

168531

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

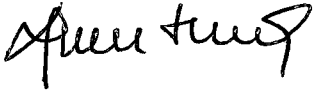
**ERGİTME ESASLI KAYNAK UYGULAMALARINDA  
KİMYASAL BİLEŞİMİ ETKİLEYEN  
FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

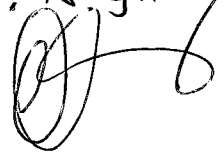
Makine Müh. Aydın KONGEL

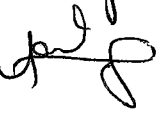
**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN (YTÜ)**

Prof. Dr. Nurullah Gültekin  


Prof. Dr. Aysegül Akdoğan  


Prof. Dr. Adem Bakcalı  


İSTANBUL , 2005

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ .....	iii
KISALTMA LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK İŞLEMİ.....	3
2.1 Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri.....	5
2.1.1 Gaz Ergitme Kaynağı.....	6
2.1.2 Elektrik Ark Kaynağı.....	9
2.2 Ergitme Esaslı Koruyucu Gaz Kaynak Yöntemleri.....	14
2.2.1 Ark Atom Kaynağı.....	15
2.2.2 Argon Ark Kaynağı (TIG-WIG).....	16
2.2.3 Plazma Kaynağı.....	18
2.2.4 MIG ( Sıgma) Kaynağı.....	19
2.2.5 MAG Kaynağı.....	20
2.2.6 Toz altı Kaynağı.....	21
2.2.7 Elektro Cüruf Kaynağı.....	23
3. ERGİTME ESASLI KAYNAK UYGULAMALARINDA KİMYASAL BİLEŞİMİ ETKİLEYEN FAKTÖERLER.....	25
3.1 Ana ve İlave Metallerin Kimyasal Bileşimi.....	27
3.2 Ana Ve İlave Metallerin Ergime Oranı.....	28
3.2.1 Isı Girdisi.....	31
3.2.1.1. Kaynak Yöntemi.....	32
3.2.1.1.1 Verim Katsayısı.....	33
3.2.1.2 Kaynak İşlemi.....	36
3.2.1.2.1 Kaynak Yapılan Parçaların Kalınlıkları.....	36
3.2.1.2.2 Kaynak Ağzı Formu.....	37
3.2.1.2.3 Paso Sayısı.....	38
3.2.1.2.4 Kaynak Pozisyonu.....	39
3.2.1.2.5 Sıcaklık Farkı.....	40
3.2.1.2.6 Kaynak Hızı.....	41
3.2.1.2.7 Salınım Hareketi.....	42
3.2.1.3 Kaynak Akımı.....	43
3.2.1.3.1 Kaynak Akımı Türü ve Şiddeti.....	44
3.2.1.3.2 Doğru Akım.....	46
3.2.1.3.3 Alternatif Akım.....	47
3.2.1.3.4 Kutuplama Türü.....	48
3.2.1.3.5 Akım Yoğunluğu .....	51
3.2.1.3.6 Tel Çapı.....	52
3.2.1.3.7 Serbest Tel Uzunluğu.....	53
3.2.1.3.8 Elektrot Uç Formu.....	55
3.2.1.4 Kaynak Gerilimi.....	55

3.2.1.4.1	Ark Uzunluğu.....	56
3.2.1.4.2	Kaynak Akımı.....	57
3.2.1.4.3	Ark Atmosferi.....	58
3.2.1.5	Ana ve İlave Metalin Fiziksel Özellikleri.....	59
3.2.1.5.1	Isı İletim Katsayısı.....	59
3.2.1.5.2	Ergime Sıcaklığı.....	60
3.2.1.5.3	Öz Isı.....	61
3.2.1.6	Kullanılan Yanıcı Gaz .....	61
3.2.1.6.1	Kullanılan Yanıcı Gazın Isı Girdisine Etkisi.....	62
3.2.1.6.2	Hidrojen.....	62
3.2.1.6.3	Metan.....	62
3.2.1.6.4	Havagazı.....	63
3.2.1.6.5	Propan .....	63
3.2.1.6.6	Benzin Buharı.....	63
3.2.1.6.7	Benzol Buharı.....	63
3.2.1.6.8	Asetilen.....	63
3.3	Elektrik Ark Kaynağında Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar.....	64
3.3.1	Ark Sütununda Gerçekleşen Reaksiyonlar.....	64
3.3.1.1	Kısa Devre Halinde Metal Transferi.....	66
3.3.1.2	Küresel Metal Transferi .....	66
3.3.1.3	Sprey Metal Transferi.....	67
3.3.1.4	Darbeli Sprey Metal Transferi .....	67
3.3.2	Metalsel Banyoda Gerçekleşen Reaksiyonlar.....	67
3.3.2.1	Kaynak Metalindeki Elementlerin Oksidasyonu.....	68
3.3.2.1.1	Direkt Oksidasyon ve Alçak Oksitlerin Yüksek Oksitlerle Oksidasyonu.....	68
3.3.2.1.2	Yer Değiştirme Reaksiyonlarıyla Gerçekleşen Oksidasyonlar.....	70
3.3.2.2	Kaynak Metalindeki Elementler ve Bileşikler Arasındaki Karşılıklı Reaksiyonlar.....	73
3.4	Kullanılan Koruyucu Gazlar , Tozlar ve Elektrot Örtüsü Türleri.....	78
3.4.1	Kullanılan Koruyucu Gazlar.....	78
3.4.1.1	Helyum.....	80
3.4.1.2	Argon .....	80
3.4.1.3	Karbondioksit.....	81
3.4.1.4	Karışım Gazlar.....	81
3.4.2	Koruyucu Gazların Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimine Etkisi.....	82
3.4.2.1	Koruyucu Gazın İyonizasyon Enerjisi.....	82
3.4.2.2	Koruyucu Gazın Isı İletim Katsayısı.....	83
3.4.2.3	Koruyucu Gazın Yoğunluğu.....	84
3.4.3	Kaynak Tozları.....	84
3.4.3.1	Kaynak Tozlarının Kimyasal Bileşime Etkisi.....	87
3.4.3.1.1	Kaynak Tozunun Cinsi.....	87
3.4.3.1.2	Kaynak Tozunun Tane Büyüklüğü.....	90
3.4.3.1.3	Yığılan Kaynak Tozunun Yüksekliği.....	91
3.4.4	Elektrot Örtüleri.....	91
3.4.4.1	Rutil Karakterli Örtüler.....	91
3.4.4.2	Asit Karakterli Örtüler.....	91
3.4.4.3	Oksit Karakterli Örtüler.....	92
3.4.4.4	Bazik Karakterli Örtüler.....	92

	Sayfa
3.4.4.5	Selülozik Karakterli Örtüler..... 92
3.4.4.6	Özel Tip Örtüler..... 93
3.4.4.7	Örtü Bileşenlerinin Ark ve Ergime Özelliklerine Etkisi..... 93
3.5	Kaynak Metalinde Difüzyon..... 96
3.5.1	Difüzyonu Etkileyen Değişkenler..... 99
3.5.1.1	Sıcaklık..... 99
3.5.1.2	Konsantrasyon..... 99
3.5.1.3	İç Yapının Etkisi..... 100
3.5.1.4	Safılığı Bozan Maddeler..... 100
3.5.1.5	Tane Boyutu..... 100
3.5.2	Ergimiş Metal Tarafından Gaz Absorbsiyonu..... 100
3.5.2.1	Oksijen Absorbsiyonu..... 101
3.5.2.2	Azot Absorbsiyonu..... 102
3.5.2.3	Hidrojen Absorbsiyonu..... 104
3.5.3	Karbon Difüzyonu..... 105
4.	TEORİK VE DENEYSSEL ÇALIŞMALARIN BİRARADA DEĞERLENDİRİLMESİ..... 106
4.1	Birim Dikiş Enerjisinin Kaynak Akımı ,Gerilimi ,Hızına Göre Değişimi ve Birim Dikiş Enerjileri Bakımından Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırılması..... 108
4.1.1	Örtülü Elektrotla Ark Kaynağında Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi..... 110
4.1.2	TIG Kaynak Yönteminde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi..... 111
4.1.3	Mekanize ve Otomatik Kaynak Yöntemlerinde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi..... 112
4.1.3.1	MAG Kaynak Yönteminde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi..... 113
4.1.3.2	Toz Altı Kaynak Yönteminde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi..... 115
4.1.4	Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı ,TIG Kaynağı,MAG Kaynağı,Toz Altı Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Akımı Ve Kaynak Hızı Açısından Birim Dikiş Enerjilerinin Karşılaştırılması..... 116
4.2	Ergime Oranına ve Paso Sayısına Bağlı Olarak Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonunun Değişimi ..... 118
4.2.1	Ergime Oranına Göre Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonunun Değişimi..... 119
4.2.2	Paso Sayısına Göre Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonunun Değişimi..... 121
4.3	Malzeme Isı İletim Katsayısının Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonuna Etkisi..... 124
4.3.1	Kaynak İşlemi İçin Isı Transferi Modeli ve Toz Altı Kaynağındaki Uygulaması ..... 125
4.3.2	Isı Transferi Modelinin Örtülü Elektrotla Ark Kaynağına Uygulaması..... 129
4.3.3	Isı Transferi Modelinin MIG Kaynağına Uygulaması..... 132
5.	SONUÇLAR..... 135
KAYNAKLAR	..... 138
ÖZGEÇMİŞ	..... 140

## SİMGE LİSTESİ

E	Ergime oranı
t	İlave metal
z:	Ana metal
Q	Elde edilen enerji
U	Kaynak gerilimi
I	Kaynak akımı
q	Birim dikiş enerjisi
$\eta$	Verim katsayısı
$V_K$	Kaynak hızı
H	Kullanılan yanıcı gaz hacmi
h	Yanıcı gazın alt ısı değeri
m	Birim zamanda boru içersinden geçen suyun kütlesi
c	Suyun özısı katsayısı
$\Delta T_s$	Giriş ve çıkıştaki suyun sıcaklık farkı
$Q_t$	Transfer edilen enerji
k	Metalin ısı iletim katsayısı
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
A	Isının transfer edildiği yüzey
$L_p$	Isının transfer edildiği yüzey doğrultusundaki parça boyu
y	Parça kalınlığı
x	Parça genişliği
$Q_e$	Metali ergitmek için gerekli olan enerji
$Q_m$	Malzemeyi ergitmek için gerekli ısı miktarı
$m_m$	Ergitilecek metal kütlesi
$c_m$	Metalin özısı katsayısı
$\Delta T_m$	Metalin ergime sıcaklığı ile ortam arasındaki sıcaklık farkı
M	Ergitilen elektrot miktarı
A,B,C	Regresyon sabitleri
L:	Serbest tel uzunluğu
d	Tel çapı

R	Direnç
$d_e$	Elektrot çekirdek çapı
K	Elektrot tip ve çapına bağlı düzeltme katsayısı
$F_t$	Kaynak teli kesit alanı
$V_t$	Kaynak teli hızı
$F_k$	Kaynak kesit alanı
$V_k$	Kaynak hızı
M	Metal
De	Dezoksiyon maddesini
$(\Delta c/\Delta x)$	Atom yoğunluğundaki düşüşün
$A_v$	Kesit alanı
$N_A$	Yayınan atom sayısını
t	Zaman
$n_A$	Difüzyon akısı
D	Difüzyon katsayısı
$D_0$	Difüzyon sabiti
Q	Aktivasyon enerjisi
R	Gaz sabiti
T	Kelvin derecesi olarak sıcaklık

## KISALTMA LİSTESİ

ASTM American Society of Test and Material

ADF Atomik Dolgu Faktörü

ITAB Isının Tesiri Altındaki Bölge



## ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa
Şekil 2.1	Gaz ergitme kaynağı ile kesme işlemi.....	6
Şekil 2.2	Normal bir alevin kısımları.....	7
Şekil 2.3	Elektrik ark kaynağı elemanları.....	9
Şekil 2.4	Jeneratör tipi kaynak makinesi.....	11
Şekil 2.5	Kaynak redresörü.....	11
Şekil 2.6	Kaynak transformatörü.....	12
Şekil 2.7	Ark Atom Kaynağı.....	15
Şekil 2.8	Argon Ark Kaynağı donanımı.....	16
Şekil 2.9	Plazma birleştirme kaynağı için gerekli donatım.....	18
Şekil 2.10	MIG birleştirme kaynağı için gerekli donatım.....	20
Şekil 2.11	Toz Altı Kaynağı.....	22
Şekil 3.1	Kaynak metali.....	25
Şekil 3.2	Çok pasolu kaynak dikişi.....	26
Şekil 3.3	Schaeffler diyagramı.....	28
Şekil 3.4	Ergimeyen elektrotla kaynak işlemi esnasındaki enerji dağılımı.....	34
Şekil 3.5	Islak kalorimetre.....	35
Şekil 3.6	Soğuk kalorimetre.....	36
Şekil 3.7	Kaynak ağzının karşıdan görünüşü.....	37
Şekil 3.8	Çeşitli kaynak ağzı formları.....	37
Şekil 3.9	Parça kalınlığına göre paso sayılarının değişimi.....	39
Şekil 3.10	Kaynak hızının ısı girdisine etkisi.....	42
Şekil 3.11	Salınım hareketleri.....	43
Şekil 3.12	Akım türünün ergime oranına etkisi.....	44
Şekil 3.13	Kaynak akımının ergime oranına etkisi.....	45
Şekil 3.14	Kaynak akımının ergime oranına etkisi.....	45
Şekil 3.15	Kutuplama türlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.16	Kutuplama türünün ergitilen ilave metal oranına etkisi.....	50
Şekil 3.17	Akım yoğunluğunun ergime oranına etkisi.....	51
Şekil 3.18	Serbest tel uzunluğu ve ark uzunluğu.....	54
Şekil 3.19	Kaynak akımının serbest tel uzunluğuna göre değişimi.....	55
Şekil 3.20	Ark oluşumu.....	56
Şekil 3.21	Mekanik yada otomatik sistemlerde süreklilik sistemi ve kaynak kesit alanları.....	58
Şekil 3.22	Nüfuziyetin ve ark geriliminin ark atmosferine göre değişimi.....	59
Şekil 3.23	Kaynak işleminde metal transfer şekilleri.....	66
Şekil 3.24	Kaynak metalinin iç kısımlarında Fe <sub>3</sub> P ve FeS oluşumu.....	76
Şekil 3.25	TIG kaynağında kaynak bölgesindeki sıcaklık değişimleri.....	83
Şekil 4.1	Toz altı kaynağında enerjinin dağılımı.....	125
Şekil 4.2	Kaynak işlemi için ısı transferi modeli.....	126
Şekil 4.3	Örtülü elektrotla ark kaynağında enerjinin dağılımı.....	129
Şekil 4.4	MIG kaynağında enerjinin dağılımı.....	132

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması..... 4
Çizelge 2.2	Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması..... 5
Çizelge 3.1	Kaynak metalinin kimyasal bileşimini etkileyen faktörler..... 26
Çizelge 3.2	Belirlenen ergime oranına göre kaynak metalinin karbon oranının bulunması..... 30
Çizelge 3.3	Kaynak yöntemlerinin elektrot ergitme oranları..... 33
Çizelge 3.4	Yöntemlere göre transfer verim katsayıları..... 34
Çizelge 3.5	Kaynak yöntemlerine göre ortalama kaynak hızları..... 43
Çizelge 3.6	Kutuplama türünün ergitilen ilave metal oranına etkisi..... 50
Çizelge 3.7	Akım yoğunluğunun ergime oranına etkisi..... 51
Çizelge 3.8	Tel çapının ergime oranına etkisi..... 53
Çizelge 3.9	Kaynak akımının serbest tel uzunluğuna göre değişimi ve serbest tel uzunluğunun artışına göre ergitilen elektrot miktarındaki artış..... 54
Çizelge 3.10	Elektrot çeşidine göre K düzeltme katsayıları..... 57
Çizelge 3.11	Malzemelerin ısı iletim katsayıları..... 60
Çizelge 3.12	Malzemelerin özısı katsayıları..... 61
Çizelge 3.13	Yanıcı gazlar ve fiziksel özellikleri..... 62
Çizelge 3.14	Direkt oksidasyon reaksiyonları..... 69
Çizelge 3.15	Kaynak işlemi esnasında gerçekleşen en önemli yer değiştirme reaksiyonları..... 71
Çizelge 3.16	Çeliğin kaynağında meydana gelen bazı oksit ve bileşiklerin özellikleri..... 73
Çizelge 3.17	Karışık bileşiklerin en önemli oluşum reaksiyonları ait örnekler..... 77
Çizelge 3.18	Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri..... 79
Çizelge 3.19	Arkın statik karakteristiğinin karışımdaki hidrojen gazının artışına göre değişimi..... 83
Çizelge 3.20	Sıcaklığa bağlı olarak koruyucu gazların ısı iletim katsayılarının değişimi..... 83
Çizelge 3.21	Kaynak tozlarının baziklik ölçeğine göre sınıflandırılması..... 86
Çizelge 3.22	Kaynak tozlarının bileşimleri ve adları..... 86
Çizelge 3.23	Kaynak tozlarının kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırılması..... 88
Çizelge 3.24	Elektrot örtüsü bileşenleri..... 94
Çizelge 3.25	Bazı elementlerin difüzyon sabitleri ve aktivasyon enerjileri..... 98
Çizelge 3.26	Difüzyon katsayısının sıcaklığa göre değişimi..... 99
Çizelge 3.27	Örtü kalınlığına göre azot derişiminin değişmesi..... 103
Çizelge 3.28	Sıcaklık ve kafes yapısındaki değişime göre azotun demirdeki erime kabiliyetinin değişimi..... 103
Çizelge 3.29	Sıcaklık ve kafes yapısındaki değişime göre hidrojenin erime kabiliyetinin değişimi..... 104
Çizelge 4.1	Kaynak yöntemlerinin ortalama çalışma aralıkları..... 109
Çizelge 4.2	Örtülü elektrotla ark kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri..... 110
Çizelge 4.3	Örtülü elektrotla ark kaynağında birim dikiş enerjisinin kaynak akımına göre değişimi..... 111
Çizelge 4.4	TIG kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri..... 112

