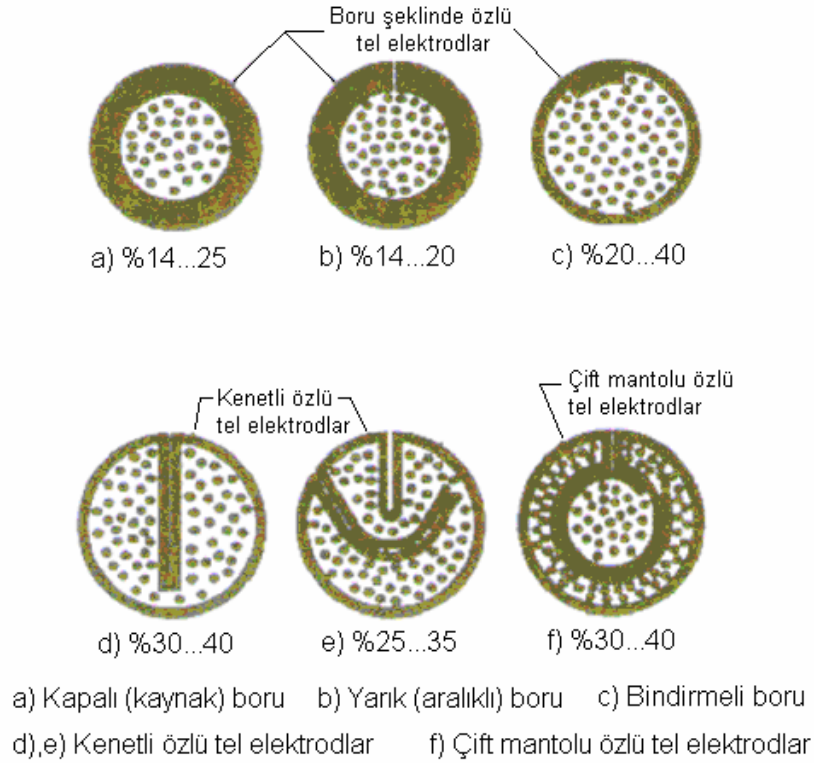
Günümüzde özlü tel elektrodlar kenetli ve dikişsiz (boru tipi) olmak üzere iki ayrı türde üretilmektedir. Kenetli özlü tel elektrodlar bir çelik bandın, bir dikişli boru yapım makinesinde olduğu gibi rulolar arasından geçerek önce U şeklinde kıvrılması ve bu biçimde iken iç kısmına toz durumunda özün (alaşım ve dekapan tozları karışımı) konup, gene aynı makinede ince bir boru biçimine getirilmesi sonucu elde edilir. Makineden çıkan bu boru özel çekme tezgahlarında tel gibi çekilerek veya haddelenerek istenen çapa indirgenirken aynı zamanda iç kısmında özün iyice yayılıp sıkışarak boşluk kalmaması ve homojen bir biçimde yayılması da sağlanmış olur. Kenetli özlü tellerin banyoya daldırılarak bakır ile kaplanma olasılığı yoktur (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Dikişsiz (boru tipi) özlü tel elektrod üretiminde, kalın bir boru içine özü oluşturan maddeler doldurulur ve sonra bu boru çekilerek özlü tel elektrod çapına indirgenir. Bu tür özlü elektrodlar aynen çıplak (dolu) elektrodlar gibi bakır ile kaplanabilir (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

Elektrod içindeki özün yüzde olarak ağırlığına dolgu derecesi denir (Anık vd., 2000). Şekil 5.4’de özlü elektrodlarda en çok kullanılan kesit formları ve bunlarla ilgili dolgu dereceleri gösterilmiştir



Şekil 5.3 Özlü tel üretimi (Cary, 1989; Kaluç, 2004)



Şekil 5.4 Özlü elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri (Gülsöz, 2000)

Boru tipi özlü elektrotların, kenetli tiplere göre bazı avantajları vardır:

- Kenetli tipte birleştirme mekanik olduğundan, öz dış ortama açıktır, halbuki boru tipinde öz, dış ortama tümüyle kapalı olduğundan nem kapma, dolayısı ile örtülü elektrotlarda olduğu gibi kurutma işlemi söz konusu değildir. Hatta yüksek nem alma hassasiyetine rağmen bazik özlü elektrotlar bu yolla üretilebilmektedir.
- Manto (dış metal kısmı) yüzeyi, kesidin dış ortama tümüyle kapalı olmasının getirdiği avantaj nedeni ile aynı çıplak elektroda da olduğu gibi bakır kaplanabilmektedir. Böylece depolama esnasında elektrod yüzeyinin paslanması söz konusu olmaz.
- Kenetli tip özlü elektrotlarda manto mekanik olarak sıkıştırıldığından elektrod tel sürme disklerinden geçerken deforme olabilir ve manto açılarak toz dışarı akabilir. Bu da kaynakta hata, telin spiral ve merdanede sıkışması ile dökülen tozun metalik aksamalarda aşınmaya yol açması tehlikelerini doğurur, halbuki boru tipi özlü elektrotlarda böyle tehlikeler yoktur.

- Boru tipi özlü elektrotlarda manto et kalınlığı, kenetli tip elektrotlardaki manto et kalınlığına göre daha fazla olduğundan, elektrod daha yüksek akım şiddetleri ile yüklenebilir, bu da kaynakta daha derin nüfuziyet demektir (Gülbahar, 1991).

Özlü tel elektrotlar kullanılan özün türüne göre rutil, bazik ve metal özlü olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir (Tülbentçi, 1998).

Çizelge 5.1 MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler (Gülsöz, 2000).

Özlü tel elektrod tipi	EN 758'e Göre Tanıtım Harfi	Mineral Bileşenler	Metalik Bileşenler
Rutil tip, yavaş katılaşılan cüruf	R	SiO ₂ , TiO ₂ , ZrO ₂ , MgO	Fe, FeMn
Rutil tip, hızlı katılaşılan cüruf	P	SiO ₂ , TiO ₂ , ZrO ₂ , FeO, TiO ₂ (ilmenit)	Fe, FeMn, FeSi, FeTi
Bazik tip	B	TiO ₂ , CaO, CaF ₂	Fe, FeMn, FeSi
Metal tozu dolgululu tip	M	-	Fe, FeMn, FeSi

Rutil özlü elektrotlar üstün kaynak özellikleri ve kaynak dikişinin çekici görünüşü nedeni ile kaynaklı konstrüksiyon üreticileri arasında çok popüler bir konuma sahiptir. Rutil öz, aynen rutil örtülü elektrotlar durumunda olduğu gibi sakin ve yumuşak bir ark, daha akışkan bir kaynak banyosu sağlar ve düşük yüzey gerilimi nedeni ile tüm akım aralığı boyunca kaynak metali elektrod ucundan kaynak banyosuna sprey arkı andıran biçimde ince damlacıklar durumunda geçer. Sıvı kaynak metali üstün bir ıslatma özeliğine sahiptir ancak bu akışkanlık tek taraftan kaynak durumunda kök paso çekimini zorlaştırdığından bu gibi durumlarda metal veya seramik altlık kullanılmasına gerek vardır (Tülbentçi, 1998).

Her pozisyonda uygulanabilen, diğer bir anlatım ile curufu çabuk katılaşılan rutil esaslı özlü tel elektrotların geliştirilmesi sonucu alışılmış rutil özlü elektrotların uygulama alanı oldukça daralmıştır (Tülbentçi, 1998).

Bazik özlü elektrotlar kaynak metalinin özellikle düşük sıcaklıklardaki gerek kaynak edildiği durumda ve gerekse de ısı işlem sonrası üstün tokluk özellikleri nedeni ile tercih edilirler. Alışılmış bazik özlü elektrotlar özellikle pozisyon kaynağı için çok uygun değildir. Kısa ark ile çalıştılarından dikiş içinde curuf kalma tehlikesi vardır ve nüfuziyet iyi değildir buna karşın kök pasoda köprü kurma kolaydır ve altlık gerektirmez (Tülbentçi, 1998).

Son yıllarda geliştirilmiş olan yeni nesil ve pozisyon kaynağına uygun bazik özlü tel elektrodlar daha yüksek gerilim ve akım şiddetlerinde çalışmakta ve arkta kaynak metali taşınımı sprey arkı andırmaktadır bu tür metal geçişine yarı sprey ark adı verilmektedir. Yüksek ark gerilimi ve akım şiddeti sonucu ark ve banyo daha sıcak olduğundan nüfuziyet artmış, ergime hataları ve dikişte curuf kalıntısı tehlikesi hemen hemen ortadan kalkmış ve bunun sonucu olarak da düşük sıcaklıklarda yüksek tokluğa sahip, yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilebilmiştir (Tülbentçi, 1998).

Metal özlü elektrodların özünde arzulanan alaşımlamayı sağlayacak miktar ve türde metal tozları ile çok az miktarda arkı dengeleyen maddeler bulunur. Bu tür özlü elektrodlar ile kaynak sonrası dikiş üzerinde curuf oluşmadığından pasoları üst üste çekmek olasıdır ve - 40 °C'ye kadar tokluğunu koruyan kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Metal özlü elektrodlar son yıllarda alaşımli çıplak tel elektrodla ciddi bir rakip haline gelmişlerdir (Tülbentçi, 1998).

Yukarıda belirtilen elektrotlardan başka dolgu kaynağı ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan, gaz altında kaynağa uygun alaşımli ve yüksek alaşımli özlü teller bulunmaktadır. Özellikle paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan tipin çıplak tele nazaran önemli bir avantajı vardır. Cüruf oluşumu ve koruyucu gaz ile çift koruma sonucu özlü tellerle yapılan kaynakta dikiş yüzeylerinin daha az oksitlenmesi ve kolayca temizlenmesi sağlanmaktadır. Bu da temizleme masraflarının azalmasına neden olmaktadır (Gülsöz, 2000).

Çizelge 5.2 EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri (Gülsöz, 2000)

Tanıtım Harfi	Cüruf Özellikleri	Tek Pasolu (S) ve Çok Pasolu (M) Kaynak	Koruyucu Gaz ¹⁾
R	Rutil esaslı, yavaş katılaştan curuf	S ve M	C ve M2
P	Rutil esaslı, hızlı katılaştan curuf	S ve M	C ve M2
B	Bazik cüruf	S ve M	C ve M2
M	Metal tozlu dolgulu	S ve M	C ve M2
V	Rutil veya bazik/lorür	S	Yok
W	Bazik/lorür, yavaş katılaştan cüruf	S ve M	Yok
Y	Bazik/lorür, hızlı katılaştan cüruf	S ve M	Yok
S	Diğer tipler	-	-

¹⁾C→CO₂, M2→EN 439 'a göre M2 gaz karışımı

Öztlü tel elektrotlar, kesit formlarından bağımsız olarak kendinden korumalı öztlü teller ve gaz korumalı öztlü teller olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmaktadır (Gülsöz, 2000).

Gaz korumalı öztlü tel elektrodlar karbondioksit (CO₂) veya argon ihtiva eden karışık gazlarla kaynak edilmektedir. İyi bir kalite elde edebilmek için koruyucu gazın seçiminde öztlü tel üreticilerinin tavsiyesine uymak gerekir. Her tip öztlü elektrod ancak belli bir koruyucu gaz ile iyi sonuçlar vermektedir (Gülsöz, 2000).

MAG kaynağına uygun öztlü teller, daha iyi bir dikiş görünümü, iyi tokluk değerleri ve birleştirme hatalarının oluşma eğiliminin daha düşük olması nedeniyle endüstrinin birçok kolunda kullanılmaktadır. Zor pozisyonlardaki kaynakta sağladığı ekonomik avantajlardan dolayı gemi yapımında ve çelik yapılarda kullanımı gittikçe artmaktadır (Gülsöz, 2000).

Kendinden korumalı öztlü elektrodlarda, öz kaynak esnasında yanarak banyoyu havanın zararlı tesirlerinden koruyacak gazı sağlayan bazı maddeler içermektedir. Dolayısıyla ile bir harici koruyucu gaz gerektirmezler (Gülbahar, 1991).