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.5	TIG kaynağında birim dikiş enerjisinin kaynak gerilimine göre değişimi..... 112
Çizelge 4.6	MAG kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri..... 114
Çizelge 4.7	MAG kaynağında birim dikiş enerjisinin kaynak hızına göre değişimi..... 114
Çizelge 4.8	Toz altı kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri..... 115
Çizelge 4.9	Toz altı kaynağında kaynak akımına göre birim dikiş enerjisinin değişimi..... 116
Çizelge 4.10	Kaynak yöntemlerinin birim dikiş enerjilerinin kaynak akımına göre değişimi..... 116
Çizelge 4.11	Kaynak yöntemlerinin birim dikiş enerjilerinin kaynak hızına göre değişimi..... 117
Çizelge 4.12	Kaynak işleminde kullanılan metallerin kimyasal kompozisyonları..... 119
Çizelge 4.13	Kimyasal kompozisyonların ergime oranına göre değişimi..... 120
Çizelge 4.14	Ergime oranına göre kaynak metalinin kimyasal bileşiminin değişimi..... 120
Çizelge 4.15	Kaynak işleminde kullanılan metallerin kimyasal kompozisyonları..... 121
Çizelge 4.16	Ergime oranları..... 121
Çizelge 4.17	Kimyasal kompozisyonların paso sayısına göre değişimi..... 122
Çizelge 4.18	Ana metal , ilave metal ve son pasodaki kaynak metalinin
Çizelge 4.19	Ana Metal İlave Metalin ve Son Pasodaki Kaynak metalinin Kimyasal Kompozisyonlarının Karşılaştırılması..... 122
Çizelge 4.20	% Alüminyum Miktarının Paso Sayına Göre Değişimi..... 123
Çizelge 4.21	21 % Fe- Si-Mg-Cr-Ti-Mn Paso Sayına Göre Değişimi..... 123
Çizelge 4.22	Kaynak işleminde kullanılan metallerin fiziksel özellikleri..... 123
Çizelge 4.23	Toz altı kaynak yöntemi için kaynak işlemi için kullanılan metallerden birim zamanda kaçan ısı miktarları..... 127
Çizelge 4.24	Toz altı kaynak yöntemi için kaynak işleminde değerleri ve birim zamanda ana metali ergiten ve ana metal üzerinden kaçan enerji miktarları..... 127
Çizelge 4.25	Örtülü elektrotla ark kaynağı yöntemi için kaynak işlemi için kullanılan metallerden birim zamanda kaçan ısı miktarları..... 130
Çizelge 4.26	Örtülü Elektrotla ark kaynağı yöntemi için kaynak işleminde değerleri ve birim zamanda ana metali ergiten ve ana metal üzerinden kaçan enerji miktarları..... 130
Çizelge 4.27	MIG kaynak yöntemi için kaynak işlemi için kullanılan metallerden birim zamanda kaçan ısı miktarları..... 132
Çizelge 4.28	MIG kaynak yöntemi için kaynak işleminde değerleri ve birim zamanda ana metali ergiten ve ana metal üzerinden kaçan enerji miktarları..... 133

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bana yardımcı olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hocam Prof. Nurullah Gültekin'e teşekkür ederim.



## ÖZET

Kaynak, iki veya daha çok parça metali birleştirmekte en etkili yöntemdir. Bu nedenle kaynak imalat ve onarım alanında metalden yapılmış ürünlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Etrafımıza baktığımızda ,metalden yapılmış her şeyin kaynakla imal edildiğini görebiliriz; Dünyanın en yüksek binaları, ay roketleri, ev araçları ve otomotiv endüstrisi bu listenin başında gelmektedir.

Günümüzde kaynağın kullanımı artmaktadır. Çünkü kaynak bir çok avantaja sahiptir. Parçaları birleştirmede ihtiyaç duyulan malzeme miktarını ve giderlerini azaltmaktadır. Döküm ile imal edilen parçalar kaynakla imal edilirken tasarımcı et kalınlığını azaltarak toplam ağırlığı azalmaktadır. Kaynak özellikle metallerin ve metal yüzeylerinin korunması için uygulanan yüzey kaplamalarında en iyi uygulamadır.

Kimyasal kompozisyon kaynaklı bağlantıların ve yüzey kaplamalarının dayanım özelliklerine etki etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada kaynak metalinin kimyasal kompozisyonuna etki eden faktörler araştırılmıştır. Bunun yanında metallerin ısı iletim katsayısının ana metallerin ergime oranına nasıl etki ettiği ve toz altı kaynak yönteminde ısı transferi için bir ısı transferi modeli tasarlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kimyasal kompozisyon ,ergime oranı,kaynak metali,ergitme esaslı kaynak yöntemleri,ısı girdisi.

## **ABSTRACT**

Welding is the most efficient way to join two or more pieces of metal to make them act as one piece. Welding is widely used to manufacture or repair all products made of metal. When we look around, almost everything made of metal is welded; the world's tallest building, moon rockets, nuclear reactors, home appliances, and automobiles barely start the list.

The use of welding is still increasing. Because welding has many advantages. Reduce the weight of material required and the cost for join parts. Converting castings to weldments allows the designer to reduce weight by reducing metal thickness. Welding is the best way to protect materials by protecting their surface with special metal overlays.

Chemical compositions is effected on strength properties weld metal joints and metal overlays. For those reasons in this study, which factors is effected on chemical compositions of weld metals in fusion welding methods are researched. Also heat conductivity of metals is researched for how effect the dilution rate of base metals and a heat transfer model is designed for heat transfer in weld metal for submerged arc welding.

**Keywords:** Chemical composition, dilution rate, weld metal, fusion welding methods, heat input.

## 1.GİRİŞ

Ergitme esaslı kaynak işlemlerinde malzemenin türüne bağlı olarak yüksek sıcaklıklara çıkarılır. Bu olay neticesinde kaynak metalini, esas malzeme belirli oranlarda erir ve katılarak kaynak metalini oluşturur. Bu ısıtma işleminden sonra onu takip eden soğuma aşamasında metal malzemede çeşitli iç yapılar ortaya çıkar. Oluşan iç yapılar metalin mekanik özelliklerini direkt etkilediğinden bu ısınma ve soğuma olayları kontrol altında tutularak metalin istenilen mekanik özellikleri kazanması sağlanır.

Değişik iç yapıların oluşmasındaki ana sebep kaynak işleminin gerçekleştiği sıcaklık, kaynak metalinin kimyasal bileşimi ve soğuma hızıdır. Kaynak işleminin gerçekleştiği sıcaklık metallerin birbirleri içersinde erime oranlarını etkileyerek oluşan yeni metalin kimyasal bileşimine etki eder.

Özellikle eritme esaslı kaynak uygulamalarında soğuma hızı, demir esaslı malzemelerde değişik iç yapılar oluşmasında en önemli faktörlerden biridir. Kaynak işlemi bir tür kısmi döküm işlemi olarak düşünülebilir. Döküm işleminde olduğu gibi kaynak bölgesinde de ısı transferi gerçekleşmektedir. Isı transferi kaynak metalini bölgeden esas malzemeye doğru gerçekleşir. Bu ısı transferi esnasında kaynak metaline komşu olan bölgelerde farklı sıcaklıklara sahip bölgeler oluşmakta ve bunun neticesinde farklı iç yapılar oluşmaktadır. Bu farklı iç yapılar heterojen bir yapı oluşturmakta ve dayanım özellikleri değişmektedir.

İç yapıların farklı oluşmasındaki temel sebeplerden bir diğeri ise kimyasal bileşimdir. Bilindiği gibi saf metallerin mekanik özellikleri göreceli olarak düşüktür. Bu nedenle metaller alaşımlanarak mekanik özellikleri yükseltilmektedir. Yapıda bulunan alaşım elementlerinin yüzdesi metalin mekanik özelliklerini ve daha sonra kazandırılmak istenen özelliklerini etkilemektedir. Örnek olarak çeliklerde karbon miktarı sertleştirilebilme özelliğini etkilemektedir. Karbon oranı % 0,25 ten az olan çelikler su verilerek sertleştirilemezler. Ayrıca yapıda gereğinden fazla miktarda karbon bulunduğu zaman yapı çok sert olmakta ve uygulanan işlemlere bağlı olarak iç yapıda kalıntı gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmelerin giderilmesi için metale gerilim giderme tavlama uygulanmaktadır.

Kimyasal bileşim değiştirilerek istenilen şartlarda çalışacak uygun metaller elde etmek mümkündür. Örnek olarak aşınmaya maruz kalan bir dozer kepçesinde aşınma problemini önlemek için aşınma dayanımı yüksek olan pahalı alaşımlı çelik kullanmak yerine , kepçenin

daha yumuřak fakat yzeyi alařımlı çelikle kaplanmıř olan ve maliyeti daha az bir kepçe kullanarak ta istenilen kepçe özellikleri saėlamaktadır. Bu iřlem gerçekleřtirilirken kepçe ilk olarak karbon oranı dūřuk kaynak iřlemi için problem arz etmeyen malzemededen imal edilir. İstenen ařınma direncini saėlamak içinde sūrtūnme maruz kalan yzeyler yūksok alařımlı malzemeler ile kaplanır. Daha sonra uygun ısıl iřlemlerle yzey bōlgesine istenen mekanik özellikler kazandırılır.

Yzey kaplama işlemlerinde, metalin yzey bōlgelerinin kimyasal bileşimi değiştirilerek istenilen özellikler kazandırılması endūstriyel bir uygulamadır. Burada işlemin ekonomik olması için yzey değişik kimyasal birleşime sahip metalle kaplanmaktadır. Fakat işlememin ekonomiklik özelliğini artırmak ve olabilirlik özelliğini yūkseltmek için en uygun kimyasal bileşime sahip dolgu metali seçilmelidir. Kaynak metali, esas malzeme ve ilave malzemenin kompozisyonudur. Kimyasal bileşim ergitme oranları ile doğrudan ilişkilidir. Ergitme oranları ise kaynak yōntemi ve paso sayısına seçimine bağlı olduğu bilinmektedir. Kaynak işleminin gerçekleştirildiği paso sayısı artıkça işlemin maliyetinin artmakta ve imalat sūresinin uzamakta olduğu dikkate alınması gereken etkenlerdir.

Belirtilen bu nedenlerden tūrū kaynak metalinin kimyasal bileřimi tutturmak önem kazanmaktadır. Bu çalıřmada ergitme esaslı kaynak uygulamalarında kimyasal bileřimi etkileyen faktōrler arařtırılmıřtır.

## 2. KAYNAK İŞLEMİ

Kaynak; ısı, basınç veya her ikisinin birden uygulanmasıyla malzemelerin birbiriyle birleştirilmesi veya kaplanması işlemidir. Bu işlemde ek bir malzeme de kullanılabilir. İki malzeme arasındaki bağ, ana malzeme ile ek malzeme arasındaki kohezyon kuvvetlerine dayanır. Basınç uygulanarak yapılan kaynakta (Pres kaynağı) malzemeler ergime sıcaklığının altında, plastik haldeyken birleşirler. Isı katkısıyla yapılan kaynakta ise, (Ergitme Kaynağı) malzemeler ergimiş haldeyken birleşirler. (Babalık,2001)

Kaplama kaynağında da amaç, aşınmış bir parçadan tekrar yararlanabilmek için aynı cins metalin kaynak yöntemi ile kaplanması (özelliklerde bir değişiklik olmuyor) ya da üretilmekte olan bir parçada dış yüzeye daha farklı özellikler kazandırmak için farklı türden malzeme ile kaplanmasıdır. Aşınmaya, korozyona mukavim olması istenen parçanın normal imalat çeliğinden yapıp, üstünün daha sert bir çelikle kaynak edilerek kaplanması gibi kaplama kaynağına örnek olarak gösterilebilir.

Kaynak yönteminin seçimini doğru yapabilmek için diğer imal usulleriyle mukayese etmek gerekir. Diğer imal usullerine göre üstün yanları ; Lehimden farklı olarak, aynı türden ek malzeme kullanıldığı için hem ısıl yönden hem de mekanik yönden mukavemeti yüksek bir bağ elde edilir. Döküm veya dövme ile imalata göre, kalınlıklar tam yüke uygun şekilde, optimum düzeyde seçilebildikleri için malzemedeki dolayısıyla ağırlıktan tasarruf sağlanır. Perçin ve cıvataya göre, perçin ve cıvata başları ortadan kalktığı için daha hafif konstrüksiyon imkanı doğar. Perçindeki saçları birbirine bindirme zorluğu da yoktur. Saç tabakaların birbirine kaynak edilmesiyle gemi gövdesi, kazan, tank gibi büyük alanlı, büyük hacimli konstrüksiyonların kolay imalatı mümkündür. Profil, çelik döküm ve dövme parçaların saçlara kaynağı ile farklı elemanları bir araya getiren karmaşık konstrüksiyonlar gerçekleştirilebilir. Az sayıdaki üretimde, döküm ve dövme göre kalıp gereksinimi olmadığından, hem zaman hem de gider yönünden tasarruf sağlar. Çok sayıda parça üretiminde ise ekonomiklik açısından döküm yöntemi daha üstündür. Bir makinede, rijitliğini arttırmak amacıyla veya başka bir amaçla değişiklikler, ekler öngörülüyorsa. kaynak ile bu sonradan da yerine getirilebilir fakat dökümde bu yapılamaz. (Gültekin,1991)

Kaynak yönteminin sakıncalarına da gelince en önemli sakıncaları ergitme kaynağında parçaların üstlendiği yüksek ısı yükten kaynaklanır. Kaynak işleminden dolayı oluşan gerilmeler yüzünden mukavemet düşer. Kaynak sonrası soğuma esnasında büzülmeden dolayı sistemde kalıcı gerilmelerin giderilebilmesi için tavlama işlemi yapılması, ilave bir masrafı getirir. Geçiş bölgesinde iç yapı değişir, kısmen kimyasal reaksiyonlar oluşabilir ki bunlar sürekli mukavemeti azaltırlar. Dikişe yakın bölgelerde korozyon tehlikesi büyür.

Kaynak metotlarını çeşitli bakımlardan sınıflandırmak mümkündür. Temel olarak kaynak yöntemleri çizelge 2.1'deki gibi sınıflandırılabilir:

Çizelge 2.1 Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması (Gültekin,1991)

	<b>BASINÇ KAYNAĞI</b>	<b>ERGİTME KAYNAĞI</b>
<b>BİRLEŞTİRME</b>	Plastik durumda	Ergitilen malzemelerden oluşan metelsel banyo ve katılaşması
	Basınç etkisiyle	
<b>İŞLEM SICAKLIĞI</b>	Genel kural olarak birleştirilen malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında	Birleştirilen malzemelerin ergime sıcaklıklarının üstünde
<b>YÖNTEMLER</b>	1.Ateş Kaynağı	1.Gaz Ergitme Kaynağı
	2.Elektrik Direnç Kaynağı	2.Elektrik Ark Kaynağı
	a.Nokta Kaynağı	a.Ergimeyen Elektrotla Kaynak
	b.Dikiş Kaynağı	b.Ergiyen Elektrotla Kaynak
	c.Alın Basma Kaynağı	3.Alüminotermite Ergitme Kaynağı
	d.Alın Yakma Kaynağı	4. Özel Kaynak Yöntemleri
	3.Alüminotermite Basınç Kaynağı	
	4.Gaz Basma Kaynağı	
5.Özel Kaynak Yöntemleri		

Kaynak yöntemleri kaynak teknolojilerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Çizelge 2.2 Kaynak Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Darwisih, vd..1996)

Kaynak	Kaynak Yöntemi
Katı Faz	Soğuk Kaynak
	Difüzyon Kaynağı
	Patlamalı Kaynak
	Sürtünme Kaynağı
	Ultrasonik Kaynak
	Demirci Kaynağı
	Sıcak Basınç Kaynağı
	İndüksiyon Kaynağı
Termo Kimyasal	Plazma Kaynağı
	Gaz Kaynağı
	Sert Lehimleme
	Yumuşak Lehimleme
	Termit Kaynağı
Direnc kaynağı	Dikiş Kaynağı
	Yakma Kaynağı
	Y.F. Direnc Kaynağı
	Elektro Curuf Kaynağı
	Kabartılı Kaynak
	Darbe Kaynağı
	Nokta Kaynağı
	Saplama Kaynağı
Ark Kaynağı	Plazma Ark Kaynağı
	Karbon Elektrotla Kaynak
	Tozaltı Kaynağı
	Örtülü Elektrotla ark Kaynağı
	Özlü elektrotla ark Kaynağı
	Gaz metal ark Kaynağı
	Gaz tungsten ark Kaynağı
	Lazer ışını ile Kaynak
Enerji Yayanlar	Elektron Işın Kaynağı

Bu sınıflandırmanın dışında kaynak yapılan malzemelerin cinsine göre, metal ve plastik kaynağı olarak, kaynak işleminin gayesine göre birleştirme ve dolgu kaynağı olarak, kaynak yönteminin uygulanış yöntemine göre el kaynağı, mekanize ve otomatik kaynak olarak sınıflandırılabilir.