Kendinden korumalı elektrotların şimdiye kadar Şekil 5.4-a'da görüldüğü gibi kapalı kesitli borular şeklinde uygulaması bulunmamaktadır. Bunun yanında diğer tüm kesit formları uygulanmaktadır. En çok uygulananı Şekil 5.4-b'de görülen yarık boru şeklidir. Manto kısmı (dış metalik kısım) olarak genellikle alaşımsız çelik bantlar kullanılmaktadır. En çok kullanılan elektrod çapları 1,2 mm ile 3,2 mm arasında bulunmaktadır. Çizelge 5.2'ye göre standartlaştırılmış olan V, W ve Y tipleri mevcuttur (Gülsöz, 2000).

Alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında MAG-kaynağı yerine gazdan tasarruf sağlamak amacıyla kendinden korumalı öztlü tel elektrotların kullanımı yayılmıştır. Çünkü öztlü teller çıplak tellere göre pahalı olduğundan ekonomiklik sağlamamaktadır. Öztlü tellerle kaynak, mekanizasyona uygunluğu, yüksek ergime gücüne ve yüksek verime sahip olması nedeniyle daha çok örtülü çubuk elektrotlarla yapılan kaynaktan daha ekonomik olmakta ve gittikçe onun yerini almaktadır. Özellikle rüzgara karşı da daha az hassasiyet göstermesi ve ekonomikliği nedeniyle açık havada şantiye şartlarında gittikçe artan oranlarda kullanılmakta ve örtülü çubuk elektrotlarla

rekabet etmektedir. Genellikle gemi, otomobil ve makine yapımında, çelik yapılarda, köprülerin, boru hatlarının ve küresel gaz depolarının yapımında kullanılmaktadır (Gülsöz, 2000).

5.5 MAG Kaynağında Kullanılan Özlü Tel Elektrodlar İle Çıplak Tel Elektrodların Karşılaştırılması

MAG kaynağında kullanılan özlü elektrodların çıplak elektrodlara göre bazı avantajları vardır.

Bu avantajlar;

- MAG kaynağı özlü elektrodları, CO₂ gazı altında, çıplak elektrodlara göre daha sakin ve sıçramasız yanar, böylece sıçrama ile ortaya çıkacak metal kaybı önlendiği gibi bu sıçramaların temizlenmesi için gereken ek işçilikten de tasarruf edilmiş olur. Bu avantajı sağlayan husus, özde bulunan arkı stabilize edici ve metal damlasının ve banyonun yüzey gerilimini iyileştirici elemanlardır.
- Dikiş formu ve görüntüsü, çıplak elektrodlar ile yapılarına göre daha düzgün olup, uygun parametreler seçildiği takdirde yanma çentiği ve oluğu oluşmamaktadır, bu avantajı da özdeki curuf oluşturuç elemanlara borçluyuz.
- Özlü elektrodlarda, aynı çaplı çıplak elektrodlara oranla aynı akım şiddetlerinde daha büyük akım yoğunlukları ile çalışıldığından daha yüksek ergime gücü ile elektrod sürme ve kaynak hızları elde edilir (Gülbahar, 1991).

5.6. Çıplak Tel ve Özlü Tel Elektrodların Sınıflandırılması

Çeliklerin ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağında (MIG-MAG) kullanılan tel ve özlü tel elektrodlar ülkemizde TS, Alman DIN ve Amerikan AWS standartlarına göre sınıflandırılır. Bilindiği gibi, tüm Avrupa Birliği ülkelerinde geçerli olmak üzere EN standartları hazırlanmaktadır ve yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağı için EN 440 hazırlanmış ve yürürlüğe konmuştur. Ülkemizde bu konuda sadece yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağı için kullanılan çelik tellere ait hazırlanmış bir standard (TS 5618) bulunmakta ve bu standard da eski Alman DIN 8559 ile tam bir paralellik göstermektedir. Uygulamada bu halin dışında yukarıda belirtildiği gibi DIN ve AWS standartlarına başvurulmaktadır (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004).

AWS Standartlarında MIG-MAG kaynak elektrodlarının simgeleri 5 grup işareten oluşmuştur; bir örnek olmak üzere, ER 70 S - 2 işaretini ele alır ve çözümlersek (Tülbentçi, 1998; Kaluç, 2004)

- E:** Simgenin baş kısmındaki E harfi, elektrod olduğunu ve MIG-MAG yönteminde kullanılabileceğini gösterir,
- R:** R harfi ise aynı elektrodun TIG kaynağında da kullanılabileceğini belirtir.
- 70:** 2 veya 3 hane halinde verilmiş olan rakamlar kaynak telinin nominal çekme mukavemetini belirtir.
- S:** Rakamlardan sonra gelen harf kaynak telinin türünü, S Standard dolu teli, C ise özlü teli belirtir.
- 2:** Kimyasal bileşimi belirten simge, bazı hallerde bu rakam ve harflerden oluşabilir.

EN 440 standardı, en düşük akma sınırı 500 N/mm^2 'ye kadar olan karbon, karbon-mangan ve düşük alaşımlı çeliklerin gazaltı kaynağında kaynak metalinin ve çıplak tel elektrodların işaretlenmesi için şartları tespit etmektedir (Anık ve Vural, 1996).

Bir çelik MIG-MAG kaynak elektrodunun EN 440'a göre EN 440 G 46 3 M G3Si1 biçiminde işaretlenmesinde simgelerin anlamları şunlardır (Anık ve Vural, 1996).

EN 440	: Standardın numarası
G	: Tel elektrod veya MIG-MAG kaynak teli
46	: Mukavemet ve % uzama
3	: Çentik darbe özelliği
M	: Koruyucu gaz
G3Si1	: Tel elektrodun kimyasal bileşimi

EN 758 standardı, en düşük akma sınırı 500 N/mm^2 'ye kadar olan alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler için özlü tel elektrodların şartlarını ve sınıflandırılmasını vermektedir. Sınıflandırma, kaynak metalinin özlü tel elektrodun ve uygun koruyucu gaz bileşiminin özelliklerini vermektedir (Anık ve Vural, 1996).

Örnek olarak EN 758 – T 46 3 1Ni B M 4 H5 burada;

- T** : Gazaltı metal ark kaynağı için özlü tel
46 : Kaynak metalinin en düşük akma sınırı (N/mm²)
3 : -30 °C (47 J'lük en düşük çentik darbe işine ulaşılan sıcaklık)
1Ni : %1,4 Mn ve %0,6-1,2 Ni
B : Bazik özlü tel elektrod
M : Karışım gaz altında kaynak için uygun
4 : Yatay pozisyonda kaynağa uygun
H5 : Kaynak metalinde 5 cm³/100 g hidrojen değeri aşılmamalıdır.

6. KAYNAK PARAMETRELERİ

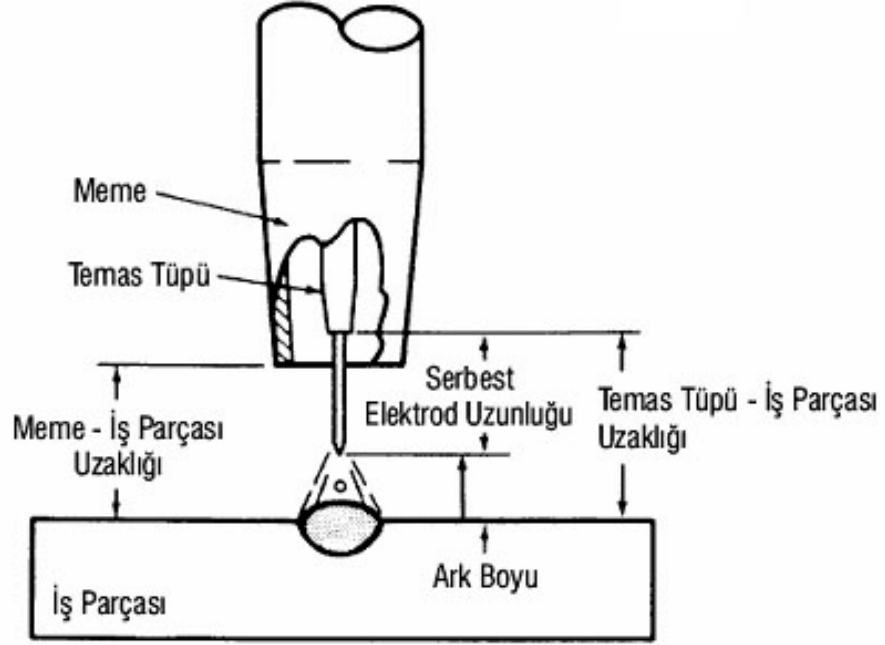
Kaynak parametreleri kaynak işlemini ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli unsurlardır. Kaynak parametreleri, kaynaklanan metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağız geometrisi göz önünde bulundurularak saptanır. Bu parametrelerin seçimi kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özellikte kaynaklı bağlantı elde edebilme olasılığını da artırır (Tülbentçi, 1998).

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak süresince değiştirilmesi olanağı olmayan parametreler, birinci derecede ayarlanabilir ve ikinci derecede ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir (Tülbentçi, 1998).

Birinci gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce saptanan kaynak koruyucu gaz türü, kutuplama(elektrodun bağlandığı kutup) ,elektrod tür ve çapı gibi etmenlerdir ve bunların kaynak işlemi sırasında değiştirilmesine olanak yoktur. Bu parametreler, kaynaklanan malzemenin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu, ergime gücü ve bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önüne alınarak saptanır (Tülbentçi, 1998).

Kaynak işlemi süresince ayarlanabilir diye adlandırılan, ikinci gruba giren parametreler, ilk gruba giren parametreler seçildikten sonra, kaynak dikişini kontrol altında tutan, dikişin biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini ve kaynaklı bağlantının emniyetini etkileyen değişkenlerdir. MIG-MAG kaynağında bu parametreler akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızıdır. Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, kaynak sırasında da gereken durumlarda yeniden ayarlanabilen ve tüm dikişi en sıkı ve etkin bir biçimde kontrol altında tutan etmenlerdir (Tülbentçi, 1998).

Üçüncü gruba, kaynak işlemi süresince sürekli olarak değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça şiddetli bir şekilde etkileyen parametreler girer. Bu parametrelerin önceden seçilip değerlendirilmeleri oldukça zordur ve bazı durumlarda etkileri de açık bir şekilde görülmez. Bunlar genelde ikinci gruba giren parametreleri etkileyen ve dolaylı olarak da kaynak dikişinin biçimini belirleyen parametrelerdir. MIG-MAG kaynağında bunlar torç açısı ve elektrod serbest tel uzunluğu olarak sıralanabilir (Tülbentçi, 1998).

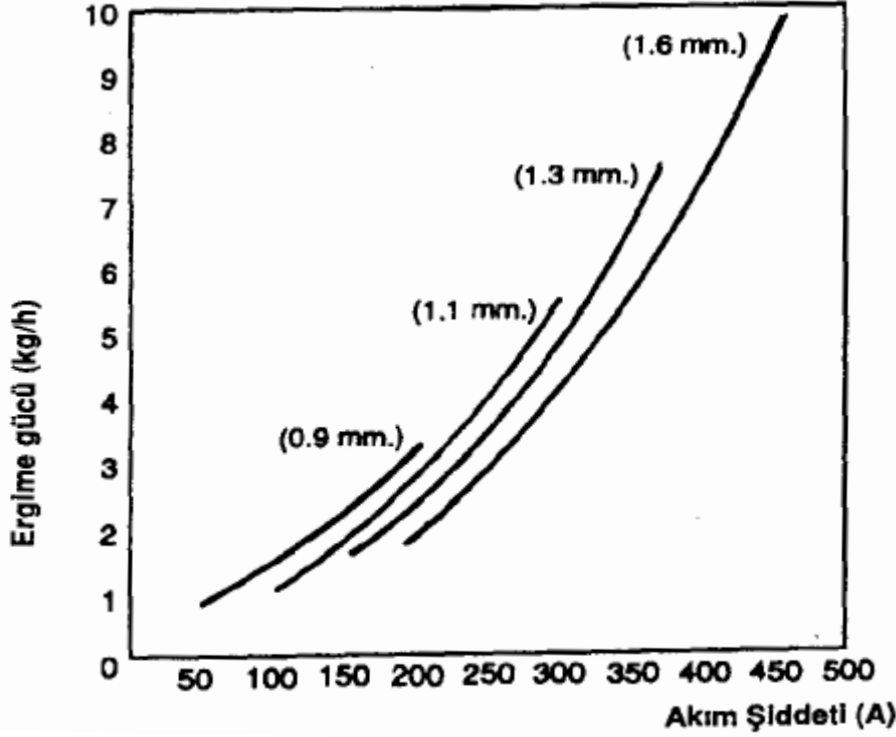


Şekil 6.1 Gazaltı kaynağında kullanılan terimlerin açıklanması (Eryürek, 2003)

6.1 Kaynak Öncesi Belirlenen Parametreler

6.1.1 Elektrod Çapı

Her tür elektrod bileşimi için çapa bağlı olarak bir akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirler ve daha yüksek bir ergime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluştururlar. Ergime gücü akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur, eş çaplı iki elektrod farklı akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddeti ile yüklenende, akım yoğunluğu büyük olduğundan, daha yüksek bir ergime gücü elde edilir. Akım şiddeti, tel çapı ve ergime gücü arasındaki ilişkiler Şekil 6.2'de görülmektedir. Dikişin nüfuziyeti de, akım yoğunluğuna bağlıdır, aynı akım şiddetlerinde, küçük çaplı elektrodla daha derin nüfuziyetli dikişler elde edilir (Tülbentçi, 1998).



Şekil 6.2 Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve elektrod çapı arasındaki ilişki (Yumuşak çelik elektrod, koruyucu gaz CO₂) (Tülbentçi, 1998)

Kullanılacak olan kaynak elektrodunun çapının seçiminde kaynatılan parçanın kalınlığı, nüfuziyet derecesi, ergime gücü, arzu edilen kaynak dikişi profili, kaynak pozisyonu ve elektrodların fiyatı göz önünde bulundurulur. Küçük çaplı elektrodlar ağırlık ölçüsünde daha pahalıdır, fakat her uygulama için kaynak maliyetini en aza indiren bir elektrod çapı bulmak olanağı vardır (Tülbentçi, 1998).

6.1.2 Koruyucu Gaz Türü

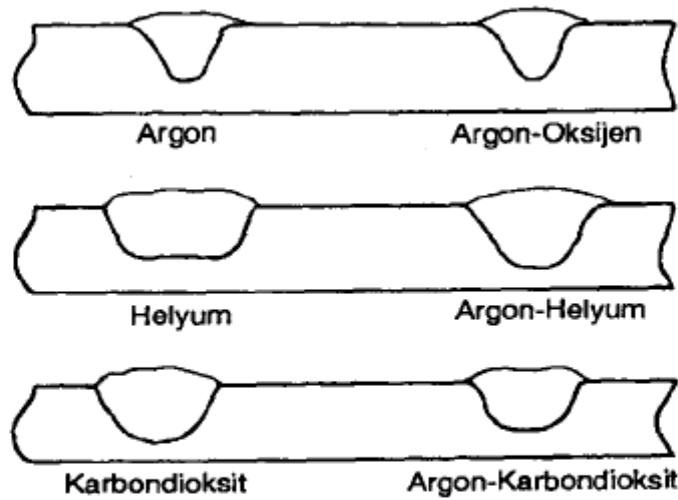
Gazaltı kaynağında çeşitli türlerde gazlar kullanılır ve her gazın oluşturduğu ergime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyet birbirlerinden farklıdır. Koruyucu gaz türünün aynı zamanda kaynak sırasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arktaki taşınım biçimine ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır (Tülbentçi, 1998).

Demir esaslı metallerin kaynağında saf karbondioksit ile, argon-karbondioksit ve argon-oksijen karışımları kullanılır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddeti

için en büyük ergime gücü, en derin nüfuziyet, en geniş ve en konveks kaynak dikişi elde edilir. Karbondioksit en ucuz koruyucu gaz olmasına karşın en fazla sıçrama kaybı ve en fazla duman oluşturan gazdır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oluşan yüksek ısı girdisi dolayısı ile aynı akım şiddeti için daha yüksek hızlarda kaynak yapmak olanağı oluşabilmektedir (Tülbentçi, 1998).

Argon ve argon-oksijen karışımı gazlar, kaynak sırasında karbondioksitin tam bir karşıtı özellik gösterirler; bu gazlar ile en düşük ergime gücü, en az nüfuziyet, en dar ve en yüksek kaynak dikişi elde edilir. Argon-oksijen karışımı gazlar aynı zamanda en az duman ve en az sıçrama oluşturan bir kaynak işlemi sağlarlar. Argon-karbondioksit karışımı gazlar ise karbondioksit ve argon-oksijen karışımı arasında bir özellik gösterirler (Tülbentçi, 1998).

Demirdışı metallerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, argon, helyum ve argon-helyum karışımlarıdır. Bu durumda da argon en az nüfuziyeti, en düşük ergime gücünü, en dar dikişi veren gazdır. Helyum ve argon-helyum karışımlarına nazaran daha ucuz olan argon aynı zamanda en az sıçrama oluşturan gazdır. Helyum en derin nüfuziyeti, daha yüksek bir ergime gücü, daha geniş ve konveks bir kaynak dikişi oluşumunu sağlar. Helyumun kullanılması durumunda aynı ark boyu için ark gerilimi daha yüksektir ve kaynak sırasında koruyucu gaz tüketimi argona nazaran daha fazladır. Argon-helyum karışımları, karışım oranına bağlı olarak bu ikisinin arasında bir karakteristik gösterir (Tülbentçi, 1998).

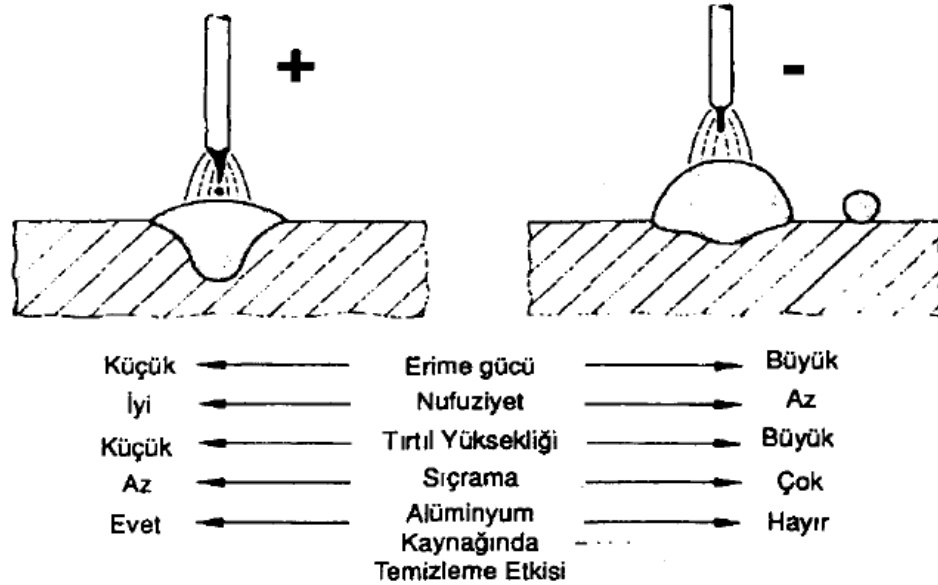


Şekil 6.3 Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikiş profillerinin şematik olarak gösterilişi (Tülbentçi, 1998)

6.1.3 Kutuplama

Kutuplama terimi kaynak torcunun bir doğru akım ünitesinin kutuplarına elektriksel olarak bağlanmasını tanımlamak için kullanılır. Torcun güç kablosu, ünitenin pozitif kutbuna bağlanacak olursa, bu kutuplamaya doğru akım elektrod pozitif kutuplama (DAEP) veya ters kutuplama adı verilir. Torç negatif kutba bağlanacak olursa kutuplamaya doğru akım negatif kutuplama (DAEN) veya düz kutuplama adı verilir. Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı uygulamalarının büyük bir çoğunluğunda doğru akım elektrod pozitif kutuplama kullanılır. Bunun nedeni bu kutuplamanın geniş bir kaynak akım aralığında kararlı bir ark, yumuşak bir metal iletimi, göreceli olarak daha az sıçrama, iyi bir kaynak dikişi özelliği ve daha fazla nüfuziyet oluşturmasıdır (Eryürek, 2003).

Doğru akım elektrod negatif kutuplama ise nadiren kullanılır. Bunun nedeni aksel spray iletimin ticari olarak pek kabul görmemiş bazı değişiklikler yapmadan gerçekleşmemesidir. Doğru akım elektrod negatif kutuplamanın yüksek ergime hızları oluşturmak gibi olumlu bir yanı olmakla birlikte damla iletim tipi iri damlalı iletim olduğundan bu olumlu tarafından yararlanmak mümkün değildir (Eryürek, 2003).



Şekil 6.4 MIG-MAG Kaynağında kutuplamanın etkisi
(Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000; Kaluç,2004)

6.2 Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

6.2.1 Kaynak Akım Şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin ergime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetlidir. Sabit gerilim karakteristikli olan MIG-MAG kaynak makinelerinde, kaynak akım şiddeti tel hızı ile birlikte, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır, tel ilerletme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artar (Tülbentçi, 1998).

Diğer tüm değişkenler sabitken kaynak akımında (elektrod besleme hızında) artma aşağıdaki sonuçları doğurur :

- Kaynak nüfuziyet derinliğinde ve genişliğinde artma
- Yığılma hızında artma
- Kaynak dikişinin boyutlarında artma (Eryürek, 2003).

Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete neden olduğundan delinmelerin ortaya çıkmasına yol açabilir; çok düşük akım şiddeti de, çok kötü bir nüfuziyete ve elektrod metalinin parçanın üzerine yığılmasına neden olur (Tülbentçi, 1998).

6.2.2 Kaynak Gerilimi (Ark boyu)

Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üretende ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir (Tülbentçi, 1998).

Sabit gerilim karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı türlerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanır. Zira, bu tür akım üreteçlerinde, her ark gerilimi değeri için makina tarafından sabit olarak tutulan bir ark boyu vardır. Sabit akım karakteristikli makinalarda (örtülü elektrod ile ark kaynağı, TIG) ise, ark boyunu kaynakçı ayarlamak zorundadır (Tülbentçi, 1998).

Bir uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrod çapı, kaynak pozisyonu, ağız biçimi ve esas metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanır. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut değildir. Örneğin, ark boyu, aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması haline göre çok

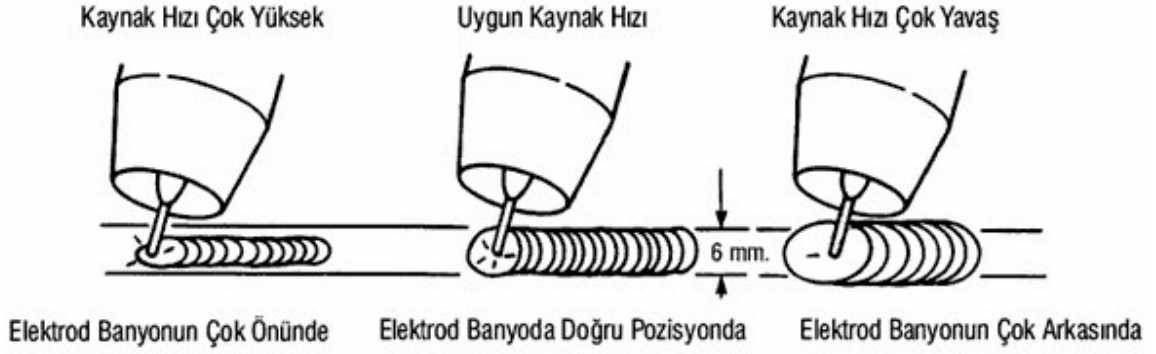
daha uzundur. Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşulu ile ark geriliminin artması durumunda kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır (Tülbentçi, 1998).

Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artar ve bu değerden sonra azalmaya başlar. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyet azlığı dolayısı ile bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı şişkin (konveks) kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı derecede küçük ark gerilimi ise gözenekliliğe neden olur (Tülbentçi, 1998).

6.2.3 Kaynak Hızı

Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanır (Tülbentçi, 1998).

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi veya birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da kaynak banyosunun büyümesine neden olur ve sonuçta geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Kaynak hızının artması, dikiş yüksekliğinin artmasına neden olur. Aşırı derecede yavaş kaynak hızı, fazla miktarda kaynak metalinin yığılması ve nüfuziyetin azlığı nedeni ile ağız kenarlarında ergimeden kalan bölge oluşmasına neden olur. Hızın artması birim boya verilen ısının azalmasına ve dolayısı ile de esas metalin ergiyen miktarlarının azalmasına neden olur ve bu da nüfuziyeti azaltır. Kaynak hızının aşırı artması, kaynak metalinin kaynak ağızını doldurmaması nedeni ile dikiş kenarlarında yanma oluklarını andıran kanalların oluşmasına neden olur. Şekil 6.5'de kaynak hızının kaynak dikişine olan etkisi görülmektedir (Tülbentçi, 1998).