### 2.1 Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri

Bu kaynak yöntemlerinde parçalar arasındaki birleştirme işlemi, malzemeler ergimiş haldeyken, ana ve ilave malzemelerin karışımı sonucu oluşan kaynak metalinin soğumasıyla katı bir hal alması sağlanarak çözülmaz bağlantı elde edilir.

Ergitme esaslı kaynak yöntemleri şunlardır :

- Gaz Ergitme Kaynağı,
- Elektrik Ark Kaynağı,
- Ark Atom Kaynağı,
- Argon Ark Kaynağı (TIG-WIG),
- Plazma Kaynağı,
- MIG ( Sıgma) Kaynağı,
- MAG Kaynağı,
- Toz Altı Kaynağı,
- Elektro Cüruf Kaynağı.

### 2.1.1 Gaz Ergitme Kaynağı

Gaz ergitme kaynağı; kaynak için gerekli ısının biri yanıcı ,diğeri yakıcı olan gazların yakılmasıyla oluşan alevden faydalanarak yapılan kaynak yöntemidir. Bu yöntemde yanıcı gaz olarak asetilen ( $C_2H_2$ ) , Hidrojen ( $H_2$ ), Metan ( $CH_4$ ), Doğalgaz, Propan ( $C_3H_8$ ) , Propan-Bütan karışımı ( $C_3H_8 - C_4H_{10}$ ) (LPG) , Havagazı , Benzin ve Benzol buharı kullanılabilir.



Şekil.2.1 Gaz ergitme kaynağı ile kesme işlemi (Serfiçeli,2003)

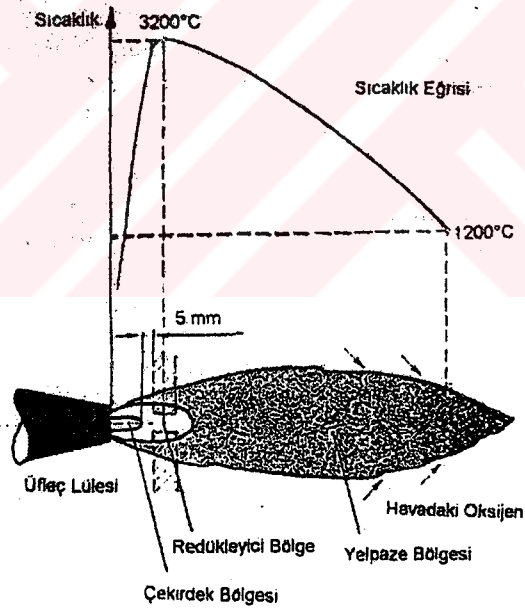
Bu yukarıda sayılan yanıcı gazlar içinden en çok asetilen gazı gaz ergitme kaynağında tercih edilmektedir. Bunun nedeni asetilen gazının alev sıcaklığının düşük, tutuşma hızının ve ısı değeri diğer gazlara göre daha yüksek olmasıdır.

Bu üstünlüklerinin yanında, asetilen gazının doğru kullanılmadığı takdirde kazalara neden

olabilir. Alev alma sıcaklığı düşüktür. Ufak bir ateş ile tutuşabilir. Dikkatli kullanılmadığı takdirde çok tehlikeli bir gaz olan asetilen, sahip olduğu üstün özelliklerinden dolayı gaz ergitme kaynağının vazgeçilmez yanıcı gazıdır.

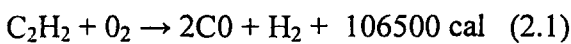
Gaz ergitme kaynağında, yanıcı ve yakıcı gaz karışımlarının yanmasıyla meydana gelen aleve, kaynak alevi adı verilir. Teorik açıdan bakıldığında, gaz ergitme kaynak alevinin oluşması için gerekli olan ortamda, 1 birim asetilen için 2,5 birim oksijene ihtiyaç vardır. Ancak, oksijen tüpünden alınan oksijen miktarı bu işlem için 1 birimdir. Alev için gerekli olan ve geriye kalan 1,5 birim oksijen, ortamdaki havadan alınır. Sonuçta, kaynak için gerekli olan her 1 birim asetilen için 1 birim oksijen, tüpten çıkar.

Normal bir alev çekirdek, redükleyici ve yelpaze bölgesi olmak üzere üç kısımdan meydana gelir. Çekirdek Bölgesinde hiç bir reaksiyon meydana gelmez. Asetilen oksijen karışımı alevlenme sıcaklığının altında bulunur.



Şekil 2.2 Normal bir alevin kısımları(Serfiçeli,2003)

Redükleyici Bölge, gazların bulunduğu ve sınırları belirli bir şekilde olan mavimsi bölgedir. Gaz karışımının molekülleri bu bölgeyi çok hızlı olarak geçer ve sıcaklığın birden bire yükselmesiyle birinci kademe adı verilen yanma oluşur ve (2.1) no'lu reaksiyon meydana gelir.



Alevin en yüksek sıcaklıkları bu bölge içersine girer. Özellikle çekirdek bölgesinin 5 mm uzağına denk gelen alan en yüksek sıcaklığın olduğu yerdir. Bu kısımdan yelpaze bölgesinin ucuna doğru sıcaklık değerleri düşerek azalır.

Yelpaze Bölgesi, bundan önceki bölgelerin en dışında kalan ve redükleyici bölge ürünleriyle havanın oksijeni arasında yanmanın meydana geldiği dış bölgedir. Alevin bu bölgesi her zaman oksitleyicidir ve bol miktarda azot içerir.

Oksi-asetilen gazının kimyasal karakteristiği incelenirse, kaynak yapılacak malzemenin cinsine göre nötr, karbürleyici ve oksitleyici olarak sınıflandırılabilir.

Normal Alev , asetilen / oksijen oranı (1:1) olan alevdir. Demir esaslı metallerin kaynağında kullanılır.

Asetileni fazla alev oluşturulduğunda, sınırları keskin, beyaz ışıklı alev konisi kaybolur. Sınırları düzgün olmayan ve yelpaze bölgesi uzun olan bir alev elde edilir. Bu alev, karbürleyici ve sertleştirici bir etki yapar; bu nedenle sadece dökme demirlerin ve hafif metallerin kaynağında kullanılır.

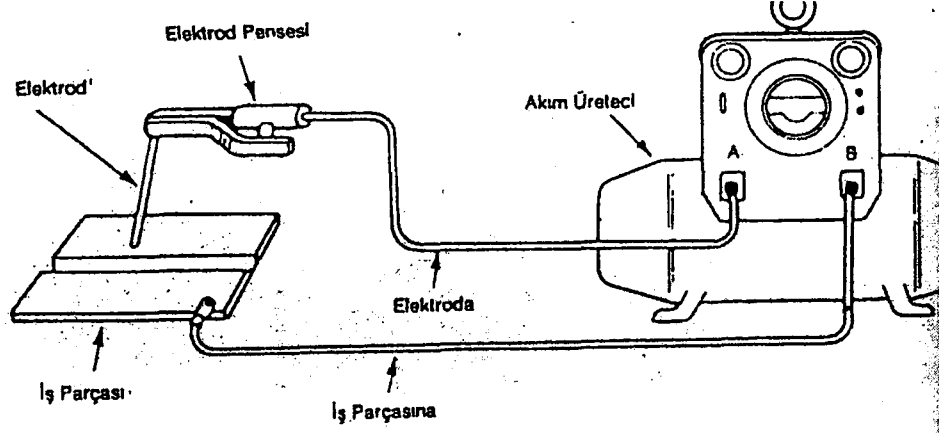
Oksijeni fazla alev oluşturulduğunda, alev konisi sivri ve mavimtırak bir renkte olur. Oksijeni fazla alev oksitleyici karakterdedir yani çeliklerin yanmasına neden olur. Oksijeni fazla alev, çinkonun kaybolmasını azalttığından, sadece pirinç malzemelerini kaynağı ve bazı lehimleme işleri için kullanılır.

Her üç alev tipi de, sert veya yumuşak olarak ayarlanabilir, bu durum asetilen/oksijeni karışım oranının değiştirilmesini gerektirmez. Sert bir alevde, gazın memeden çıkış hızı yüksektir; yumuşak bir alevde ise gaz çıkış hızı düşüktür. Küçük bir bölgede kaynak yaparken yumuşak, büyük bir bölgede ise alev sert olacak şekilde ayarlanır.

### **2.1.2 Elektrik Ark Kaynağı**

Elektrik ark kaynağı, kaynaklı birleştirme için gerekli ısının elektrotlar arasında oluşturulan ark yardımıyla sağlandığı kaynak türüdür. Bu yöntemde ısı katottan enerji kazandırılan elektronların anodu bombardıman etmesiyle sağlanır. Bu bombardıman aslında bir akım

geçişidir. Kaynak akımının elektrottan ana malzemenin temas noktasına doğru geçmesi ve yüksek akım yoğunluğu etkileri ile ısı yükselir. Ana malzeme ve kaynak elektrotu ergimeye başlar. Ergiyen elektrottaki metal damlalar halinde metalsel banyoya akar ve böylece kaynak dikişi oluşturulmuş olur.



Şekil 2.3 Elektrik ark kaynağı elemanları.(Anık, vd..2000)

Normal elektrik akımını direk elektrik ark kaynağında kullanılmaz. Bunun nedenleri şebeke gerilimi olan 220 yada 380 voltun kaynak işlemi için çok yüksek olması, bu gerilimin direkt olarak kaynak işleminde kullanılmasının öldürücü etkisi nedeniyle tehlikeli olmasıdır. Bu gerilim ile kaynak arkı oluşturulduğu takdirde, elektrot ucundan iş parçasına elektron geçişleri esnasında patlamalar ve etrafa metal sıçramaları tehlikeli bir biçimde artar. Oysa elektrik ark kaynağı yapılabilmesi için gerilimin düşük (25-55 volt), şiddetinin yüksek (10-600 Amper) olması istenir. Bu nedenden ötürü, elektrik akımının kaynak makineleri adı verilen gerilim üreteçleri tarafından, uygun bir elektrik arkı oluşacak şekle dönüştürülmesi gereği vardır. Kaynak makineleri elektrik akımının geçtiği elektrik tesisatından (diğer adıyla elektrik şebekesi) aldıkları elektrik enerjisini, kaynak arkını sürekli kılacak gerilim ve şiddete dönüştürerek kaynak akımını sağlarlar. Bunu yaparken de elektrik şebekesinden aldıkları alternatif akımdan yararlanırlar yada kendi donanımlarında bulunan ekipman yardımıyla, alternatif akımı doğru akıma dönüştürürler. Ark kaynağını hem alternatif akımla, hem de doğru akımla yapmak mümkündür. Dolayısıyla kaynak makineleri; Doğru akım veren kaynak makineleri ve Alternatif akım veren kaynak makineleri olarak sınıflandırılır.

Doğru akım veren kaynak makineleri olarak, kaynak jeneratörleri ve kaynak redresörleri kullanılmaktadır. Alternatif akım veren makineler ise, transformatör olarak anılır. Her iki grupta toplanan makinelerin, birbirlerine göre üstünlükleri vardır. İlk satın alma maliyeti açısından alternatif akımla çalışan makinelerin tartışılmaz üstünlükleri olması, bu tür

makinelerin her metal işleri atölyesinde bulunmasına neden olmaktadır. Diğer yandan doğru akım veren makinelerin genel üstünlükleri şunlardır:

- Düşük akım şiddetlerine ulaşmak mümkündür. Bunun anlamı; ince çaplı elektrotlar ile ince kesitli parçaların kaynağının başarıyla sonuçlanması demektir.
- Doğru akım ile bütün elektrot türlerinin kullanılması mümkündür.
- Doğru akımda arkın tutuşturulması daha kolaydır.
- Kısa ark boyu ile sürekli çalışmak mümkündür.
- Düşük akım şiddetlerinde kaynak yapmak mümkün olduğundan, tavan ve dik kaynağı gibi zor konumlarda kaynak yapmak daha kolaydır.
- İnce saçların kaynağı başarılı bir şekilde sonuçlanır.
- Ark oluşumu esnasında meydana gelen sıçramalar daha azdır.

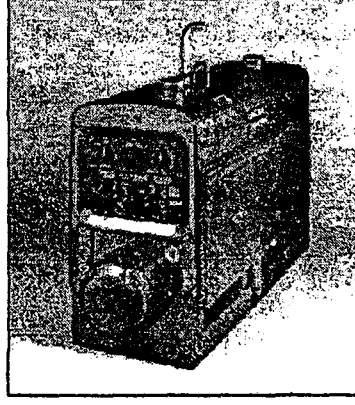
Bu sıralanan maddeler, bir bakıma doğru akımın üstünlükleri olarak kabul edilmelidir. Alternatif akımın üstünlükleri ise şunlardır:

- Alternatif akım halinde ark üflemesi nadiren bir sorun oluşturur.
- Alternatif akım ile kalın kesitli parçaların, kalın çaplı elektrotlar ile kaynağı rahatlıkla yapılabilmektedir.

Kaynak jeneratörleri bir kuvvet makinesi tarafından tahrik ettirilerek, kaynak için gerekli elektrik akımını üretirler. Tahrik işlemi, bir elektrik motoru ile sağlanabildiği gibi, bir benzin veya dizel motoru aracılığı ile de tahrik sağlanabilir. Kaynak jeneratörlerinde akım üretici görevini dinamo yerine getirir. Dinamo tahrik edilir. Tahrik işlemi, ya elektrik motoru ya da içten yanmalı motor ile yapılır. Tahrik işlemi sonucunda dinamo rotoru, manyetik alanda döner ve bunun sonucunda da elektrik akımı üretilmiş olur. Üretilen elektrik enerjisi, rotor milindeki kolektörden iki adet kömür fırça aracılığıyla çekilir ve kaynak kabloları yardımıyla kullanma yerine gönderilir. Kaynak jeneratörleri aşağıda sıralanan olumsuzlukları nedeniyle tercih edilmez.

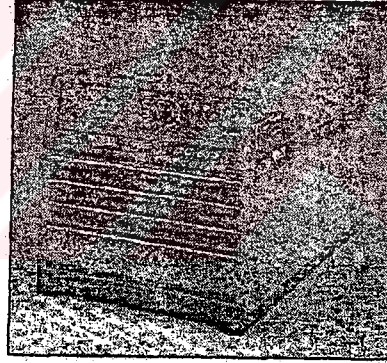
- Bakım giderlerinin yüksek olması,
- Kullanım ömürlerinin kısa olması,
- Maliyetlerinin yüksekliği,
- Verimlerinin düşüklüğü ,
- Boşta çalışma tüketimlerinin yüksekliği.

Ancak özellikle şantiye çalışmalarında, elektrik enerjisini de kendilerinin üretmesi ve doğru akım kullanmanın bütün üstünlüklerine sahiptirler.



Şekil 2.4 Jeneratör tipi kaynak makinesi (Serfiçeli,2003)

Elektrik şebekesinde bulunan elektrik akımının türü alternatif akımdır. Kaynak redresörleri alternatif akımı doğru akıma çevirirler. Bu yönleriyle jeneratörlere benzetilebilir ancak jeneratörler gibi dairesel hareket yapan organları olmadığı için sessiz çalışırlar ve jeneratörlere nazaran daha az masraflı makinelerdir.



Şekil 2.5 Kaynak redresörü(Serfiçeli,2003)

Yalın olarak bir redresör iki ana kısımdan meydana gelir. Birinci kısım bir transformatörden oluşur. Redresör üzerinde bulunan transformatör, şebekeden alınan akımın, kaynak yapılabilecek değerlere dönüştürülmesi görevini üstlenmiştir. Yani elektrik akımının gerilimini düşürüp şiddetini artırır. Redresörün ikinci organı olan redresör (doğrultmaç) ise, elde edilen bu kaynak akımını doğru akıma çevirme görevini üstlenmiştir.

Jeneratörlerden birçok bakımdan üstünlükleri yanında, doğru akımın sağladığı tüm üstünlüklere sahiptir. Ayrıca boşa çalışma tüketimleri düşük, verimlilikleri yüksektir. Bakım giderleri düşüktür ve sessiz çalışırlar. Bu nedenlerden ötürü de tercih edilirler.



Şekil 2.6 Kaynak transformatörü (Serfiçeli,2003)

Alternatif akım veren kaynak makinelerine transformatör yada kısa adıyla kaynak trafosu adı verilmektedir. Alternatif akımı doğru akıma çevirme gibi bir özellikleri yoktur. Sadece şebekeden aldıkları akımı kaynak yapılabilecek niteliklere dönüştürürler. Bu yönleriyle oldukça yalın makinelerdir Kaynak transformatörlerinin özellikleri, şu şekilde sıralanır:

- İlk satın alma maliyetleri düşük makinelerdir. Ömürleri uzun ve bakım giderleri azdır.
- Az yer kaplarlar ve hafiftirler.
- Verimleri yüksektir.
- Boşta çalışma tüketimi düşüktür.
- Her tür elektrot için uygun değildir.
- Boşta çalışma gerilimi yüksektir.
- Ark üfleme azdır.
- Bakır, hafif metaller ve yüksek alaşımli çeliklerin kaynağı için uygun değildir.
- Alternatif akım tehlikeli olduğu için kapalı alanlarda kullanılması önerilmez.

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotlar, yalnız arkı meydana getirmek için yada hem arkın oluşturulmasında hem de ilave metal olarak kullanılır. Yine bunlar da kendi aralarında alt sınıflara ayrılırlar.

Yalnız ark oluşturmada kullanılan elektrotlar, ya parça ile aralarında ya da iki elektrot arasında arkı meydana getirir ve ayrıca kaynak ağzını doldurmak için bir ilave metal kullanılır. Eğer ince saclarda birleştirilecek uçlar kıvrılmış ise; kıvrılan kısımların eritilmesiyle kaynak yapılabileceğinden, ilave metal kullanılmasına lüzum yoktur. Ergimeyen elektrotlar da denilen yalnız ark oluşturmada kullanılan elektrotlar , karbon veya tungsten olabilir. Karbon elektrotlar genellikle daire kesitli

amorf , grafit , ve elektrografit türlerinde olabilir. Tungsten elektrotlar ise koruyucu gaz atmosferi altında yapılan kaynak usullerinde kullanılırlar. Bunlara örnek olarak ark atom ve argon ark (TIG) kaynakları verilebilir. Saf tungsten elektrotlar yerine, toryum ve zirkonyumla alaşımlandırılmış elektrotların kullanılması daha yüksek akım şiddetiyle yüklenebilen, ömürleri daha uzun olan ve yüksek elektron emisyon olan elektrotların elde edilmesini sağlamıştır. Alaşım elemanı olarak toryum % 0,35 ila 2,2 arasında, zirkonyum ise % 0,15 ila 0,40 arasında katılır. (Serfiçeli,2003)

Hem arkı oluşturmada hem de ilave metal olarak kullanılan elektrotlar örtülü ve örtüsüz elektrotlar diye iki gruba ayrılabilir. Bu tür elektrotlar kaynak yapılırken ergir ve kaynak ağzını doldururlar. Örtüsüz elektrotlar çekme veya haddeleme yoluyla elde edilen ve dış yüzeyleri çıplak olan tellerden ibarettir. Çıplak ve özlü olmak üzere iki türü vardır.Çıplak elektrotların ilk uygulamalarında kaynak yapılırken, dikişi havanın oksijen ve azotunun tesirinden korunmak mümkün olmamaktaydı. Fakat daha sonraları geliştirilen ve kaynak yerinin kaynak tozu veya gazlarla korunduğu kaynak çeşitlerinde, havanın zararlı etkisinden korunmak mümkün olmuştur.

Özlü elektrotlarda elektrotun çekirdeğinde arkı stabilize eden bazı organik maddeler vardır. Öz maddesinin kaynak esnasında yanmasıyla meydana gelen gaz atmosferi kaynak yerini havanın zararlı tesirlerinden korur.

Örtülü elektrotlar çıplak telin üzerine daldırma veya presleme ile bir örtü kaplanmasıyla elde edilir. 1908 yılında İsveçli Oscar Kjelberg tarafından bulunan elektrot örtüsü aşağıdaki faydaları sağlamaktadır:

- Arkın tutuşması ve oluşmasını kolaylaştırır. Böylece hem doğru hem de alternatif akım ile kaynak yapılması mümkün olur,
- Eriyen metal damlarının yüzey gerilimlerine tesir ederek; tavan ve dikine kaynak işlemlerinin yapılmasını kolaylaştırır,
- Bir koruyucu gaz ortamı meydana getirerek, kaynak dikişinin havanın oksijen ve azotunun tesirinden korumuş olur. Böylece, kaynak dikişinin mekanik özellikleri yükselir,
- Kaynaktan sonra dikişin üzerini bir cüruf tabakası ile örtterek, dikişin yavaş soğumasını sağlar,
- Dikişi alaşımlandırmak gayesiyle, kaynak banyosunun içerisine elemanları katar,
- Kaynak hızını yükseltir,
- Ergimiş metalsel banyoyu dezoksidize eder.

Elektrot örtüsünün içerisinde bağlayıcı, cüruf teşkil edici, örtünün mukavemetini artıran, arkı stabilize eden, gaz atmosferi meydana getiren, oksidasyon ve dezoksidasyon yapıcı, alaşım teşkil edici maddeler bulunur. Örtülü elektrotlar, örtü karakteri ve örtü kalınlığına göre sınıflandırılır. Örtü karakterine göre örtülü elektrotlar rutil (titandioksit), oksit, asit, bazik, selülozik karakterli ve özel elektrotlar olarak sınıflandırılır. Örtü kalınlığına göre örtülü elektrotlar üçe ayrılır:

- İnce örtülü elektrotlar: Bu elektrotlara örtü çapı (D) ile, tel çapı (d) arasında aşağıdaki bağıntı vardır: Örtü çapı (D) < tel çapı (d)\*1,2)
- Orta kalın örtülü elektrotlar: Örtü çapı (D) = tel çapı\*(1,2 ila 1,55)
- Kalın örtülü elektrotlar: Dış çapın, yani örtü çapının, tel çapının 1,55 katından büyük olduğu elektrotlardır.

## 2.2 Ergitme Esaslı Koruyucu Gaz Kaynak Yöntemleri

Bu yöntemlerdeki temel prensip, ark ortamı ve kaynak bölgesini , havanın etkisi dışında tutmak amacı ile belirli gazlarla kontrollü olarak beslenmektedir. Böylece ;

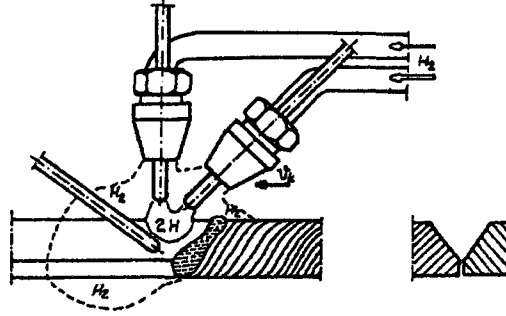
- Atmosfer gazlarına karşı ark ve kaynak banyosu koruması, metelsel banyonun gazının giderilmesi,
- Arkın oluşturulması ve kararlılığının korunması,
- Kaynak yatkınlıkları zayıf olan malzemeler ile kaliteli dikişler eldesi,
- Parça kalınlıkları ve konstrüksiyonlarına uygun yöntemler seçilebilmesi ve otomatik uygulamalara geçilebilmesi,
- Yüksek ergime verimleri ve nüfuziyet derinlikleri ile çalışılabilmesi gibi uygun koşullara ulaşılabilir.

Belirtilen bu kaynak koşulları, öngörülen öncelik sıralarına bağlı olarak, nötr ve aktif gazlar veya bunların karışımları seçilerek ortaya çıkarılır. Koruyucu gaz kaynak yöntemlerinin başlıcalarını aşağıdaki sınıflama içinde göstermek mümkündür (Gültekin,1991):

- Ergimeyen elektrotla yapılan koruyucu gaz kaynağı
- Ergimeyen iki elektrot ve dolaylı arkla yapılan koruyucu gaz kaynağı (Ark -Atom kaynağı)
- Ergimeyen bir elektrotla yapılan koruyucu gaz kaynağı (WIG kaynağı, Plazma kaynağı)
- Ergiyen elektrotla yapılan koruyucu gaz kaynağı
- Soy gaz ortamında ergiyen elektrotla yapılan kaynak (MIG veya SIGMA kaynağı)

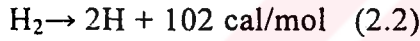
- Aktif gaz ortamında ergiyen elektrotla yapılan kaynak (MAGC-kaynağı)
- Karışım gazları ortamında ergiyen elektrotla yapılan kaynak (MAGM kaynağı, MAGCI kaynağı)

### 2.2.1 Ark Atom Kaynağı



Şekil 2.7 Ark Atom Kaynağı (Gültekin,1991)

Yöntem koruyucu gaz ortamında yapılan kaynak uygulamalarının en eskisidir. Uygulamada ark ortamı ve kaynak dikişi üzerine  $H_2$  gazı gönderilir. Kaynak yerine gelen iki atomlu (molekül halindeki) hidrojen, (2.2) no 'lu reaksiyona göre ark sıcaklığında ısı alarak atomlarına ayrılır.

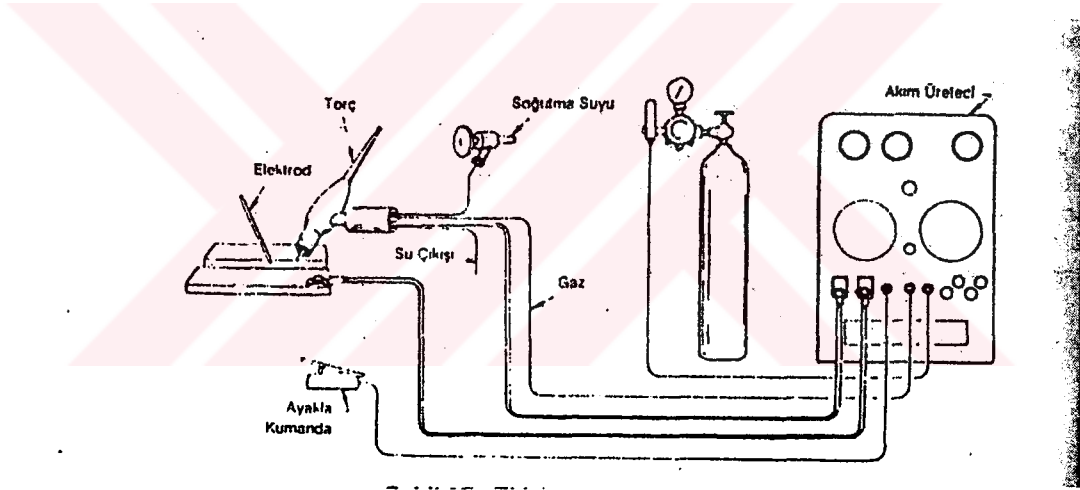


Kaynak yerinden ayrılan ve disosiyona uğrayan hidrojen gazı, düşük sıcaklıkta yeniden birleşir ve böylece alınan ısı tekrar geri verilmiş olur. Bu olay da kaynak işlemini kolaylaştırılır. Ark atom kaynağında, hidrojen gazının disosiyona uğrayarak kaynak yerine verdiği ısıdan başka, bütün kaynak yeri ve tavlı haldeki tungsten elektrotları redükleyici bir atmosferle sarıp, oksidasyona karşı koruma üstünlüğü de vardır. Yöntemle genelde 1-10 mm arasındaki saclar birleştirilir. Ayrıca kaplama amaçlı işlemlerde de uygulanabilmektedir. Malzeme olarak alaşımsız ve alaşımlı çelikler, dökme demir, magnezyum dışında hafif metaller, pirinç, bronz, bakır dışında kızıl döküm birleştirmelerinde, küçük kesitlerde ilave malzeme kullanmadan kalın kesitlerde ve temiz olmayan yüzeylerde ilave malzemeli olarak kullanılır. Yüksek hızlarda kaynak yapılması durumunda, dikiş kalitesi ve gözenek oluşmama emniyeti açısından, yeterli güvene sahip bulunmaktadır. En belirgin özelliği, ark ortamında açığa çıkan ısının dissosiyasyon olayından yararlanılarak, kontrollü olarak kullanılabilmesidir. Böylece ince sacların kaynağında, gerek metelsel banyo delinmesi, gerekse boyutsal ve şekilsel bozulmalara karşı, yeterli birleştirme yapılabilir. Yöntemin uygulanmasında, elektrot eksenlerinin oluşturduğu düzlemin konumunun öngörülen kaynak dikiş derinliği, dikiş yüksekliği ve kesit biçimine göre seçilmesi gereklidir. Bu

yöntemde kullanılan elektrotlar, saf Volfram ve alaşımlandırılmış Volfram malzemesinden, sinter tekniği ile imal edilmektedir. (Gültekin,1991)

### 2.2.2 Argon Ark Kaynağı (TIG-WIG)

Kaynak yöntemine adım veren Tungsten Inert Gas kelimeridir. Bu yöntem, bu kelimenin baş harfleriyle anılır. Almanya gibi ülkelerde tungsten metaline volfram denildiğinden kaynak Wolfram Inert Gas olarak anılmaktadır. Kaynak işlemini gerçekleştirecek ısı, ergime derecesi oldukça yüksek olan tungsten (volfram) metalinden yapılmış elektrotlar ile kaynatılacak parçalar arasında oluşur. Kaynak bölgesi elektrotu çevreleyen bir lüleden gönderilen argon veya helyum gazı tarafından korunur. Kaynak yönteminde kullanılan elektrotlar kendileri erimeden, kaynak yapılan gereci eriterek birleştirmeyi sağlar. Gerekli görüldüğü hallerde ilave kaynak çubukları, gaz eritme kaynağında olduğu gibi, kaynakçı tarafından veya otomatik tel sürme tertibatlarıyla kaynak bölgesine iletilir. (Serfiçeli,2003)



Şekil 2.8 Argon Ark Kaynağı donanımı (Anık, vd..2000)

Bu kaynak yönteminin ilk geliştirildiği yer olan Amerika'da, helyum gazının bulunması bu ülkede daha fazla kullanılmasına neden olmaktadır. Avrupa ve ülkemizde helyumun üretim maliyeti fazla olduğundan genelde argon gazı yeğlenir. Argon gazının özelliği ise düşük ark gerilimi oluşturmastır. Bu özelliği, ince gereçlerin kaynağında, kaynak banyosun içersine, yanma delikleri oluşturmama şeklinde ortaya çıkar. Birer aktif gaz olan azot, Avrupa'nın bazı ülkelerinde bakır kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılır.

TIG Kaynak makinelerinin yapısı, diğer örtülü elektrot ile ark kaynağı yapan makinelerden farklı özellikler arz etmez. Çoğu kez gerekli olan sabit akımlı yada düşen karakteristikli bir güç kaynak makinesi, bu tür kaynakların yapılması için yeterli olabilir. Kaynak işlemi

yapılacak metalin özelliklerine göre makinenin (+) ve (-) kutuplarda çalışmaya uygun olması yeterli sayılabilir. Günümüzde, argon ark kaynağında genellikle redresörler tercih edilmektedir. Bunun başlıca sebebi de, bilindiği gibi, bir redresörün önce bir transformatör ve transformatörden çıkan düzeltici redresör elemanlarından meydana gelmesidir. Kaynak yapılan malzemeye göre bazı hallerde alternatif akıma ihtiyaç olduğundan, bu gibi durumlarda, redresör devreden çıkarılarak kaynak akımı yalnız transformatörden alınmakta, doğru akımın gerekli olduğu hallerde ise, redresör devreye sokulmaktadır.

Alüminyum, Magnezyumun ve ayrıca bazı bronzlar, açık havada çok hızlı bir şekilde, yüksek dayanımlı, kalın ve yüksek sıcaklıkta eriyen oksit tabakaları oluştururlar. Örneğin alüminyumda oksit tabakasının erime sıcaklığı 2000 °C civarındadır. Oysa alüminyumun kendisi 700 °C civarında erir. Bu oksit tabakası kaynaktan önce uzaklaştırılmazsa, alüminyum erir ancak oksit tabakası kaynak banyosunu kapladığından bu şekilde başka bir parça ile birleştirme mümkün olmaz. Oksit tabakası, kaynaktan kısa bir süre önce uzaklaştırıldığında dahi, oksijenin varlığı nedeniyle yüksek kaynak sıcaklığında hemen yeni bir oksit tabakası oluşur. Kaynak sırasında bu oksit tabakası da sürekli olarak uzaklaştırılmak zorundadır. Tungsten elektrot artı kutba bağlandığında, bunun yapılması mümkündür. Gaz iyonları ark içinde hızlanır ve büyük bir hızla parça yüzeyine çarpar. Bu şekilde oksit tabakasını parçalayan bir temizleme etkisi oluşur.