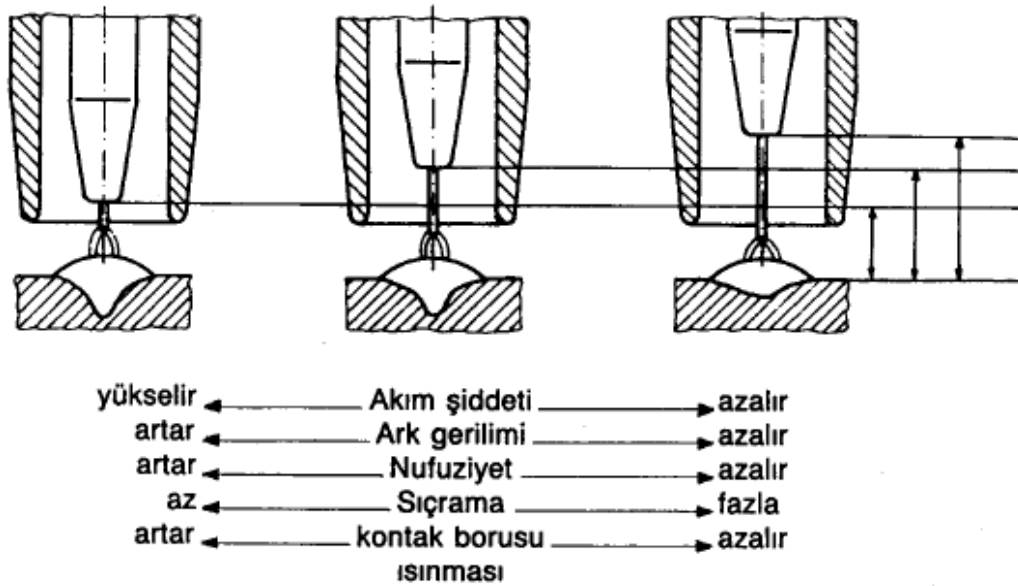
Şekil 6.5 Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi (Eryürek, 2003)

6.3 İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler

6.3.1 Serbest Tel Uzunluğu

Elektrod serbest tel uzunluğu, torç içindeki temas memesinin en uç noktası ile tel elektrodun uç kısmı arasındaki uzaklık olarak tanımlanır. Bu boyun uzaması sonucu elektrodun elektrik direnci artar ve elektrodun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükselir ve dolayısı ile de elektrodun uç noktasını ergitebilmek için gerekli akım şiddetinde azalma ortaya çıkar.

Serbest tel uzunluğunun artması ergime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur, sonuç olarak serbest tel uzunluğunun aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta) kaynak dikişine yığılmasına neden olur (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000).



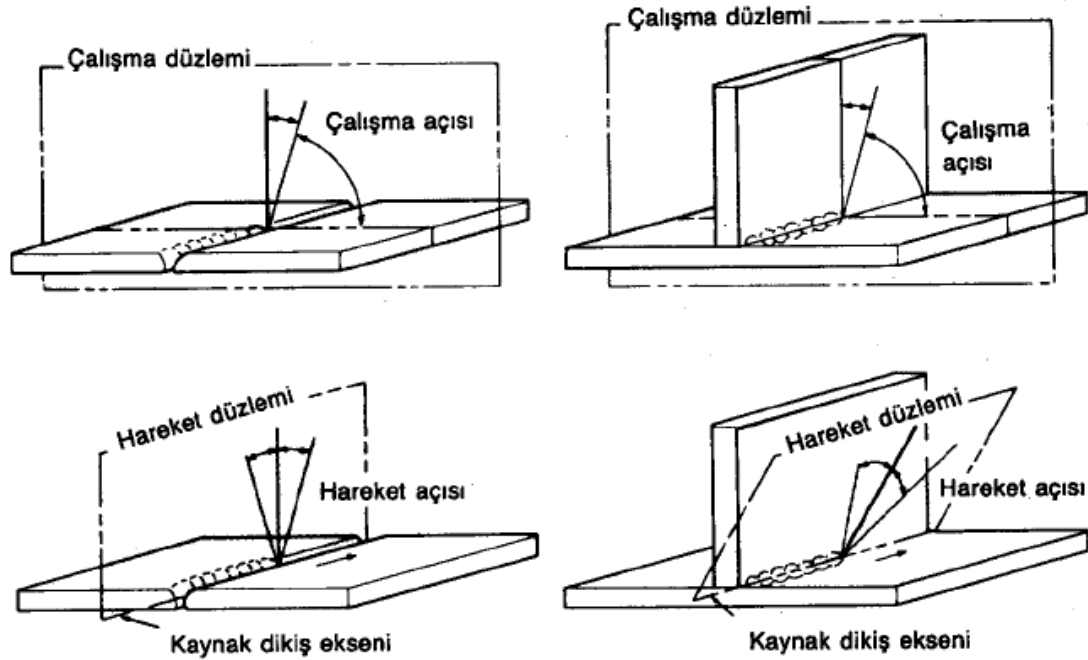
Şekil 6.6 Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (Tülbentçi, 1998; Anık vd., 2000)

Genel olarak serbest tel uzunluğu, kaynak ağzında, kısa bir bölgede kök açıklığının değiştiği hallerde, dikişi kompanse edebilmek gayesi ile kullanılır. Örneğin; geniş kök açıklığı halinde, nüfuziyetin azaltılmasının gerekli olduğu yerlerde serbest tel uzunluğu artırılarak akım şiddetinin ve nüfuziyetin azaltılması sağlanmış olur (Tülbentçi, 1998).

6.3.2 Torç Açısı

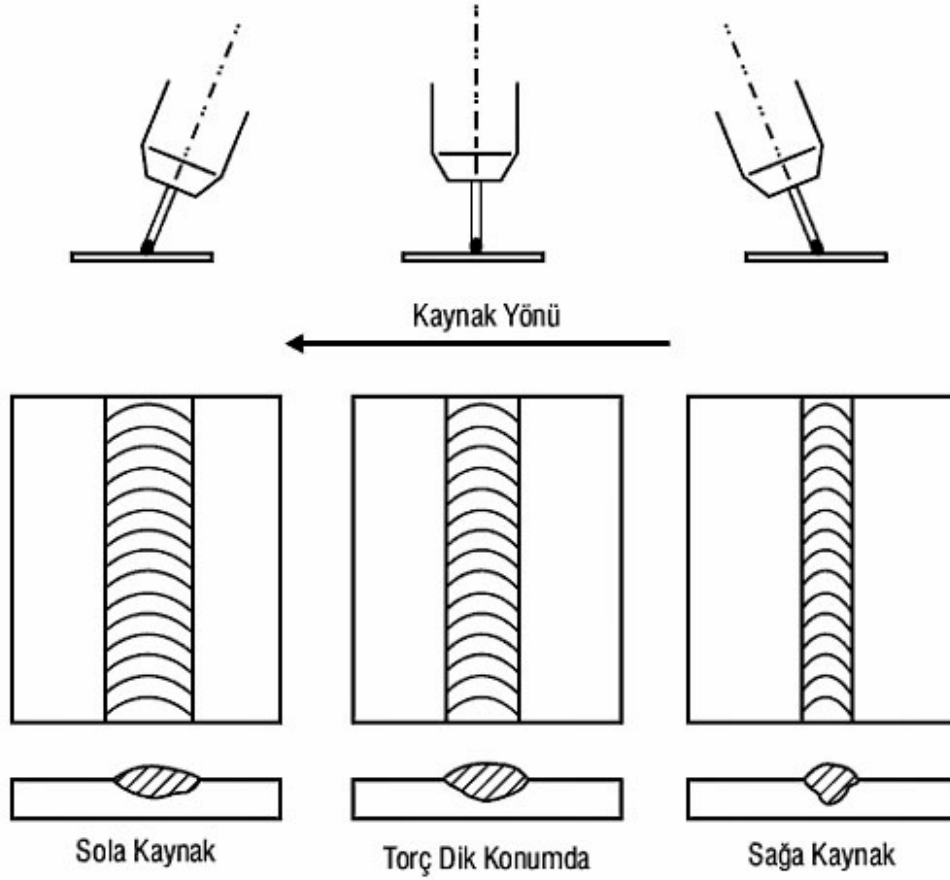
Kaynak elektrodunun veya torçunun iş parçasına nazaran konumu ve kaynak sırasındaki hareketi kaynak dikişinin biçimini etkileyen etmenlerden bir tanesidir (Tülbentçi, 1998).

Kaynak doğrultusuna dik düzleme çalışma düzlemi ve bu düzlem üzerinde torçun iz düşümü ile kaynak yapılan parçanın üst yüzü arasındaki açıya çalışma açısı denir. Kaynak doğrultusu ve elektrodun geçen düzleme de hareket düzlemi adı verilir. Elektrodun bu düzlemde bulunan ve kaynak doğrultusuna dik olan çizgi ile yaptığı açı hareket açısı olarak tanımlanır (Tülbentçi, 1998).



Şekil 6.7 Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrod açıları (Tülbentçi, 1998)

Elektrodun ucu kaynak yönünün aksi yönüne doğru yönelmişse, bu teknik sağa kaynak, elektrod ucu kaynak doğrultusuna doğru yönelmişse bu teknik sola kaynak olarak adlandırılır. Elektrod açıları ve bunların dikiş şekline ve nüfuziyete etkileri Şekil 6.8'de gösterilmiştir (Eryürek, 2003).



Şekil 6.8 Elektrod açısının ve kaynak tekniğinin etkileri (Eryürek, 2003)

Bütün diğer şartlar değiştirilmeden, hareket açısı sıfırdan itibaren sola kaynak tekniğine doğru arttırılacak olursa, nüfuziyet artar ve kaynak dikişi geniş ve düz hale dönüşür. En yüksek nüfuziyet sağa kaynak tekniği ile hareket açısı 25° iken meydana gelir. Sağa kaynak tekniği, aynı zamanda daha dışbükey ve daha dar bir dikiş, daha kararlı bir ark ve iş parçası üzerinde daha az sıçrama meydana getirir (Eryürek, 2003).

Tüm pozisyonlarda, erimiş kaynak banyosunun daha iyi kontrol edilmesi ve korunması için normal olarak kullanılan elektrod açısı 5 ile 15 derece arasında değişen hareket açısıdır (Eryürek, 2003).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada MAG kaynak yönteminde elektrod tipinin (çıplak tel-özlü tel) kaynak dikişi özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla çıplak tel ve rutil karakterli özlü tel kullanılarak numuneler kaynak edilmiştir. Daha sonra numuneler çekme deneyi ve sertlik deneylerine tabi tutulmuş, en son aşamada ise makroskopik incelemeler yapılmıştır.

7.1 Deneyselerde Kullanılan Malzemeler

7.1.1 Ana Metal

Deneysel çalışmalarda ana metal olarak St 37 düşük karbonlu yapı çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi aşağıdaki gibidir.

Çizelge 7.1. Ana metalin kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim (%)				
C	Mn	Si	S	P
0.11	0.7	0.16	0.029	0.022

7.1.2 Kullanılan Elektrodlar

1- Çıplak Tel Elektrod
Tel Çapı : Ø 1.2 mm

Standartlardaki Gösterilişi:

AWS A5.18 : ER 70-S6
EN 440 : G3 Si 1
DIN 8559 : SG2

Çizelge 7.2 Çıplak tel elektrodun kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim (%)		
C	Si	Mn
0.10	0.9	1.5

Mekanik Özellikler

R_m Çekme Mukavemeti : 550 Mpa
Uzama : % 24
Darbe Dayanımı : 20 °C 120J , -20 °C 80J

2- Rutil Karakterli Özlü Tel Elektrod
Tel Çapı : Ø 1.2 mm

Standartlardaki Gösterilişi:

AWS A5.20 : E71T-1 H4
E71T-1 M H8

EN 758-97 : T 42 2 PC 1 H5
T 46 2 PM 1 H100

Çizelge 7.3 Rutil karakterli özlü tel elektrodun kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim (%)		
C	Si	Mn
0.06	0.4	1.25

Mekanik Özellikler

R_{eL} Akma Mukavemeti : 460 Mpa
R_m Çekme Mukavemeti : 550 Mpa
Uzama : % 24
Darbe Dayanımı : -20°C 54J

7.1.3 Koruyucu Gaz

Deneylerde karışım gaz kullanılmıştır. Karışım oranları aşağıdaki gibidir.

%76 Ar + %20 CO₂ + %4 O₂

7.1.4 Kaynak Makinesi

Deneylerde Oerlikon GKS 500 marka MIG/MAG kaynak makinesi kullanılmıştır.



Şekil 7.1 Oerlikon GKS 500 kaynak makinesi

Çizelge 7.4 Oerlikon GKS 500 kaynak makinesi teknik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	
GÜÇ KAYNAĞI	
Şebeke Gerilimi (3 Faz)	380 V / 50 Hz
Şebekeden Çekilen Güç (%60)	26,3 KVA
Şebekeden Çekilen Akım (60%)	40 A
Tavsiye Edilen Şebeke Sigortaları	3 x 50 A
Anma Kaynak Akımı (60%)	500 A DC
Kaynak Akım Sahası	45 - 500 A DC
Boşta Çalışma Gerilimi	19 - 53 V DC
Voltaj Kademe Sayısı (Kaba x İnce)	3 x 10
Boyutlar (u x g x y)	1030 x 440 x 740 mm
Ağırlık	243 kg
İzolasyon Sınıfı	IP 21
TEL SÜRME ÜNİTESİ	
Tel Sürme Makarası Ebadı	1.2 / 1.6 mm
Tel Sürme Hızı	1 - 20 m/dk
Tetikleme Kontrolü	2/4
Makara Sayısı	4
Boyutlar (u x g x y)	560 x 225 x 380 mm
Ağırlık (kaynak teli ve ara paket hariç)	28 kg
Ara Paket Uzunluğu	5 m
SU SOĞUTMA ÜNİTESİ	
Su Deposu Hacmi	10 lt
Boyutlar (u x g x y)	760 x 440 x 170 mm
Ağırlık	28 kg

7.2 Uygulanan Deneyler

7.2.1 Çekme Deneyi:

Çekme deneyi malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılır. Çekme deneyi ilgili standartlara göre hazırlanan deney numunesinin, tek eksen ve sabit bir hızla kopuncaya kadar çekilmesi işlemidir (Savaşkan, 1999).

Bu çalışmada TS 287 EN 895/1996 standardına göre numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 300×40×10 mm ebatlarında kesilmiştir. Bu numunelere 60° lik V kaynak ağızı açılmıştır. Bu ebatlardaki iki adet numune karşılıklı olarak birleştirilmiştir. Kaynakla birleştirildikten sonra parçaların iki yüzeyi taşlanarak hem fazla kaynak metali temizlenmiş hem de iki yüzeyin

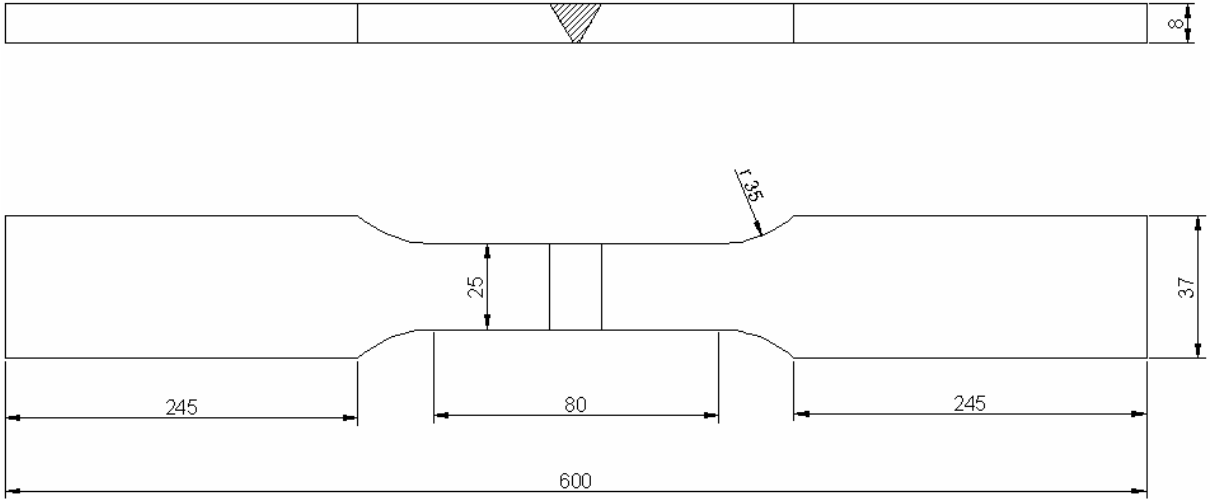
birbirine paralel olması sağlanmıştır. Daha sonra parçaların kenarları işlenerek Şekil 7.2'deki ölçülere uygun numuneler elde edilmiştir.

Ayrıca ana metalin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla ana metalden 1 adet çekme çubuğu numunesi yapılmıştır.

Kullanılan Kaynak Parametreleri;

Çizelge 7.5 Kaynak parametreleri

	Tel Çapı <i>mm</i>	Kaynak Gerilimi <i>Volt</i>	Kaynak Akımı <i>Amper</i>	Serb. Tel Uzunl. <i>mm</i>
Çıplak Tel	1.2	26	250	15
Özlü Tel	1.2	26	250	15



Şekil 7.2 Çekme çubuğu numunesi (TS 287 EN 895, 1996)

Deneyleer 120 tonluk DARTEC marka çekme deney cihazında yapılmıştır.



Şekil 7.3 Çekme cihazı

Çizelge 7.6 Ana metalden yapılmış numunenin çekme deneyi sonuçları

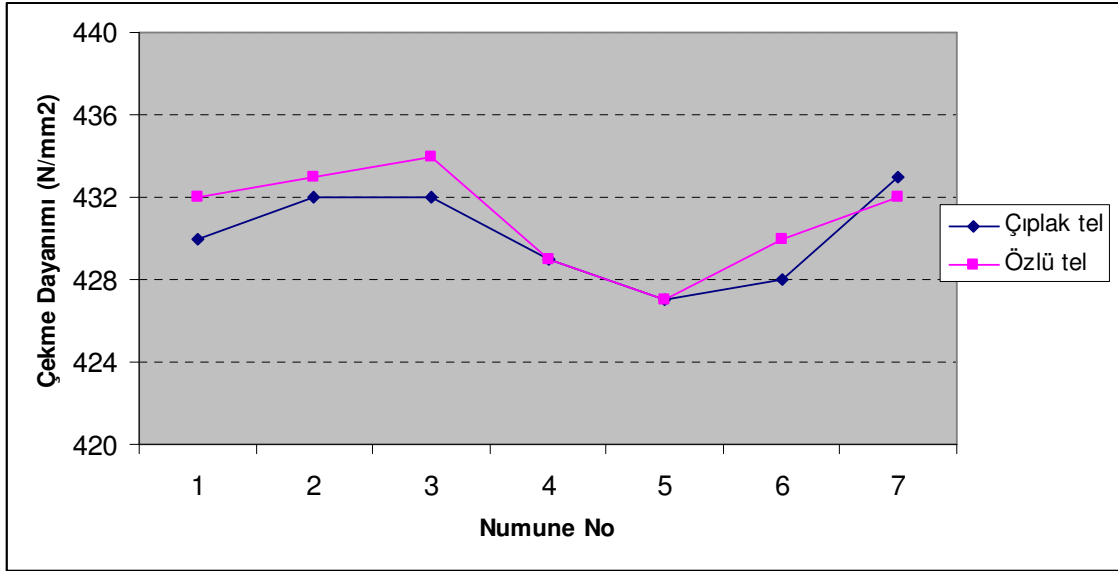
Çekme Dayanımı N/mm ²	Akma Dayanımı N/mm ²	% Uzama
426	270	34

Çizelge 7.7 Çıplak tel elektrod ile kaynak edilmiş numunelerin çekme deneyi sonuçları

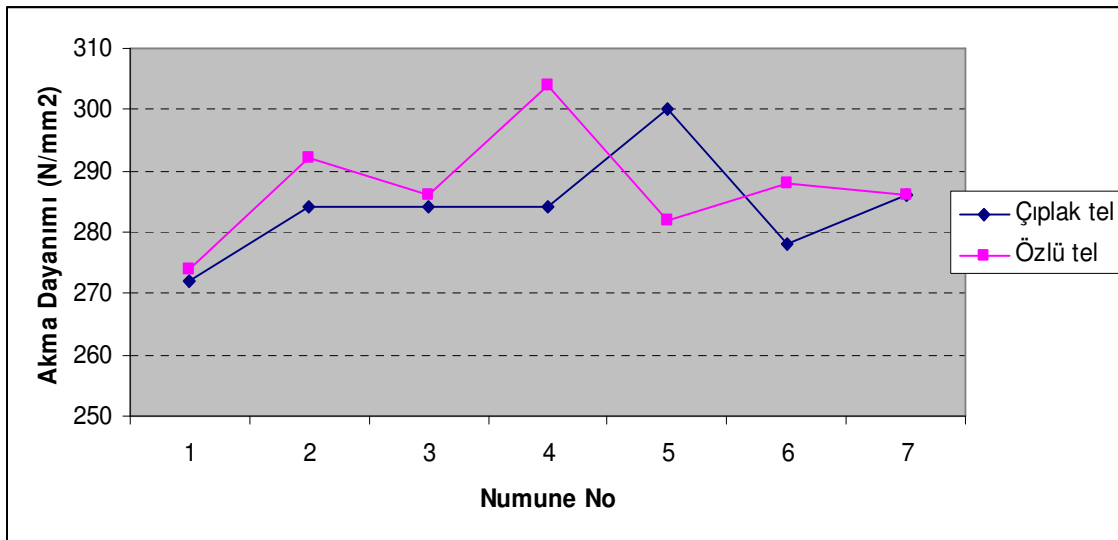
Numune No	Çekme Dayanımı N/mm ²	Akma Dayanımı N/mm ²	% Uzama	Kopma Bölgesi
1	430	272	28,6	Ana Metal
2	432	284	29,5	Ana Metal
3	432	284	27,6	Ana Metal
4	429	284	27,3	Ana Metal
5	427	300	26,6	Ana Metal
6	428	278	29,2	Ana Metal
7	433	286	26,7	Ana Metal

Çizelge 7.8 Özlü tel elektrod ile kaynak edilmiş numunelerin çekme deneyi sonuçları

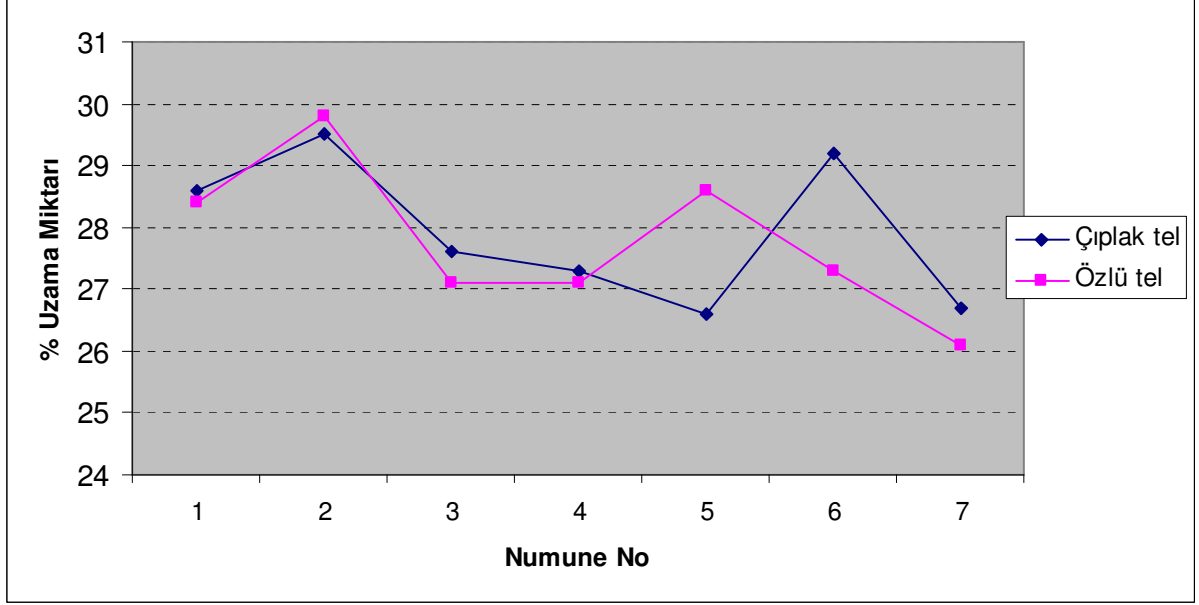
Numune No	Çekme Dayanımı N/mm ²	Akma Dayanımı N/mm ²	% Uzama	Kopma Bölgesi
1	432	274	28,4	Ana Metal
2	433	292	29,8	Ana Metal
3	434	286	27,1	Ana Metal
4	429	304	27,1	Ana Metal
5	427	282	28,6	Ana Metal
6	430	288	27,3	Ana Metal
7	432	286	26,1	Ana Metal



Şekil 7.4 Çekme dayanımı grafiği



Şekil 7.5 Akma dayanımı grafiği



Şekil 7.6 % Uzama miktarı grafiği

7.2.2 Sertlik Deneyi

Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Bilimsel anlamda ise, bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterdiği direnç ölçülür (Savaşkan, 1999).