Elektrotun artı kutba bağlanması, akım yüklenebilme kabiliyetinin düşük olmasından dolayı, uygun değildir. Bu nedenle alternatif akım tercih edilir. Kısa süreli artı kutuplama, saçların temizlenmesi için yeterli olur. Elektronik kumandalı akım kaynakları, yeterli bir temizleme etkisi elde edecek tarzda, artı yarı dalgaların genişliği kademesiz olarak ayarlanabilir. Bu sayede elektrot termik olarak daha az yüklenir ve parçadaki nüfuziyet de daha iyi oluşur.

Genel olarak hafif metal ve alaşımlarla, bakır ve paslanmaz çeliklerin kaynağında TIG kaynağı ile 15 mm kalınlığa kadar parçaların kaynağı yapılabilir. Ayrıca kaynak kabiliyeti kötü olan bronzlar, titanyum alaşımları, zirkonyum gibi malzemelerin kaynağı gözeneksiz olarak yapılabilir.

TIG kaynağının üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

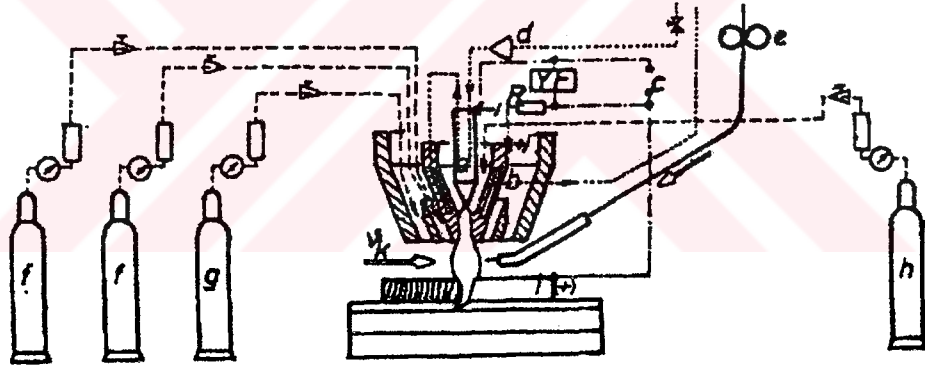
- Kaynak hızı yüksektir.
- Kaynak ısısı bir bölgeye yoğunlaştırılır.
- Isıl distorsiyonlar azdır.
- Kaynak dikişleri temizdir.

- Kaynaktan sonra dikişin temizlenmesine lüzum yoktur.
- Kolay mekanize edilebilir.

### 2.2.3 Plazma Kaynağı

Plazma kavramından, molekül , atom , iyon ve elektronlardan oluşmuş, yüksek ısı ile yüklü gaz anlaşılmaktadır. Bu karışım elektriksel bakımdan, kendi içinde nötr bir durumdadır. Plazma, bir gazı elektrik arkından geçirerek elde edilen iyonlaşmış ışıklı gaz olarak da tanımlanabilir. Kaynak tekniğinde bu plazmadan yararlanarak malzemelerin kesilmesi ve birleştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir. (Gültekin,1991)

Plazma arkı , serbestçe yanan arkta farklı olarak , çok iyi bir şekilde su ile soğutulan bir bakır memenin içinde daralan bir arktır. Ark genellikle erimeyen bir elektrot ile parça arasında yanar. Plazma memesi akımsızdır. Meme deliğinin içinden, ark içinde yüksek sıcaklığa erişen , soy bir gaz ( genellikle argon ) akar. Plazma memesinin şekli ve plazma miktarı sayesinde ark ,değişik kaynak işleri için geniş sınırlar içinde optimize edilebilir.



Şekil 2.9 Plazma birleştirme kaynağı için gerekli donatım (Gültekin,1991)

- a. Elektrot b. Bakır meme c. Doğru akım kaynağı d. Soğutma suyu e. Kaynak teli  
f.Odak gazları (Ar-H<sub>2</sub>) g. Koruyucu gaz ( Ar ) h. Plazma gazı ( Ar )

Şekil 2.9'da plazma birleştirme kaynağı için gerekli donatım görülmektedir. Bu yöntemde ark, volfram elektrot ile bakır meme arasında yanmaktadır. Bakır memenin temel görevi, ark kesitinin daralmasını sağlamak ve böylece güç yoğunluğunu yani ark sıcaklığını yükseltmektir. Ayrıca meme soğutma suyu ile soğutulmaktadır. Plazma gazı bakır memenin ortasından parça yönüne doğru püskürtülmektedir. Yüksek sıcaklık etkisiyle plazma gazı iyonize edilir. Elde edilen bu plazma ile birleştirme sağlanır. Plazma birleştirme kaynağında, kaynak banyosu ve metal göçümünün atmosfer

gazlarından etkilenmemesi için ikinci bir koruyucu gaz kaynak bölgesine gönderilir. Ayrıca kullanılan kaynak cihazlarının çoğunda , plazma memesinin dışında üçüncü bir çevre gazı karışımı gönderilmektedir. Odaklama gazı olarak ta adlandırılan bu karışım , Ar-He , Ar-H<sub>2</sub>,Ar-N<sub>2</sub> gazlarını içermektedir.

Plazma birleştirme kaynağında, genellikle ilave malzeme kullanmadan, 8-10 mm kadar parçaların alın kaynağı ile birleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu usulle kaynak işleminde WIG yönteminde ulaşılabilen hızların 2 katına kadar çıkılmaktadır.

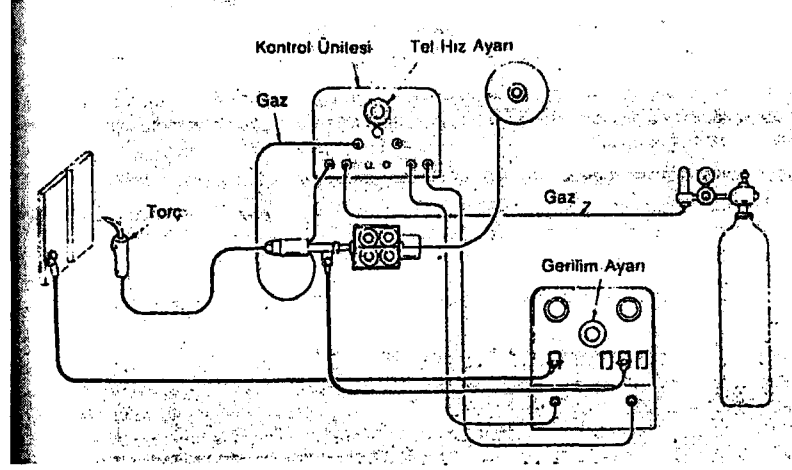
Plazma kaynağı yardımı ile alaşımsız , düşük ve yüksek alaşımlı çelikler , Ni ve nikel alaşımları, Ti, Zr, Cu ve bakır alaşımları birleştirilmekte, yeterli gözenek emniyetli, mekanik ve teknolojik özellikleri iyi dikişler elde edilebilmektedir. (Gültekin,1991)

#### 2.2.4 MIG ( SIGMA) Kaynağı

MIG kaynağında, genel olarak argon atmosferi altında kaynak yapılmaktadır. İlk 1948 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde "Linde Air Products Company" firması tarafından bulunarak, önce alüminyum ve alaşımlarının sonra da sırasıyla yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır alaşımlarının ve karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır. Bu yöntem, bulan firma tarafından "Shielded Inert Gas Metal Arc" kelimelerinin baş harflerini birleştirmek suretiyle "SIGMA" adı verilmiştir. Daha sonra da "Metal Inert Gas" kelimelerinin ilk harflerini alarak teşkil edilen "MIG" ismi bütün dünyada kabul edilen bir ad olmuştur.

MIG kaynak usulü, TIG usulünden arın, kaynak yerine otomatik olarak gelen metal ile iş parçası arasında teşekkül etmesiyle ayrılır. MIG kaynak donanımı aşağıdaki kısımlardan ibarettir;

- Bir doğru akım kaynağı,
- Bir kaynak tabancası,
- Çıplak elektrot ile, argon, kaynak akımı, suyun girişi ve çıkışını sağlayan hortum şeklindeki iletkenler,
- Kaynak telinin hareketini sağlayan tertibat,
- Kaynak akımının geçişini, soğuma suyunun devreye girişini, argon gazının akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda cihazı,
- Basınç düşürme manometresi ve ölçü aleti ile teçhiz edilmiş bir adet basınçlı argon tüpü.



Şekil 2.10 MIG birleştirme kaynağı için gerekli donatım (Anık, vd..2000)

Kaynak için gerekli olan ark, kaynak torcundan gelen çıplak kaynak teli ile parça arasında oluşur. Torç içerisindeki telin, şasenin bağlı olduğu iş parçasına değmesiyle başlayan kaynak, kaynakçının isteğine bağlı olarak devam eder. Kaynak için gerekli olan kaynak teli (elektrot) örtüsüz şekliyle, otomatik tel verme sisteminden kaynak banyosuna iletilir. Bu yönüyle kaynakçının, fazla oranda becerili olmasını gerektirmeyen bir kaynak yöntemidir. Geliştirilen kaynak donanımlarıyla kaynak mesafesi, kaynak hızı ve akım şiddeti otomatik olarak düzenlenmiştir. Kaynak teli tel verme sisteminden sürekli kaynak banyosuna iletiildiğinden, örtülü elektrotla yapılan ark kaynağında olduğu gibi elektrot değiştirme ile zaman kaybı ve atılan elektrot uçları ile elektrot kaybı söz konusu değildir. Örtüsüz elektrotların üzeri oksitlenmeyi önlemek ve telin kaynak akımını iletilmesi için bakır kaplanmıştır.(Anık, vd..2000)

MIG kaynak yönteminde asal gazların kullanılması maliyetini olumsuz yönden etkilemektedir. Çelikler dışındaki metallerde, bu durum fazla bir önem taşımazken, sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler için maliyet fazla olmaktadır. Kaynak maliyetini olumsuz yönden etkileyen bu durumun önlenmesi, koruyucu gaz olarak karbondioksitin kullanılmasıyla gerçekleşir. Karbondioksit gerek argon, gerekse helyumdan daha düşük maliyette kaynak yapılmasına olanak sağlar.

### 2.2.5 MAG Kaynağı

Ergiyen elektrotla CO<sub>2</sub> atmosferi altında yapılan MAG kaynağı, gaz altı kaynak yöntemlerinin diğer bir şeklidir. MIG kaynağından tek farkı, kullanılan koruyucu gazın CO<sub>2</sub> olmasıdır. Bu sebeple MIG kaynak donanımı MAG kaynağında da kullanılabilir. MAG

sembolü "Metal Aktif Gaz" ifadesinin kısaltılmış şeklidir. MAG kaynağı, alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenen malzemelerin kaynağında kullanılamaz. Günümüzde büyük oranda çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır.

CO<sub>2</sub> gazı kokusuz, renksiz ve havadan daha ağır bir gazdır. Saf ve rutubet içermemesi gerekir. Gaz içindeki nem dikişi gevrekleştirir ve gözenek teşekkülüne yol açar. Kaynak sıcaklığında CO<sub>2</sub> parçalanarak CO ve oksijene ayrışır. Ayrıca CO<sub>2</sub>, sıvı haldeki demirle reaksiyona girerek demir oksit oluşturur. Demir oksit ise bünyesine Mn ve Si alarak bu elementlerin kaybına ve dikişte fakirleşmelerine sebep olur. Bu kaybın karşılanabilmesi için, kaynak telinin bu elementlerce zengin olması gerekir.

MAG kaynağında kullanılan üfleçlerin prensibi MIG kaynağındaki üfleçlere benzemektedir. Bu yöntemde de kaynak bölgesine üfleç içinde sürekli beslenen bir tel elektrot kullanılmaktadır. Kaynak üfleçleri su ve gaz soğutmalı olarak imal edilmektedir. MAG kaynağında kullanılan tellerin, kaynak esnasında meydana gelebilecek kayıpları karşılayacak kimyasal kompozisyonda olmaları gerekmektedir. Tellerin en fazla kullanılanları 1.6, 2.4 ve 3.2 mm çapındadır. Kaynak dikişi kalitesi; kaynak telinin kalitesine, CO<sub>2</sub> gazının saflık derecesine ve kaynak esnasında kullanılan miktara bağlıdır. MAG kaynağı sabit gerilimli doğru akım kaynak makineleriyle yapılır. Ergime hızı akım gücüne bağlıdır.

MAG kaynağında, kısa ark boyu ile çalışılır. Ark boyu 1 ila 2 mm arasındadır. Kaynak tabancası mümkün olduğu kadar, parçaya dik olarak tutulmalıdır. Ark boyunun büyük tutulması halinde ise, dikiş içerisinde gaz kabarcıkları kalır. Kaynak otomatik veya el ile yapılabilir. El ile yapılması halinde bütün pozisyonlarda kaynak gerçekleştirilebilir. Otomatik MAG kaynağı ile derin nüfuziyetli ve muntazam görünüşlü dikişler elde edilmektedir.

### **2.2.6 Toz Altı Kaynağı**

Temel olarak bir elektrik ark kaynağıdır. Kaynak arkı, otomatik olarak kaynak yerine gelen çıplak bir elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Aynı zamanda, kaynak yerine devamlı olarak bir toz dökülür ve ark bu tozun altında yanar. Bu sebepten bu yöntemtoz altı kaynağı olarak adlandırılmıştır.



derinliğindeki kaynak tek pasoda yapılabilir ve hemen hemen bütün kalınlıktaki metaller bu yöntemle kaynak edilebilirler. Yüksek doldurma hızlarının istendiği hallerde çoklu elektrot telleri kullanılabilir. Bu metot gemi imali ve büyük çaplı çelik boru ve tank gibi büyük hacimli parçaların kaynağında kullanılmaktadır.

Bu prosesin sınırlamaları ise şu şekilde özetlenebilir: Yüksek oranda fluks sirkülasyonu (çevrimi), fluksun rutubet kaparak poroziteye sebep olması, çok miktarda cüruf teşekkülüdür. Ayrıca yüksek orandaki ısı girdisi kaynak bölgesinde kaba taneli yapıya ve yavaş soğumada segregasyon ve muhtemel sıcak çatlama problemlerine yol açabilmektedir. Kimyasal kompozisyonun kontrolü de önemlidir; çünkü eriyik kaynak bölgesinin % 70'ini kullanan elektrot malzemesi oluşturduğundan, dikiş kompozisyonu, ana parça kompozisyonuna göre farklılıklar gösterebilir.

Fluks bileşimi kaynaklanacak metalin özelliklerine göre değişir ve düşük ergime sıcaklığı, iyi akışkanlık ve soğuma sonrası kırılma faz teşekkül etmeyecek tarzda dizayn edilmektedir. Kaynak tozlarının büyük bir kısmını  $\text{SiO}_2$  teşkil eder.  $\text{SiO}_2$  kaynak tozunun yüksek akım şiddetiyle yüklenmesini sağlar, aynı zamanda iyi bir oksit giderici olup, cürufu akıcı hale getirir. Tozda bulunan  $\text{SiO}_2$  kaynak sırasında redüklenecek, dikişe silisyum kazandırır.  $\text{SiO}_2$  miktarı yükseldikçe, dikişe geçen Si miktarı da yükselir. Silisyum kaynak esnasında kaynak banyosunu deokside ederek (oksijen giderme), dikişte gözeneksiz bir yapı oluşumunu temin eder. Kükürt ve fosfor segregasyonunu (Belirli noktalarda aşırı zenginleşmeler sonucu oluşan alaşım elementi yığınları) azaltır. Tozların içerisinde miktar olarak ikinci büyük madde  $\text{MnO}$ ' dir. Kaynak dikişlerindeki Mn ve Si 'un miktarları mekanik özellikler açısından önemlidir. Mn:Si oranı en az 2:1 olmalıdır, 3:1'e de çıkabilir

### 2.2.7 Elektro Cüruf Kaynağı

Elektro cüruf yöntemi, birleştirme kadar kaplama ve boyutsal büyütme amaçlı işlemlerde de uygulanabilen yüksek ergitme verimli bir kaynak işlemidir. İşlem toz altına benzese de ısı üretimi yönünden farklılık bulunmaktadır. Uygulama için gerekli ısı ark yerine, sıvı cüruftan geçen elektrik akımından oluşturulmaktadır. Bu yöntemin avantajları;

- Uygulama ile tek pasoda 2000 mm' ye kadar kalınlıklar kaynak edilebilmektedir. Yöntem 12 mm' den kalın parçalar için ekonomiktir.
- Akım geçen telin serbest ucunun daha uzun olması, daha yüksek akım şiddetleri ile çalışılabilmesi yüksek ergime verimliliklerine ulaşılmasını kolaylaştırır.