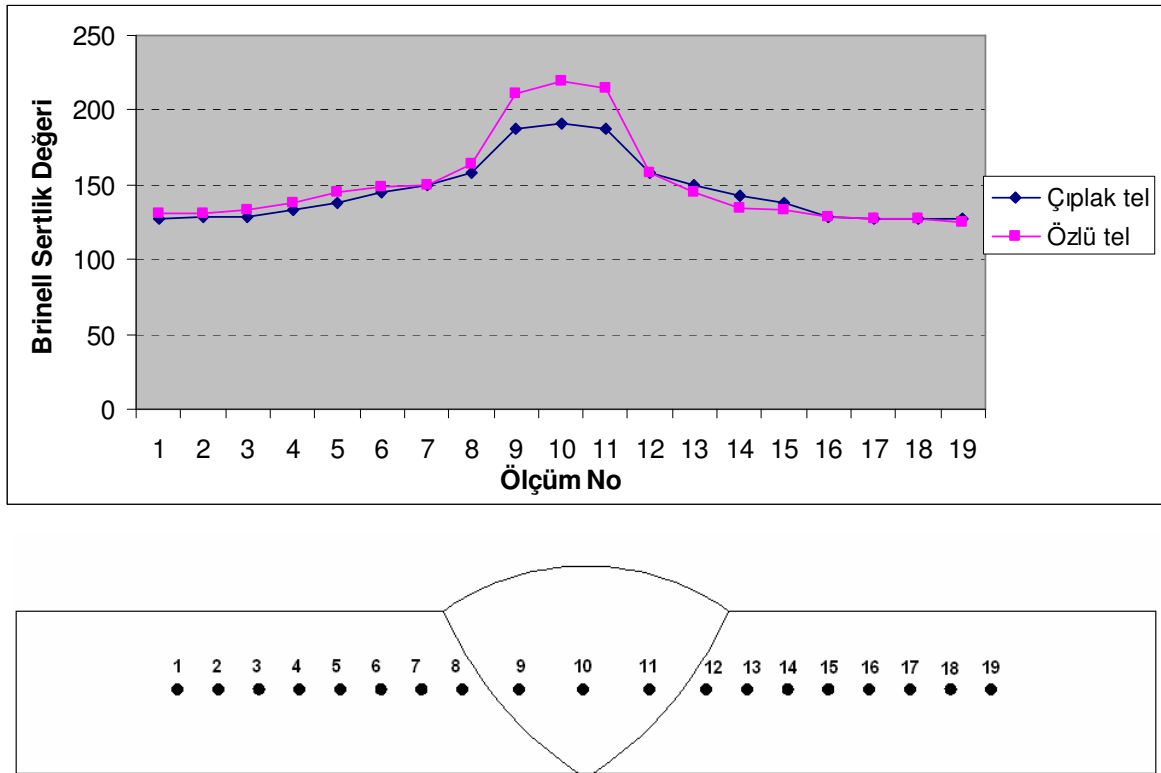
Değişik sertlik ölçme yöntemleri vardır. Bu çalışmada Brinell sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır.

Brinell sertlik deneyinde sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbürden yapılan bir bilya belirli bir yük ile malzemenin yüzeyine bastırılır ve malzeme yüzeyinde meydana gelen izin çapı ölçülür (Savaşkan, 1999).

Deney için 70×70×10 mm ebatlarında hazırlanan numunelere 60° lik V kaynak ağzı açılmış ve daha sonra karşılıklı iki numune kaynak edilmiştir. Kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 7.5' de verilmiştir.

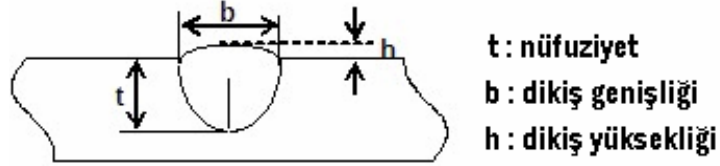
Daha sonra kaynaklı numuneler kaynağa dik olacak şekilde ortadan kesilmiştir. Kesilen numuneler 80, 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 zımpara ile zımparalanmıştır. Parlatma keçesi ve 1µ luk süspansiyon ile parlatılmıştır. Son olarak numuneler %2 Nital ile dağlanmıştır.

Hazırlanan deney numuneleri REICHERTER marka sertlik ölçme cihazında test edilmiş olup deneyde 187.5 kg yük ve 2.5 mm çapında Tungsten karbür uç kullanılmıştır. Yük süresi 15 saniyedir. Oluşan izin çapı $\times 70$ büyütme ile belirlenmiştir.



Şekil 7.7 Sertlik ölçülen bölgeler ve sertlik dağılımı

7.2.3 Makroskopik İnceleme:



Şekil 7.8 Kaynak dikiş geometrisi (www.oerlikon.com.tr)

Kaynak ısısı genellikle dikiş birim uzunluğu için kaynak bölgesine verilen enerji (net birim dikiş enerjisi) olarak tanımlanmaktadır. Net birim dikiş enerjisi formülü aşağıda görülmektedir.

$$E_N = \frac{I \times U}{V} \times \eta \quad (7.1)$$

E_N : Net birim dikiş enerjisi (J/mm)

I : Akım (amper)

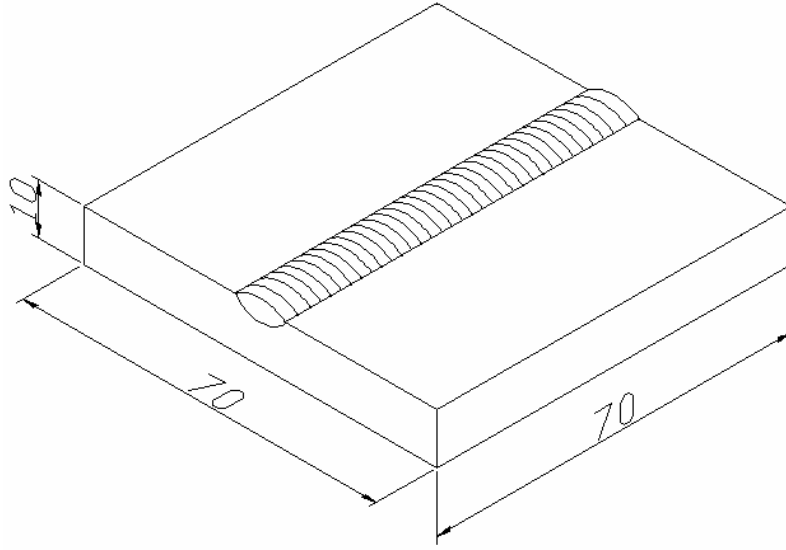
U : Gerilim (volt)

V : Kaynak hızı (mm/s)

η : İzafi ısı tesir derecesi (MAG kaynağı için 0,8-0,9)

Formül incelendiğinde akım, gerilim ve kaynak ilerleme hızının E_N 'ye etki ettiği görülmektedir. Dolayısı ile E_N 'deki değişim dikiş geometrisinde de farklılıklara yol açmaktadır (Geçmen,2006)

Deneyde 70×70×10 ebatlarında levha parça üzerine çıplak tel ve rutil karakterli özlü tel elektrod kullanılarak tek paso kaynak çekilmiştir. Kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 7.9 da verilmiştir. Her iki elektrod türünde de aynı parametreler kullanılmıştır.

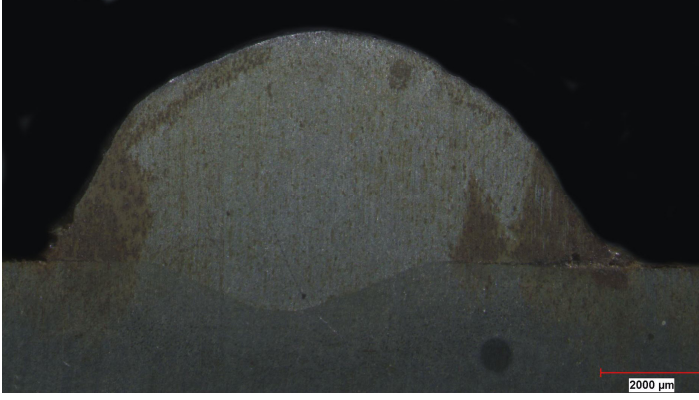


Şekil 7.9 Tek paso ile kaynak edilen numunenin ölçüleri

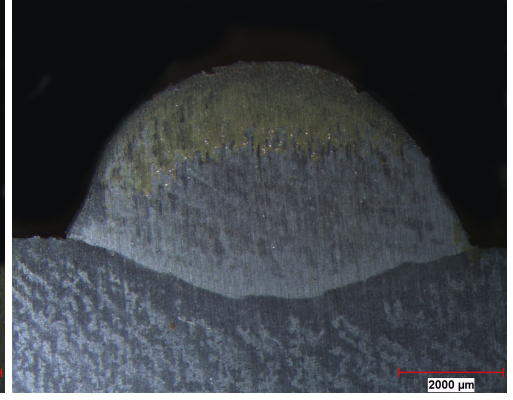
Çizelge 7.9 Kaynak parametre değerleri

Numune No	Kaynak Gerilimi Volt	Kaynak Akımı Amper	Serbest Tel Uzunluğu mm
A 1	24	220	15
A 2	28	220	15
A 3	32	220	15
B 1	24	180	15
B 2	24	220	15
B 3	24	260	15
C 1	24	240	11
C 2	24	240	15
C 3	24	240	20

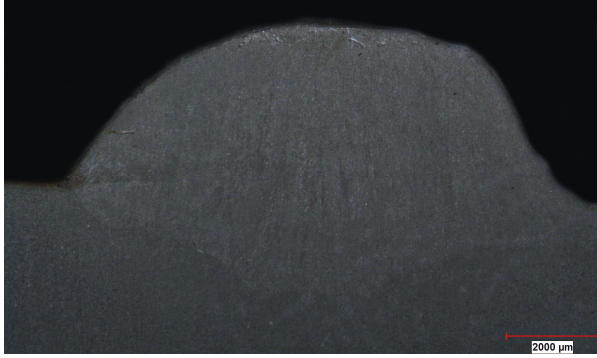
Kaynak edilen numuneler kaynak yönüne dik olacak şekilde kesilmişlerdir. Kesilen parçalar 80, 120, 240, 400 numara zımpara ile zımparalanmış ve alümina + elmas pasta ile parlatılmıştır. Daha sonra da %10 HNO₃ ile dağlama işlemine tutulmuştur. Hazırlanan numunelerin Nikon SMZ 800 Stereo mikroskop ile makro yapı fotoğrafları çekilmiştir.



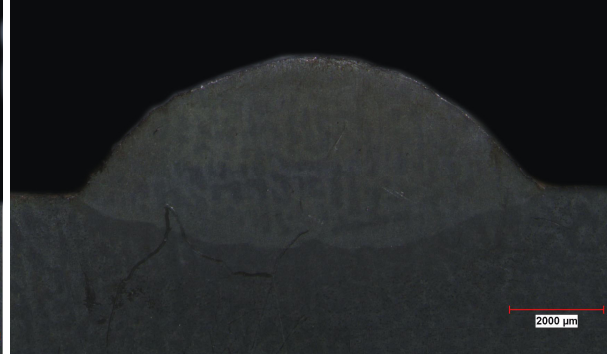
Çıplak tel - A 1



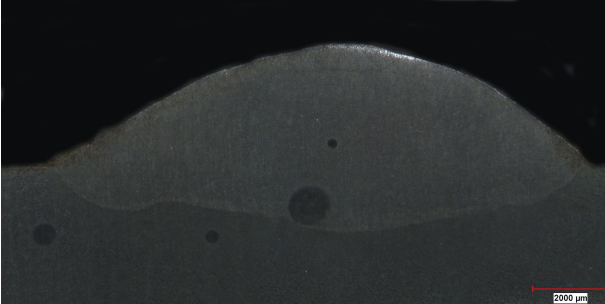
Öz lü tel - A 1



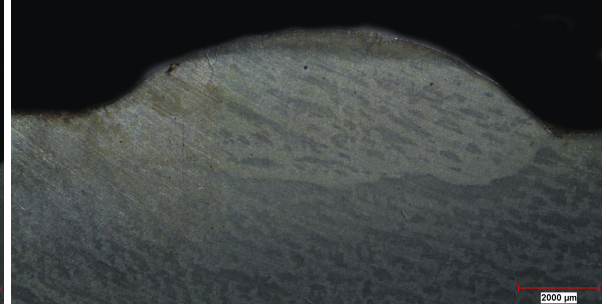
Çıplak tel - A 2



Öz lü tel - A 2

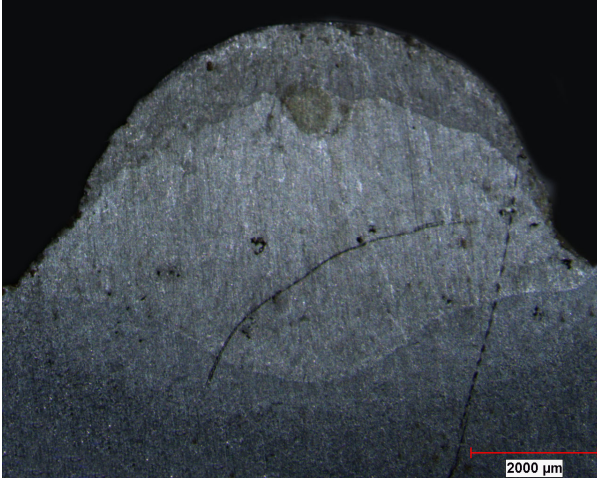


Çıplak tel - A 3

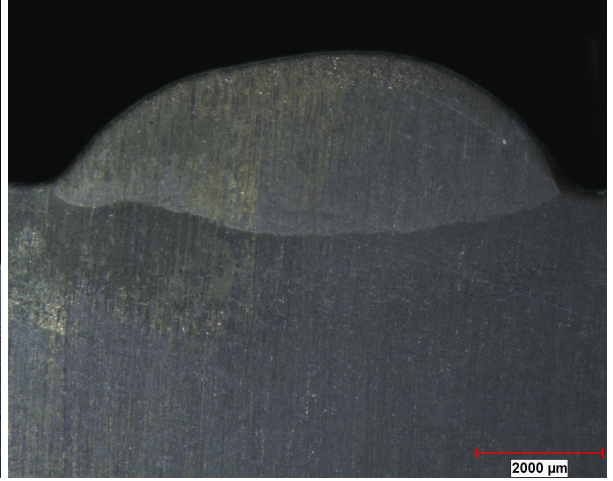


Öz lü tel - A 3

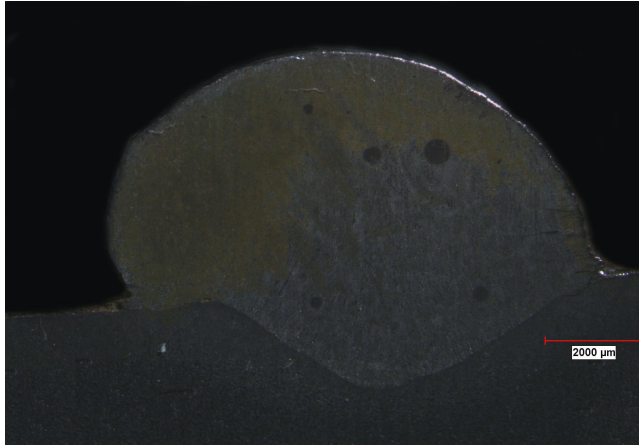
Şekil 7.10 Kaynak gerilimine bağlı olarak nüfuziyetin değişimi



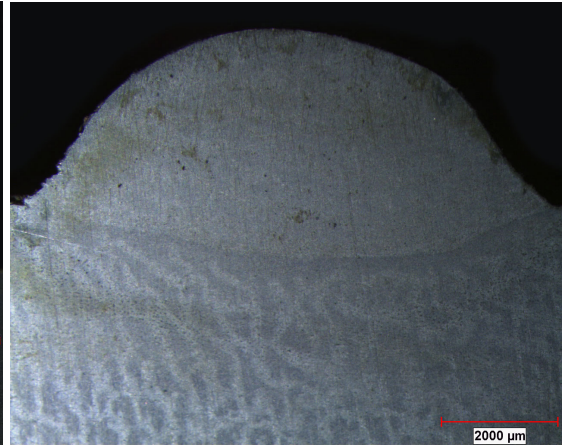
Çıplak tel - B 1



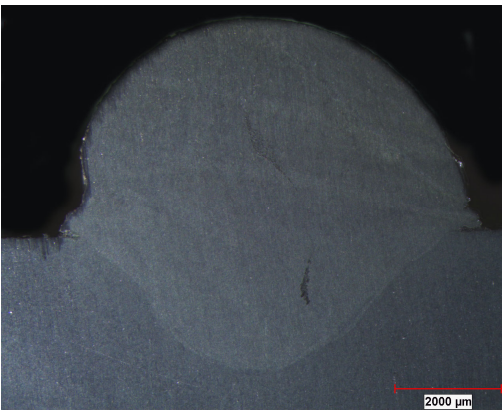
Özlü tel - B 1



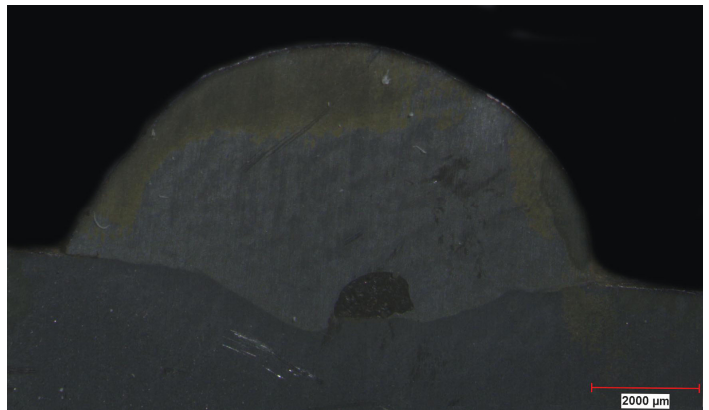
Çıplak tel - B 2



Özlü tel - B 2

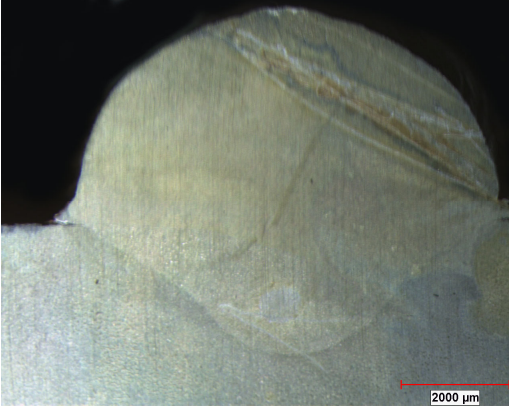


Çıplak tel - B 3

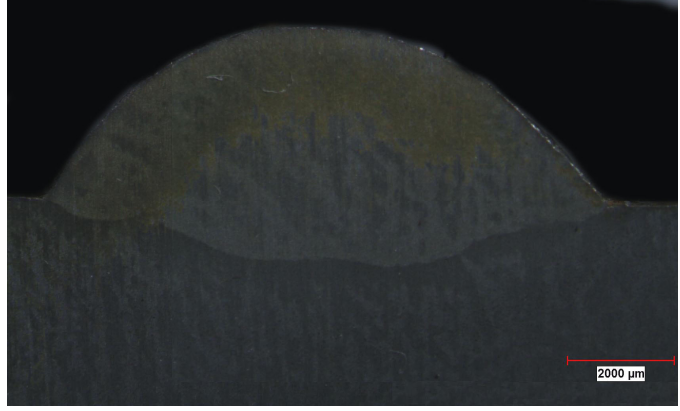


Özlü tel - B 3

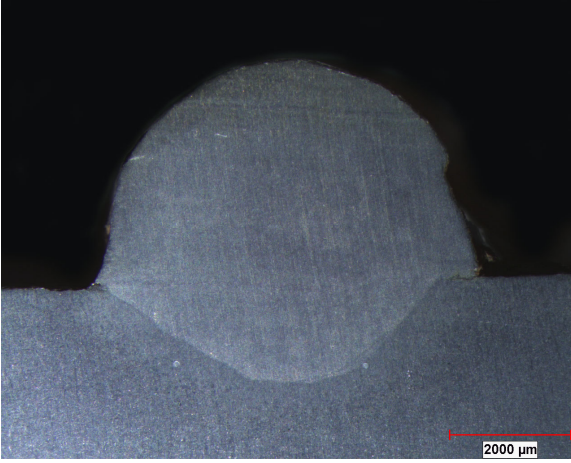
Şekil 7.11 Kaynak akımına bağlı olarak nüfuziyetin değişimi