- Toz altı kaynağına nazaran, yaklaşık %15 ila 20 daha az toz tüketilir.
- Uygulamada tek ve çok elektrot kullanılma olanağı dışında, kaynak edilecek kesite ve özelliklerine göre özlü, örtülü, çıplak ve bant elektrot kullanabilme seçeneği bulunmaktadır.
- Sade bir dikiş ön hazırlığına gerek duyulmaktadır.
- Kaynak bölgesi ve ısı etkisi altındaki bölgenin, soğutma sistemi ile kontrol edilebilmesi, ısı etkisi ile oluşan olayları sınırlandırır.
- Çatlama ve gözenek emniyeti yeterli bulunmakta, uygun birleştirme biçimlerinde aşısız gerilmeler ortaya çıkmamaktadır. (Gültekin,1991)

Bu yöntemde kullanılan kaynak tozlarında aranan özellikler aşağıda belirtilmiştir :

- Düşük ergime ve yüksek buharlaşma noktalarına sahip olmaları,
- Eriyik cürufun, karalı ark oluşturma eğilimi düşük olmalı,
- Eriyik cürufun, metalsel banyo üzerinde yükselmesi ve kaynak yönüne hareket edebilmesi için orta derecede viskoziteye sahip olması,
- Elektriksel olarak yüksek elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır.

Bu yöntem her tür birleştirme için uygun bir yöntem özelliği taşımamaktadır. Uygun konstrüksiyonlarda, birleştirme amaçlı işlemlerin dışında kaplama ve boyutsal büyütme işlemlerinde de uygulanabilir. (Gültekin,1991)

### 3. ERGİTME ESASLI KAYNAK UYGULAMALARINDA KİMYASAL BİLEŞİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

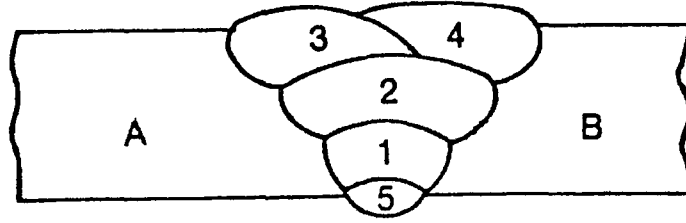
Ergitme esaslı kaynak yöntemi uygulamalarında kaynak metali şekil 3.1’de görüldüğü gibi A, B ve eğer ilave tel veya elektrot kullanılıyorsa onlarında karışımından meydana gelir. Bu karışımda eğer A ve B aynı cins metaller ise kaynak bölgesinde çok ciddi bir sorunla karşılaşılmaz. Çünkü elde edilen kaynak metali A ve B metalinin özelliklerine çok benzer özellikler gösterecektir. Tabii çok küçük kimyasal farklılıklar olacaktır. Bunun temel nedeni ise kaynak işlemi sırasında kaynak metali ve ark bölgesinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlardır. Kaynak işlemi sırasında bazı metallerin yanması veya bazı metallerin kaynak metali tarafından absorbe edilmesi bu kimyasal farklılıklara yol açmaktadır. Burada ilave tel ve elektrot, imalatçılar tarafından kaynak bölgesinde hiçbir olumsuz özellik oluşturmayacak biçimde kimyasal bileşime sahip olacak şekilde oluşturulur.



Şekil 3.1 Kaynak metali

Eğer A ve B farklı kimyasal kompozisyonda metaller ise bu sefer oluşacak kaynak metalinin kimyasal bileşiminin bilinmesi çok önemlidir. Çünkü elde edilecek kaynak metalinin kimyasal özellikleri daha sonra kaynak metalinden beklenen özelliklerin oluşmasında önemlidir. Metalden beklenen fiziksel ve mekanik özellikler temel olarak kimyasal bileşimden etkilenmektedir. Örnek verilirse, kaynak metalindeki karbon oranının ana metalden fazla olursa kaynak metalinin sertliğin ve gevrekliğinin ana metalden daha fazla olması beklenir. Bu durum istenen bir durum değildir. Ayrıca kaynak bölgesinde hidrojen yoğunluğu artarsa kaynak metalinin çatlama eğilimi artacaktır.

Şekil 3.1’deki kaynak metali A ve B metalinin ve eğer kullanılmışsa ilave telin kompozisyonlarının karışımından meydana gelmektedir. Fakat şekil 3.2’deki kaynak metali ise çok daha karışık bir kimyasal kompozisyona sahiptir. Bunun nedeni ise kaynak yapılan metallerin kalınlığının daha fazla olmasıdır.



Şekil 3.2 Çok pasolu kaynak dikişi

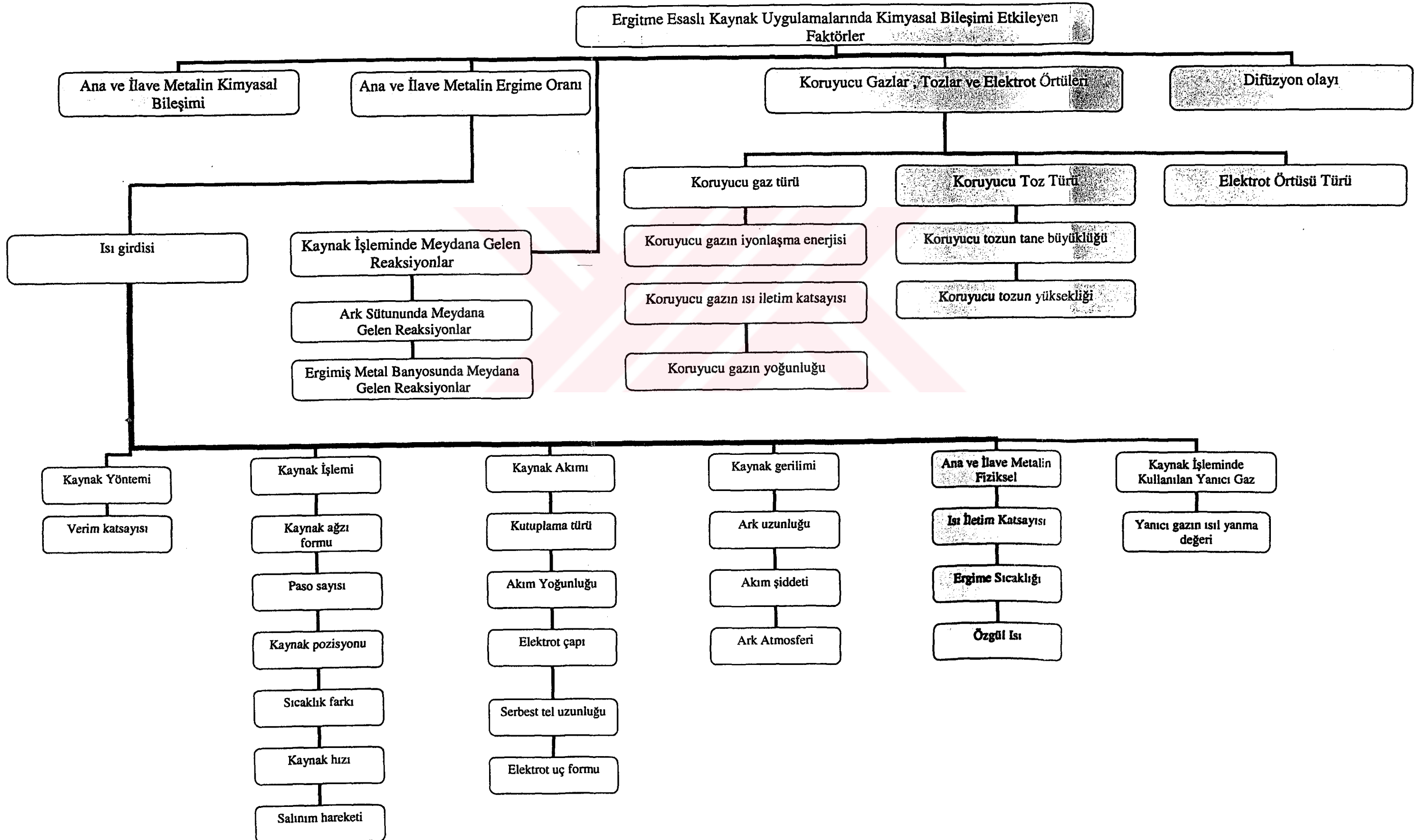
Şekil 3.2'de verilen örnek, farklı iki malzemenin kaynağındaki durumu daha basit bir tarzda açıklamaya yardım etmektedir. Şekildeki A ve B ana malzemelerini birleştirmek için 5 pasolu bir kaynak işlemine gerek vardır. Birinci paso A metali, B metali ve ilave metalden oluşmaktadır. İkinci paso A metali, B metali, ilave metal ve birinci pasodan ibaret bir karışım meydana getirmektedir. Üçüncü paso ilave metal, A metali ve ikinci pasodan ibaret olup, burada B metali yoktur. Dördüncü paso ilave metal, B metali, üçüncü ve ikinci pasodan oluşmaktadır. Beşinci pasoda ise, diğer bütün pasolardan farklı olarak, A metali, B metali ve birinci pasodan ibaret bir karışım ortaya çıkmaktadır.

Bu örnekte görüldüğü gibi kaynak işlemi sonucu elde edilecek kaynak metalinin kimyasal bileşiminin tutturulması oldukça zor bir işlemdir. Kaynak metalinin kimyasal bileşimini etkileyen faktörler şunlardır:

- Ana ve ilave metalin kimyasal bileşimi,
- Ana ve ilave metalin ergime oranı ,
- Kaynak işlemi esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ,
- Koruyucu gazlar ve tozlar ve elektrot örtüsünün kimyasal bileşimi ,
- Kaynak metalinde meydana gelen difüzyon

olayı olarak özetlenebilir. Belirtilen her bir etken kendi arasında çizelge 3.1 verildiği gibi alt basamaklara ayrılabilir.

Çizelge 3.1 Kaynak metalinin kimyasal bileşimini etkileyen faktörler



### 3.1 Ana ve İlave Metallerin Kimyasal Bileşimi

Kaynak metalinin kimyasal bileşimini etkileyen temel faktör ana ve ilave metallerin kimyasal bileşimidir. Burada ana metal ile kaynak yapılarak birleştirilen parçalar, ilave metale ile de kaynak işleminde kullanılan kaynak telleri ve elektrotları kastedilmektedir. Ana metal gerçekleştirilen konstrüksiyona göre seçilmiş bir metaldir. Bu metalden istenilen konstrüksiyonu gerçekleştirirken ilave metal ana metalin kimyasal ve fiziksel özelliklerine yakın özellikleri sağlayacak şekilde seçilir. Bunun nedenleri ;

- Tümüyle kimyasal ve fiziksel özellikler yönünden uyuşabilirliğin sağlanması,
- Korozyon direncinin yüksek olması için uniform kimyasal aktiflik,
- Kaynak metali ve ana metalin boyca uzama , tokluk ve yorulma dayanımı açısından aynı özellikler göstermesidir.( Dixon,1990)

Kaynak esnasında esas metal ve ilave metaller belirli oranlarda eriyerek yeni bir kompozisyona sahip bir metal oluştururlar. Bu metalin kompozisyonu ana ve ilave metalin yeni kaynak metalinde bulunma oranlarına göre değişir. Örnek olarak bir kaynak pasosunda (kök pasoda) amaç %70 ilave metali, % 15 A metalini ve %15'de B metalini içeren, yani esas metalin % 30 oranında eriyeceği bir kaynak metali elde etmek olsun. A metalinin kimyasal bileşimi %70 Ni + %30 Cu, B metalinin %18 Cr + %12 Ni + %70 Fe ve ilave metalinin de %75 Ni + %15 Cr + %8 Fe kimyasal bileşime sahip bir elektrot olduğunu kabul edilerek bu erime oranları kabulüne göre kaynak metalinin bileşimini hesaplanırsa ;

A metalinin kaynak metalinde verdiği elementlerin miktarları,

$$15/100 \times \%70 \text{ Ni} = \% 10,5 \text{ Ni}$$

$$15/200 \times \%30 \text{ Cu} = \% 4,5 \text{ Cu' dır.}$$

B metalinin kaynak metalinde verdiği elementlerin miktarları,

$$15/100 \times \%12 \text{ Ni} = \%1,8 \text{ Ni}$$

$$15/100 \times \%18 \text{ Cr} = \% 2,7 \text{ Cr}$$

$$15/100 \times \%70 \text{ Fe} = \%10,5 \text{ Fe'dir.}$$

C elektrotunun kaynak metalinde verdiği elementlerin miktarları,

$$70/100 \times \% 75 \text{ Ni} = \% 52,5 \text{ Ni}$$

$$70/100 \times \% 15 \text{ Cr} = \% 10,5 \text{ Cr}$$

$$70/100 \times \% 8 \text{ Fe} = \% 5,6 \text{ Fe'dir.}$$

Kayıpsız ve difüzyonsuz olarak oluştuğu varsayılan kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu,

$$10,5 + 1,8 + 52,5 = \% 64,8 \text{ Ni}$$

$$2,7 + 10,5 = \% 13,2 \text{ Cr}$$

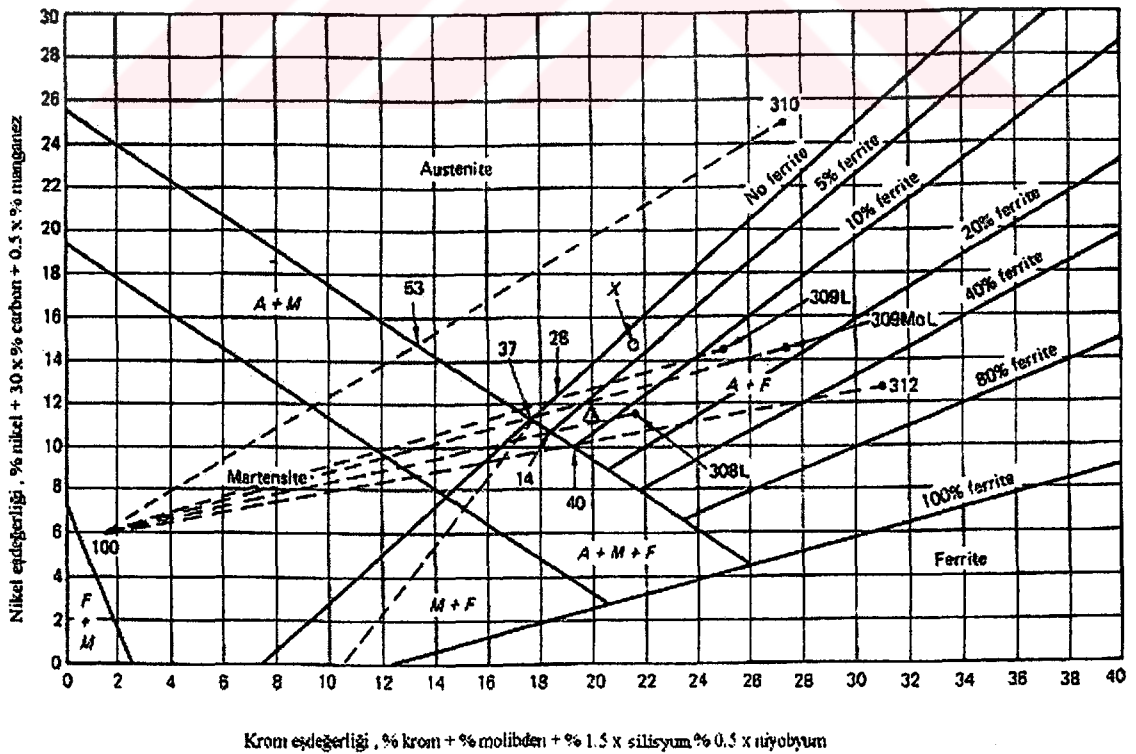
$$10,5 + 5,6 = \% 16,1 \text{ Fe}$$

% 4,5 Cu' dan oluşmaktadır.

Ergime oranına göre bir kabul yapılarak kaynak metalinin kompozisyonu hesaplanabilmektedir. Fakat yapılan kabul birçok faktörden etkilenmektedir ve kesin bir değeri yoktur. Bu faktörler 3.2 no'lu ana ve ilave metallerin ergime oranı bölümünde daha detaylı olarak ele alınacaktır.

### 3.2 Ana ve İlave Metallerin Ergime Oranı

Ergime oranı kaynak metalinin kimyasal bileşimini etkileyen en önemli faktördür. Ana ve ilave metalin belirli oranlarda karışımında bulunmaları sayesinde kaynak metalinin kompozisyonu belirlenir. Hangi metalden daha fazla ergitilirse kaynak metalinin özellikleri ona yakın olur.



Şekil 3.3 Schaeffler diyagramı (Leonard, vd., 1987-1991)

Ergime oranı, ergitilen metalde ana metalin bulunma oranı olarak tanımlanır. Ana metal (z) ve ilave metal (t) ile gösterilirse ergime oranı

$$\% E = (z / z + t) . 100 \quad (3.1)$$

(3.1) no'lu eşitliği ile hesaplanır. Paslanmaz çelikle yüzey kaplama yapılması öngörüldüğünde işlemin rasyonel ve ekonomik olması için doğru kimyasal kompozisyonun ayarlanması, yüksek ergime oranlarında çalışması ve işlemi en az paso sayısında gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bunun için doğru ilave metal seçmeli ve doğru ergime oranlarında çalışmalıdır.