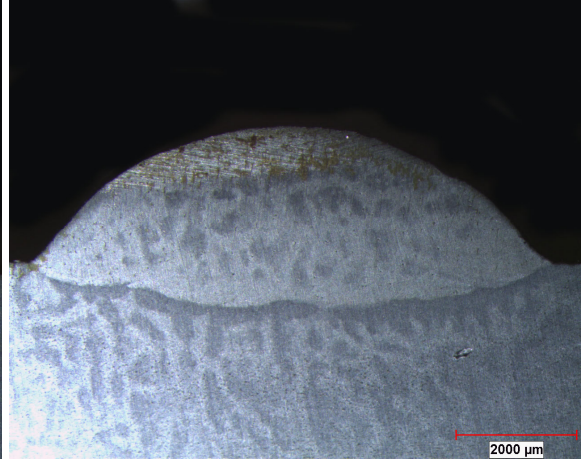
Çıplak tel - C 1



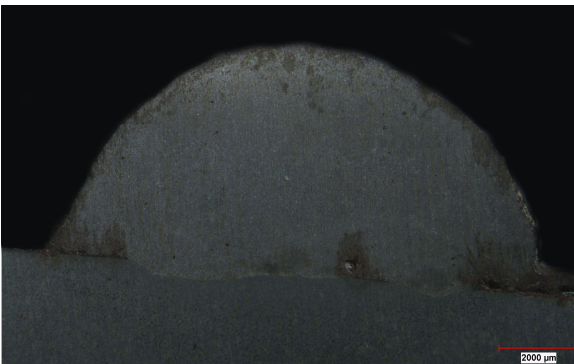
Öz lü tel - C 1



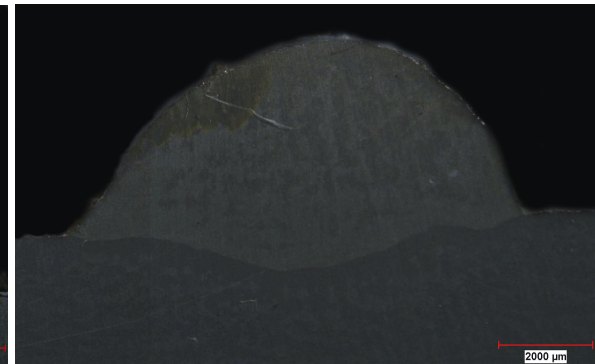
Çıplak tel - C 2



Öz lü tel - C 2



Çıplak tel - C 3

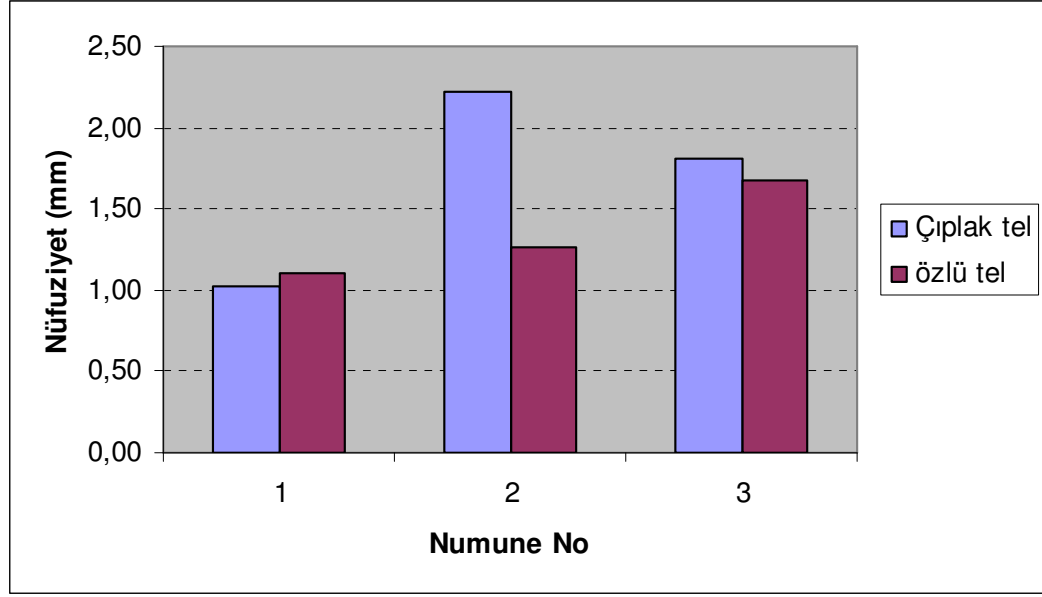


Öz lü tel - C 3

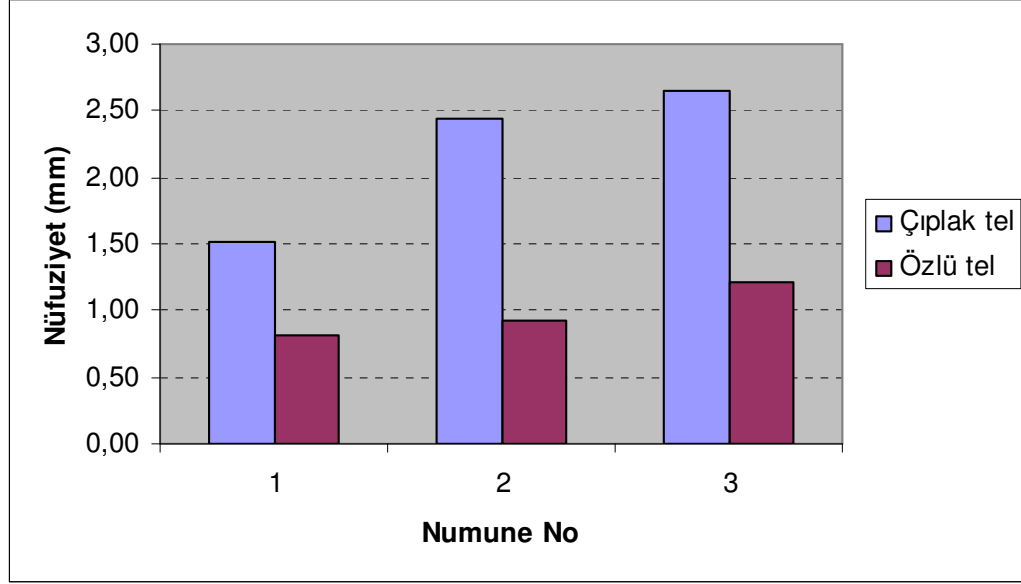
Şekil 7.12 Serbest tel uzunluğuna bağı olarak nüfuziyetin değışimi

Çizelge 7.10 Kaynak gerilimine bağı olarak nüfuziyetin değişimi

Numune No	Nüfuziyet Miktarı (mm)	
	Çıplak Tel	Özlu Tel
A 1	1,02	1,10
A 2	2,22	1,26
A 3	1,81	1,67

**Şekil 7.13** Kaynak gerilimine bağı olarak nüfuziyetin değişim grafiği**Çizelge 7.11** Kaynak akımına bağı olarak nüfuziyetin değişimi

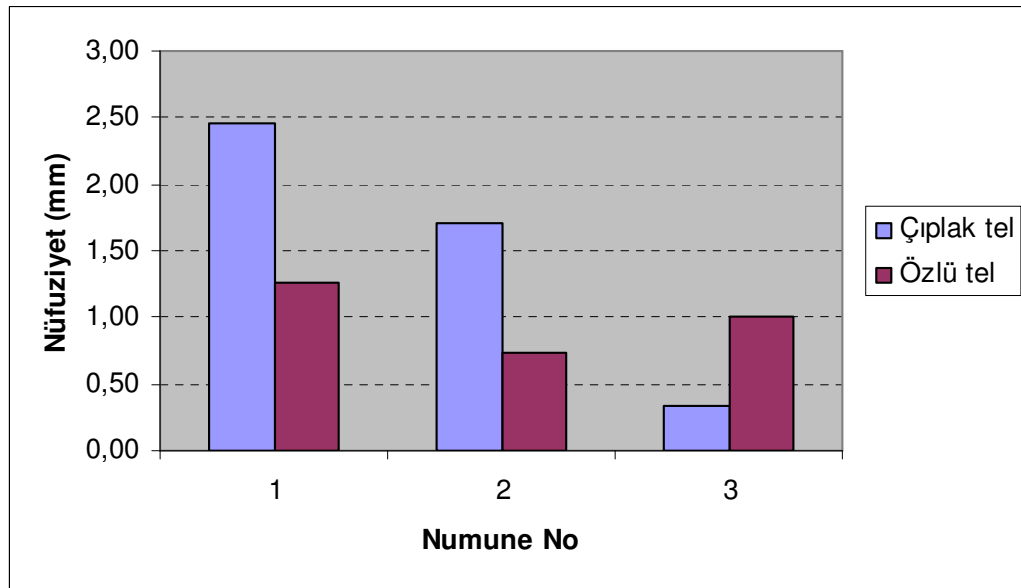
Numune No	Nüfuziyet Miktarı (mm)	
	Çıplak Tel	Özlu Tel
B 1	1,52	0,81
B 2	2,44	0,90
B 3	2,65	1,22



Şekil 7.14 Kaynak akımına bağlı olarak nüfuziyetin değişim grafiği

Çizelge 7.12 Serbest tel uzunluğuna bağlı olarak nüfuziyetin değişimi

Numune No	Nüfuziyet Miktarı (mm)	
	Çıplak Tel	Özlu Tel
C 1	2,45	1,24
C 2	1,70	0,74
C 3	0,33	1,00



Şekil 7.15 Serbest tel uzunluğuna bağlı olarak nüfuziyetin değişim grafiği

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada MAG kaynak yönteminde elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisi incelenmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çekme deneyi değerleri incelendiğinde, bütün numunelerde kopma işleminin ana malzemenin gerçekleşmesinden dolayı kaynaklı numunelerin tümünde elde edilen akma, çekme ve % uzama miktarlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Burada kaynaklı numunelerin çekme dayanımının ana malzemenin çekme dayanımından bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak, çekme testi sırasında kaynaklı bölgenin, deformasyonu engellemesi olarak gösterilebilir. Çalışmamızda, çekme numuneleri standartlara uygun olarak hazırlandığından, kaynaklı numunelerdeki kaynak bölgesinin sert olması sebebiyle, deformasyon bu bölgenin dışında meydana gelmektedir. Kopma ana malzemenin olmasına rağmen, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin düşük çıkmasının sebebi kaynaklı bölgenin çekme testi sırasında deformasyona uğramamasından kaynaklanmaktadır.
- Sertlik deneyi değerleri incelendiğinde, sertliğin ana metalden kaynak metaline doğru yaklaşıldıkça arttığı görülmektedir. Kaynak metalinin sertliği ITAB'ın sertliğinden fazladır. Ayrıca özlü telle yapılan kaynak dikişinin sertliği çıplak tel ile yapılandırana daha yüksek çıkmıştır. Buna neden olarak ana-ilave malzeme bileşiminin farklılığı, diğer yandan ön tavlama gibi benzeri kaynak öncesi işlemlere başvurulmamış olması gösterilebilir.
- Makroskopik inceleme sonuçlarına bakıldığında, net birim dikiş enerjisindeki değişimin dikiş geometrisinde farklılıklara yol açtığı görülmüştür.

Diğer parametreler sabit kalacak şekilde kaynak gerilimi arttırıldığında nüfuziyetin de buna paralel olarak arttığı gözlenmiştir. Aynı şekilde diğer parametreler sabit tutularak kaynak akımı arttırıldığında da yine nüfuziyetin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak, gerilim ve akım şiddetindeki artışın birim dikiş enerjisini de arttırması gösterilebilir.

Serbest tel uzunluğu ile nüfuziyet arasında ise, deneysel sonuçlara göre doğrudan bir ilişki kurulamamıştır.

Makroyapı fotoğrafları incelendiğinde genel olarak çıplak tel elektrod ile kaynak edilmiş numunelerin nüfuziyetinin, özlü tel ile kaynak edilmiş numunelerin nüfuziyetinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla da elde edilen bu sonuçlar, bu konu ile ilgili teorik açıklamalarla da uyum içinde bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anık, S., Tülbentçi, K. ve Özgöktüğü, T., (1978), Soru ve Cevaplarla Kaynak Teknolojisi, Eğitim Yayınları, Ankara.
- Anık, S. ve Vural, M., (1996), Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), Gedik Eğitim Vakfı Yayın No:3, İstanbul
- Anık, S., Anık, S. E. ve Vural, M., (2000), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Cary, H. B., (1989), Modern Welding Technology, Prentice Hall.
- Eryürek, İ. B., (2003), Gazaltı Kaynağı, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş, İstanbul.
- Geçmen, İ., (2006), Çeliklere Gazaltı Kaynağının Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gülbahar, B., (1991), Özlü Elektrodlar ve Uygulama Alanları, Mühendis ve Makine, Mart, 28-35.
- Gülenç, B. ve Tülbentçi, K., (1996), “Düşük Karbonlu ve Az Alaşımli Çeliklerin MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Seçimi”, Uluslararası Kaynak Teknolojisi’96 Sempozyumu Bildirileri, 15-16 Mayıs, İstanbul.
- Gülenç, B., ve Tülbentçi, K., (1997), “Gaz Metal Ark Kaynağında Metal Transferi”, 1.Ulusal Kaynak Teknolojisi Bildiriler Kitabı, 13-15 Kasım, Ankara
- Gülsöz, A., (2000), Özlü Tel Elektrodların Önemi ve Kaynak Özellikleri, Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı, Eylül, 35-40.
- Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul.
- Kaluç, E., (2004), Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1 , MMO Yayını, Kocaeli.
- Krysiak, K. F. ve Bhadha, P. M., (1990), “Shielding Gas Purification Improves Weld Quality”, Welding Journal, November, 47-49.
- Nippes, E. F., (1989), Metals Handbook Ninth Edition Volume 6: Welding, Brazing and Soldering, ASM.
- Okan, A.N., (1989), Gazaltı Kaynak Yönteminde Koruyucu Gazlar, BOS Yayınları, İstanbul.
- Ören, E., (2002), MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İçköşe Dikiş Geometrisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Savaşkan, T., (1999), Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Derya Kitabevi, Trabzon.

Stenbacka, N. ve Persson, K. A., (1989), "Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding", Welding Journal, November, 41-47.

Tülbentçi, K., (1998), MIG-MAG Kaynak Yöntemi, Arctech Yayın No:2, İstanbul.

TS 287 EN 895, (1996), Metalik Malzemeler - Kaynaklar zerinde Tahribatlı Deneyler - Enine ekme Deneyi

Yalçın, A. E., (2005), Koruyucu Gaz Kaynak Uygulamalarında Gaz Karışımları-Dikiş Formu İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.oerlikon.com.tr

[2] www.esab.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	08.03.1982	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1996-1999	Beylerbeyi Hacı Sabancı Lisesi
Lisans	1999-2003	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usülleri Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-2004	Kararmaz Kalıp San. ve Tic. Ltd. Şti.
2005-Devam ediyor	Özkan Makine ve İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.