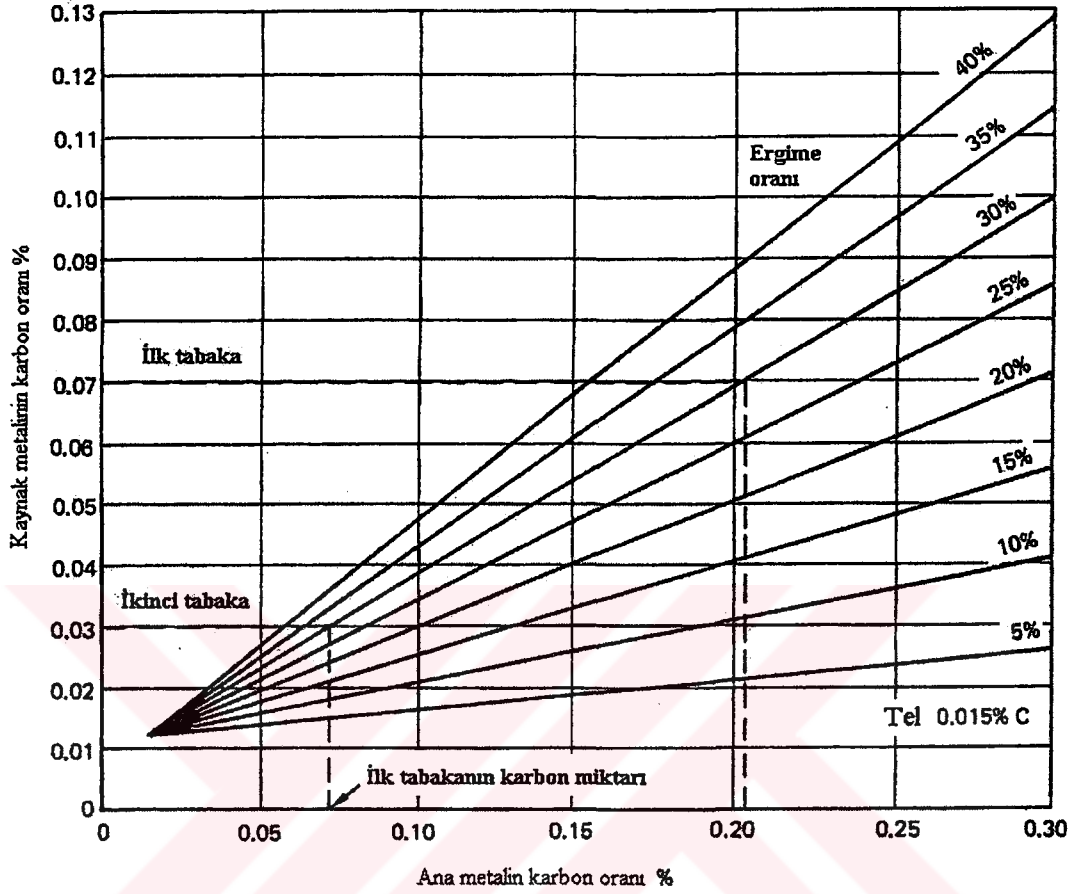
Şekil 3.3'deki Schaeffler diyagramında Amerikan Malzeme ve Test Birliği (ASTM) tarafından 100 ile gösterilen A 378A ana metal ile değişik kompozisyondaki ilave metallerin yaptıkları kompozisyonlar görülmektedir. 100 ile 310 numaralı paslanmaz çelik arasındaki bir birleşimde ergime oranının % 53'ten fazla olduğu oranlarda yapı tamamen ostenit olmaktadır.

Yapılan çalışmalarda ilk tabakada martenzitin bulunmayışının yapının iyi metalurjistik özellikleri açısından önemli olduğu tespit edilmiştir. Buda ergime oranının sınırını belirlemektedir. Ferrit oranının istenilen düzeyde olması sıcak çatlak oranını azaltır, yapıda martenzit bulunmayışı ise kaynak bağlantısının güvenilirliği için önemlidir ve karbon oranı az tutularak korozyon direnci yükseltilir. Diğer bir örnekte 308L metalinin ergime oranının % 14'ten az olması durumunda yapıda martenzit bulunmamaktadır.

Çizelge 3.2 belirlenen ergime oranına göre yapıda bulunacak karbon miktarını bize önceden göstermektedir. Çizelge 3.2 incelenirse ana metalin karbon oranı % 0,2 ve kaynak telinin karbon oranı % 0,015 alındığında ve ergime oranı %30 olarak kabul edilince, kaynak metalinin yapılan kabullere göre karbon oranı yaklaşık % 0,07 olarak tablodan okunur. Hesaplama yolu ile ise kaynak metalinden gelecek karbon miktarı

$$\% 30 \times 0,2 = \%0,06 \text{ olmaktadır.}$$

Çizelge 3.2 Belirlenen ergime oranına göre kaynak metalinin karbon oranının bulunması (Leonard, vd., 1987-1991)



Kaynak metalinin % 30'u ana malzemeden meydana gelecekse geri kalan % 70'lik kısmı da ilave metalden oluşmaktadır. İlave metalden gelecek olan karbon miktarı da  $\% 70 \times 0,015 = \% 0,0105$  bulunur.

Bu durumda kaynak metalinde bulunan karbonun yüzdece miktarı

$$\% 0,0105 + \% 0,06 = \% 0,0705$$

bulunur. Eğer karbon miktarı % 0,04 ile sınırlandırılmış olsaydı ilk tabakanın karbon oranı % 0,07 alınır ve aynı ergime oranı ile hesaplanırsa ikinci tabakanın karbon tablodan % 0,03 olarak okunur ve istenilen kimyasal kompozisyon iki pasolu bir işlem sonunda gerçekleştirilebilmektedir. (Leonard, vd., 1987-1991)

Esas olarak ana ve ilave metalin ergime oranını etkileyen temel faktör ısı girdisidir. Isı girdisi ergitilen metal miktarını etkileyerek karışımın kompozisyonunu belirler.

### 3.2.1 Isı Girdisi

Ergitme esaslı kaynak uygulamalarında kullanılan enerji elektrik enerjisinden veya kimyasal reaksiyonlar sonucunda elde edilir. Elektrik enerjisi kullanılarak elde edilen enerji teorik olarak

$$Q = U \cdot I \quad (3.2)$$

Q: Elde edilen enerji (watt),

U: Kaynak gerilimi (V)

I: Kaynak akımı (A)

(3.2) no'lu eşitliği ile hesaplanır. Birim dikiş enerjisi ise aşağıda verilen (3.3) eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$q = \frac{\eta \cdot 60 \cdot U \cdot I}{V_K \cdot 1000} \quad (3.3)$$

q: Birim dikiş enerjisi (kj/cm)

U: Kaynak gerilimi (V)

$\eta$ : Verim katsayısı

$V_K$ : Kaynak hızı (cm/dk)

I: Kaynak akımı (A)

Gaz ergitme kaynağında elde edilen birim dikiş enerjisi (3.4) no'lu eşitliği ile hesaplanır.

$$q = \frac{\eta \cdot h \cdot H}{V_K \cdot 60} \quad (3.4)$$

q: Birim dikiş enerjisi (kj/cm)

H: Kullanılan yanıcı gaz hacmi (l/h)

$\eta$ : Verim katsayısı

$V_K$ : Kaynak hızı (cm/dk)

h: Yanıcı gazın alt ısı değeri (asetilen gazı için 56,94 kj/l)

Verilen bu iki eşitliği incelendiğinde ((3.3) ve (3.4) no'lu eşitlikler) ısı girdisi, verim katsayısı, kaynak gerilimi, kaynak akımı, kaynak hızı ,kullanılan yanıcı gazın hacmi ve alt ısı yanma değeri faktörlerinden etkilenmektedir.

Genel olarak incelendiğinde ise ısı girdisine etki eden faktörler çizelge 3.1'de gösterildiği gibi kullanılan kaynak yöntemi, kaynak işleminin gerçekleştiriliş biçimi kaynak akımı ,kaynak gerilimi, ana ve ilave metalin fiziksel özellikleri ve koruyucu gazlar olarak ana başlıklar altında toplanabilir.

### 3.2.1.1 Kaynak Yöntemi

Yukarıda verilen (3.3) ve (3.4) no'lu eşitliklerde farklı enerji kaynaklarından elde edilen enerjilerin hesaplanması görülmektedir. Bu eşitliklerden birinde elde edilen elektrik enerjisi diğerinde ise kimyasal enerji hesaplanmaktadır. Ergitme esaslı kaynak uygulamalarında sadece gaz ergitme kaynağında kimyasal enerji kullanılmakta diğerlerinde ise elektrik enerjisi kullanılmaktadır.

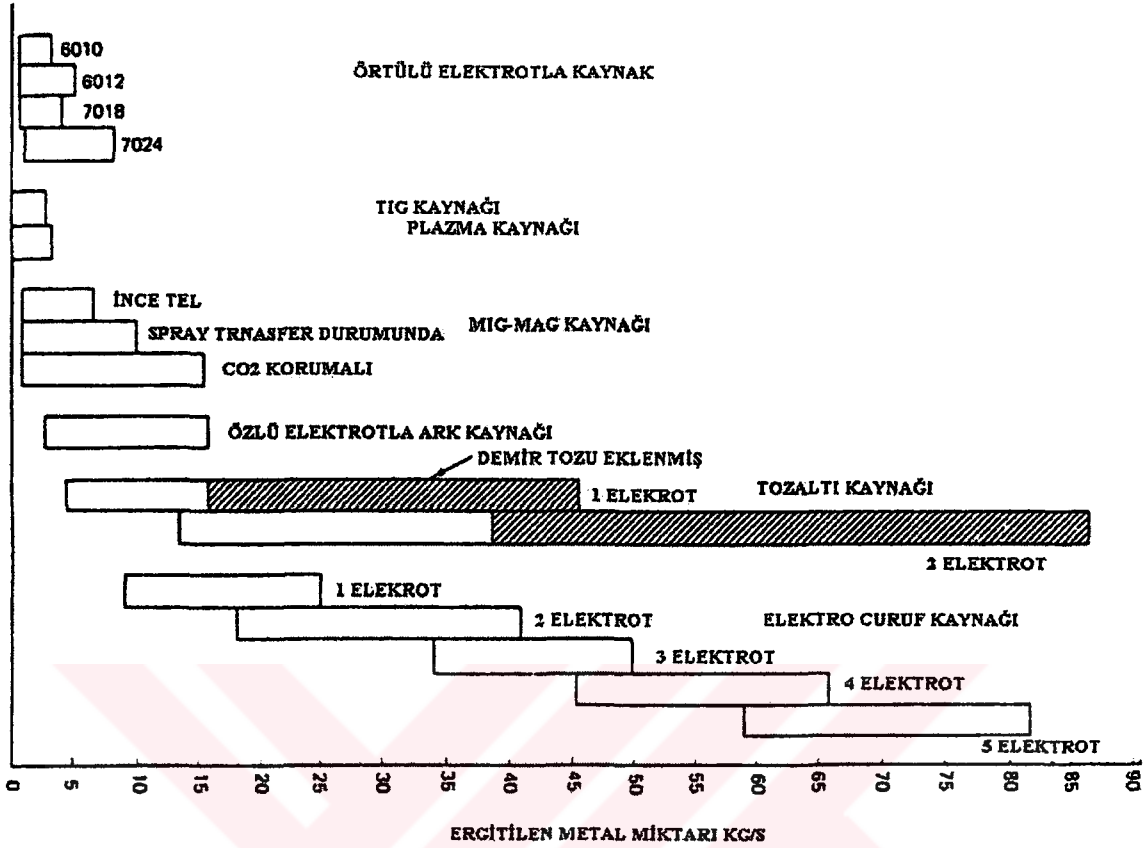
Kaynak yöntemleri arasındaki temel fark elde edilen enerji miktarıdır. Her yöntemin kendine has özellikleri olmasına rağmen amaç en kısa zaman içerisinde büyük ergime oranıyla yüzey kaplama işlemi veya az ergime oranıyla kaynak metalinde hiçbir yapısal dönüşüme izin vermeden küçük ve ince parçalarda kaynak işlemi gerçekleştirmekte olabilir. Gerçekleştirilen işlemin özelliklerine göre ısı girdisi(yöntem seçimi yaparak) ayarlanılarak ergime oranları değiştirilir.

Yüksek ergime oranlarının nedeni kaynak yöntemiyle elde edilen yüksek enerji miktarıdır. Kaynak yöntemlerinin uygulanış prensiplerine göre uygulanan kaynak akımı, kaynak gerilimi arasındaki farklar ısı girdisini değiştiren başlıca faktörlerdir. Yüksek gerilim insan sağlığı açısından önemli bir faktördür. Bu nedenle elle ark kaynağında yüksek gerilim değerleriyle çalışılmaz fakat toz altı kaynağında kaynak işlemi otomatik olarak gerçekleştirildiğinden dolayı yüksek gerilim değerleriyle çalışılabilmektedir. Ayrıca ark geriliminin serbest bir parametre olmadığı ,genellikle akım şiddeti ile bir birlikte ele alınması gerektiği bilinmelidir(2-4V/100A) .

Çizelge 3.3'te kaynak yöntemlerinin elektrot ergitme oranları arasındaki ilişki görülmektedir. Bu çizelgede elektro cüruf kaynağı ve toz altı kaynağı en yüksek ergime oranına sahip kaynak yöntemleridir. Burada gaz ergitme kaynağı görülmemektedir. Fakat gaz ergitme kaynağının ergime oranı tabloda verilen diğer kaynak yöntemlerinden daha azdır. Bunun nedeni yöntemin verim katsayısıdır.

Verim katsayısı kaynak yöntemiyle alakalıdır ve elde edilen enerjinin ne kadarının metal ergitmede kullanıldığını gösterir.

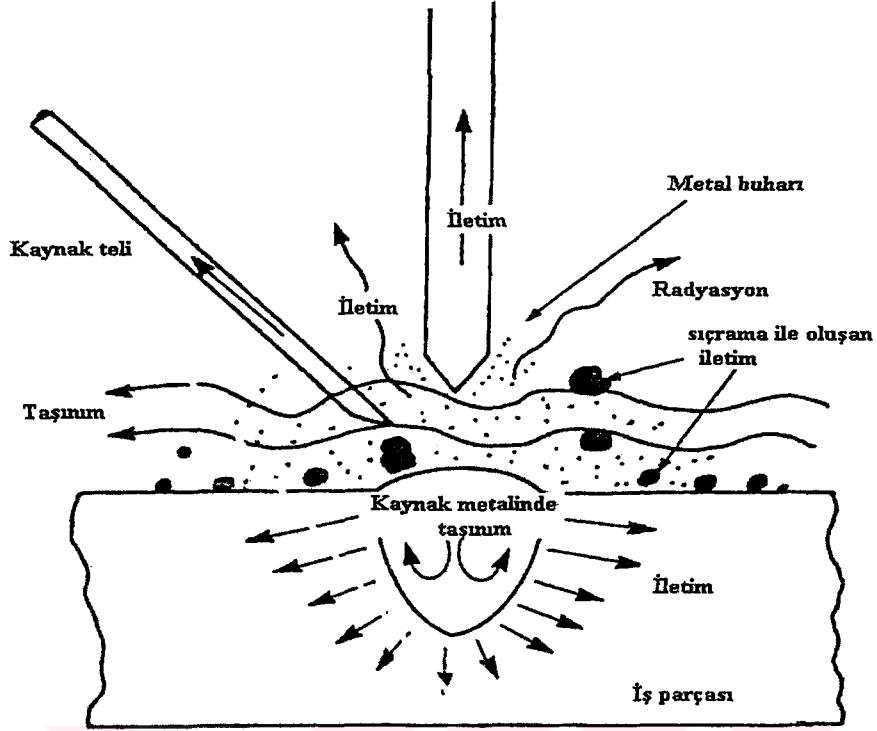
Çizelge 3.3 Kaynak yöntemlerinin elektrot ergitme oranları(Cary,1980)



### 3.2.1.1.1 Verim Katsayısı

Verim katsayısı diye tanımlanan katsayı elde edilen enerjinin ne kadarının ana ve ilave metallerin ergitilmesinde kullanıldığını gösteren katsayıdır. Çünkü kaynak işlemi sırasında elde edilen enerjinin tamamı ergitme işlemi için kullanılamamaktadır. Kaynak işlemi esnasında bir çok kayıplar meydana gelmektedir.

Şekil 3.4'te kaynak işlemi esnasında meydana gelen kayıplar gösterilmiştir. Teorik olarak kaynak işleminde elde enerji elektrotta, kaynak teline ve iş parçasına gitmektedir. Fakat pratikte çevreye sıçramayla, iletimle, metal buharıyla ve taşınılma enerji kaybı gerçekleşmektedir. Tabii kayıp enerji miktarı kaynak yöntemine göre değişmektedir. Bu enerji kayıplarının nedenleri kaynak işleminin hangi koşullarda (koruyucu ortam, sıcaklık farkı .....vb) gerçekleştirildiğiyle ilgilidir.



Şekil 3.4 Ergimeyen elektrotla kaynak işlemi esnasındaki enerji dağılımı (Kou,1987)

Çizelge 3.4 Yöntemlere göre verim katsayıları (Kou,1987)

Yöntem	Verimi katsayısı
<b>Oksi-Asetilen Kaynağı</b>	0,25-0,50
<b>TIG/WIG Kaynağı</b>	
Düşük akımda doğru kutuplamada	0,40-0,60
Yüksek akımda doğru kutuplamada	0,60-0,80
Ters kutuplamada	0,20-0,40
Alternatif akımla	0,20-0,50
<b>MIG-MAG Kaynağı</b>	
Kısa ark ve damlasal göçüm	0,60-0,75
Küçük damlasal göçüm	0,65-0,85
<b>Örtülü ve Özlü Elektrotla Ark Kaynağı</b>	0,65-0,85
<b>Toz Altı Kaynağı</b>	0,85-0,99

Çizelge 3.4'e göre verim katsayısı en yüksek olan yöntem toz altı kaynağıdır. Bunun nedeni radyasyonla meydana gelen ışınım ve enerji kayıpları, direkt olarak havaya taşınım ve metal buharına ve sıçrama kayıplarına giden enerji kayıpları yoktur. Gaz ertitme kaynağında ise kaynak işlemi ortama açık olarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen enerjinin büyük bir kısmı da ortama kaçmaktadır. Bu nedenle gaz ertitme kaynağının verim katsayısı oldukça düşüktür

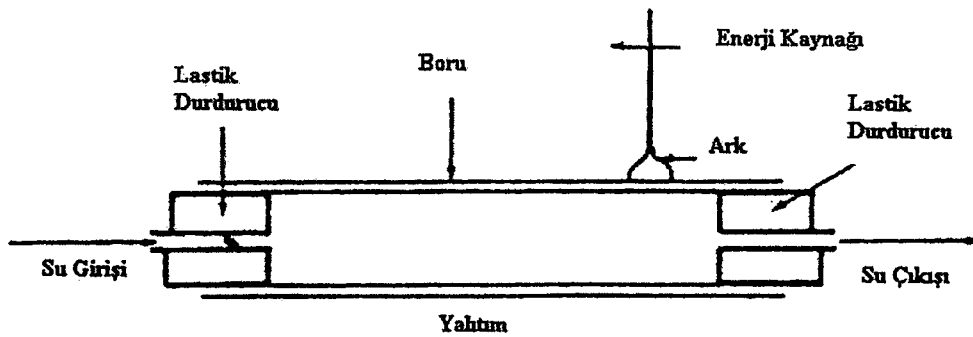
ve ergime için yüksek enerjiye ihtiyacı olan alüminyum gibi oksitler oluşturan metallerde gaz ergitme kaynağı kullanılmaz.

Verim katsayısı kalorimetrik ölçülerle hesaplanabilmektedir. Bu amaçla kuru ve ıslak kalorimetreler kullanılır. Islak kalorimetrelerde bir borunun içersinden su geçirilmektedir ve aynı anda kaynak işlemi gerçekleştirilir(Kou,1987). Burada verim katsayısını hesaplarken aşağıdaki (3.5) no'lu eşitlikten yararlanılmaktadır.

$$Q = m_s \cdot c_s \cdot \Delta T_s = \eta \cdot U \cdot I \quad (3.5)$$

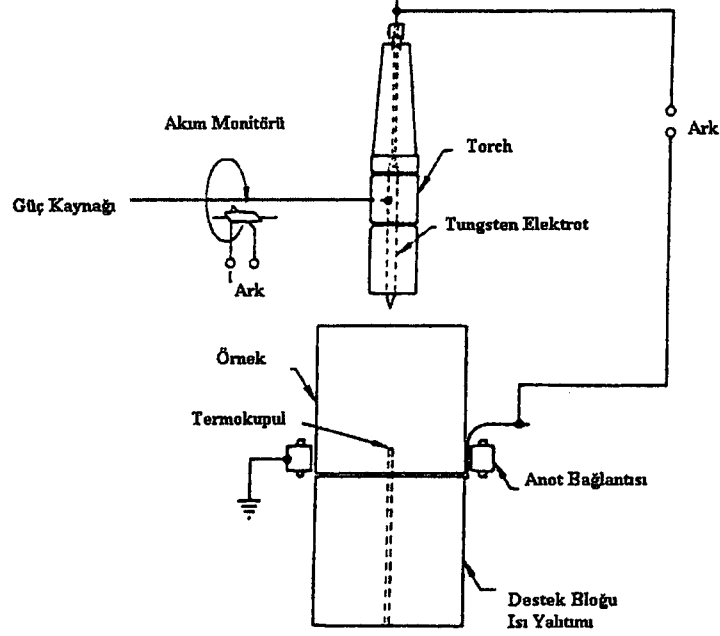
Q: Elde edilen enerji (kj)  
 $m_s$ : Birim zamanda boru içersinden geçen suyun kütlesi (g),  
 $c_s$ : Suyun özısı katsayısı (kj/g.°C),  
 $\Delta T_s$ : Giriş ve çıkıştaki suyun sıcaklık farkı (°C),  
 $\eta$ : Verim katsayısı,  
U: Kaynak gerilimi (V),  
I: Kaynak akımı (A)

Suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülür, kaynak işleminin değerleri yerine yazılır ve verim katsayısı eşitlikten çekilerek hesaplanır.



Şekil 3.5 Islak kalorimetre (Kou,1987)

Kuru kalorimetrede ise anlık ısısal değişimler ölçülmekte ve bu değerler teorik değerle karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmaya göre verim katsayısı hesaplanmaktadır.



Şekil 3.6 Soğuk kalorimetre (Kou,1987)

### 3.2.1.2 Kaynak İşlemi

Isı girdisine etki eden diğer bir faktörde kaynak işleminin hangi koşullarda gerçekleştirildiğidir. Bu terim, kaynak yapılan parçaların kalınlıkları, kaynak ağzı formu, kaynak işleminin kaç pasoda gerçekleştirildiği, kaynak pozisyonu, kaynak hızı, kaynak işleminin gerçekleştirileceği parçaların sıcaklıklarının ortam ile arasındaki sıcaklık farkı ve salınım hareketi olarak açıklanabilir.

#### 3.2.1.2.1 Kaynak Yapılan Parçaların Kalınlıkları

Kaynak yapılan parçaların kalınlıklarının ısı girdisine etkisi, parçalardan ısı kaçışıyla ilgilidir. Kaynak işleminde elde edilen enerjinin bir kısmı bilindiği gibi ana malzemelere açılmış olan kaynak ağzlarından ana malzeme doğru (sıcaklık farkının olduğu yöne doğru) ısı enerjisi ısı iletimi modunda transfer edilmektedir. Temel olarak ısı transferinde ısı iletimi modu ile transfer edilen enerji miktarı (3.6) no'lu eşitlikle hesaplanır.

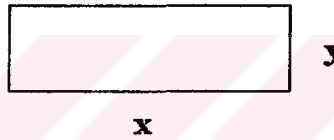
$$Q_t = (k \cdot A \cdot \Delta T) / L_p \quad (3.6)$$

$Q_t$ : Transfer edilen enerji ( kJ ),  
 $k$ : Metalin ısı iletim katsayısı ( kJ / cm<sup>2</sup>.°C),  
 $A$ : Isının transfer edildiği yüzey ( cm<sup>2</sup> ),  
 $\Delta T$ : Sıcaklık farkı ( °C )  
 $L_p$ : Isının transfer edildiği yüzey doğrultusundaki parça boyu (cm)

Ana metalden kaçan ısı kaynak ağzından transfer edilmektedir. Kaynak ağzının alanı direkt olarak parça kalınlığına bağlıdır. Ana metallerin kalınlıkları arttıkça birim zamanda ısı kaçıışı (3.6) no'lu eşitliğe göre artan yüzey alanıyla artmaktadır. Artan ısı kaçıışı da sistemin verim katsayısını düşürmekte ve bu nedenle istenilen miktardaki metali eritmek için daha fazla ısı girdisi sağlanmalıdır.

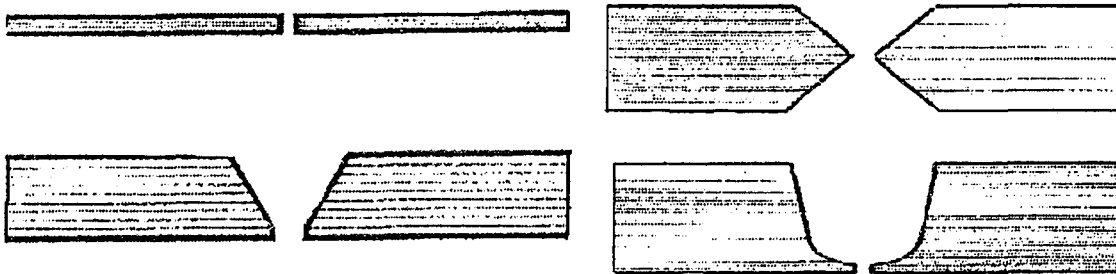
### 3.2.1.2.2 Kaynak Ağzı Formu

Bilindiği gibi kaynak işlemi gerçekleştirilecek parçalara kaynak ağzı açılır. Bunun nedenleri, kaynak işleminin gerçekleştirileceği yüzeyleri temizlemek, kaynaktan sonra meydana çarpılmaları önlemek ve iyi bir nüfuziyet sağlayarak bağlantının mukavemetini arttırmaktır. Fakat bir önceki kısımda belirtildiği gibi ısı kaçıışı kaynak ağzından gerçekleşmektedir. Kaynak ağzını uzunlamasına tasarımda bir dikdörtgen olarak düşünülebilir.



Şekil 3.7 Kaynak ağzının karşıdan görünüşü

Burada  $y$  parça kalınlığını ve  $x$  parça genişliğini göstermektedir. Burada parça genişliği ( $x$ ) üzerinde değişiklik yapamazken, parça kalınlığını değiştirmeden ısının transfer edildiği alan arttırılabilmektedir. Bu değişiklik kaynak ağzı formu değiştirilerek sağlanmaktadır. Kaynak ağzı formu sadece  $y$  boyutunun uzunluğu değiştirilerek sağlanmaktadır. Şekil 3.8'de değişik tipteki kaynak ağzı formları görülmektedir.



Şekil 3.8 Çeşitli kaynak ağzı formları (Düz, V, X ve U) (Serfiçeli, 2003)

Şekil 3.8'deki şekiller arasındaki fark ısının transfer edildiği alanlar arasındaki farktır. Aynı malzemeden yapılan örnek numunelerde kaynak ağzı açılmamış formda uzunluk parça kalınlığına eşit ve  $y=10$  mm,  $60^\circ$  V kaynak ağzı açılmış parçada  $y$  uzunluğu 12,074 mm olarak ölçülmüştür. Buradan görüldüğü gibi V kaynak ağzı formunda ısı kaçıışı daha hızlıdır. Burada

dikkat edilmesi gereken esas husus kaçan ısının ana metalden kaçmasıdır. Kaçan veya esas metale göre düşünürsek transfer edilen ısı miktarı arttıkça ana metalin ergimiş metalde bulunma oranının da azalır. Ergime miktarı da transfer edilen ısıyla doğru orantılı olduğundan V kaynak ağzı açılmış formdaki metalin ergime oranı kaynak ağzı açılmamış formdaki metalin ergime oranından daha azdır.

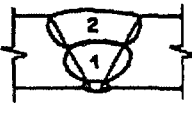
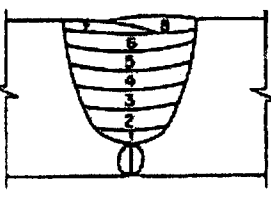
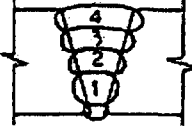
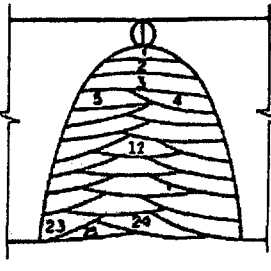
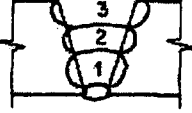
### 3.2.1.2.3 Paso Sayısı

Paso sayısı direkt ısı girdisine etki etmesine rağmen kaynak metalinin kimyasal kompozisyonuna etkisi daha farklıdır. Paso sayısı arttıkça kaynak metaline giren ısı girdisi artmaktadır. Bu ısı girdisi temel olarak yapısal dönüşümlere sebebiyet vermektedir. Her bir paso kendisinden önceki paso için bir ön tavlama görevi görür. Böylece kalıcı gerilmeler bu tavlama sayesinde ortadan kaldırılmış olur.

İlk pasoda kaynak dikişinin kompozisyonu ana metaller ve ilave metalden oluşmasına rağmen daha sonraki pasolarda kaynak metalinin kompozisyonu ilave metalin kompozisyonuna yaklaşmakta ve ana metalin kaynak metalinde bulunma oranı çok azalmaktadır (Şekil 3.2).

Elektrik ark kaynağında ilk pasoda ergime oranı % 50 ana metal ve %50 ilave metal olarak bir yaklaşım kabul edilebilir. Biraz daha dikkatli gerçekleştirilen bir işlemde bu oran % 30 ana metal ve % 70 ilave metal olarak gerçekleştirilebilir. İkinci paso % 10-25 arasında ana metal ve üçüncü paso da % 3-12 arası ana metal içerebilir. Verilen yönteme göre bu değerler değişmektedir (Henry, vd., 1940).

Şekil 3.9'da parça kalınlıklarına göre paso sayısının nasıl arttığı görülmektedir. 5/8'' kalınlığındaki parçadaki paso sayısı 3/8'' kalınlığındaki parçadan daha azdır. Bunun nedeni şekilden görüldüğü gibi daha kalın bir elektrotla işlem gerçekleştirilmiştir. Fakat 2'' kalınlığındaki parçaya dikkat edilirse 12. pasodan sonra çekilen pasolara bakılırsa, orta kısımlara çekilen pasolarda ana metal kaynak metalinde direk olarak katılmamaktadır dolaylı olarak yan kenarlardaki pasolardan kaynak metaline karışmaktadır.

Malzeme kalınlığı (inch)	YATAY 1G		
3/8		1"	
1/2		2" VE DZERRİ	
5/8			

Şekil 3.9 Parça kalınlığına göre paso sayılarının değişimi (Cary,1980)

#### 3.2.1.2.4 Kaynak Pozisyonu

Kaynak pozisyonunun ısı girdisine etkisi dolaylı yoldan olmaktadır. Bu etki kaynak yapılan pozisyonun gerçekleştiriliş biçimine, kullanılan koruyucu gazın iyonizasyon enerjisine ve yoğunluğuna göre ortaya çıkmaktadır.

Kaynak işlemi tavan ,yatay,dikey ve yan pozisyonlarda gerçekleştirilmektedir. Bu pozisyonlar içerisinde kaynak işlemini gerçekleştirmenin en zor olduğu pozisyon tavan kaynağıdır. Bunun nedeni tavan pozisyonunda kaynak işlemini gerçekleştirirken kaynak metalinin yerçekimi etkisiyle damlama ihtimalinin bulunmasıdır. Bu nedenle tavan pozisyonunda ısı girdisi az tutularak metallerin ergime oranları az tutulur. Isı girdisini azaltmak için küçük çaplı elektrotlar kullanılır. Bunların oluşturdukları kaynak banyosu ufak olduğundan yerçekiminden daha az etkilenir ve kaynak banyosu kaynakçı tarafından daha kolay kontrol altında tutulabilir. Bir diğer hususta dik bir yüzeyde veya tavan pozisyonun da ergimiş bir metal damlası küçük olması halinde kapilarite kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetine galip gelmesi şartıyla tutunabilir. Bu nedenle yatay ve dikey kaynak pozisyonlarında daha küçük kaynak damlaları elde edip daha çabuk soğumalarını sağlayıp kaynak işlemini gerçekleştirmek gerekir. Bunun içinde gene küçük çaplı elektrot kullanmak, düşük amper ve yüksek kaynak hızlarında çalışmak gerekir. Akım şiddeti düşürülerek metalin soğuması hızlandırılır.

Kaynak pozisyonunun ısı girdisine etki eden diğer bir özelliği ise kaynak banyosunun dış ortamdan korunmasının zorluğudur. Yatayda gerçekleştirilen bir kaynak işleminde kaynak banyosunu koruyucu olarak argon, nitrojen, oksijen, helyum, hidrojen, karbondioksit gazları kullanılmaktadır. Fakat kaynak işlemi tavan pozisyonunda yada yerden biraz yüksekte gerçekleştirildiğinde metelsel banyoyu koruyucu gaz olarak yoğunluğu havadan hafif bir gaz tercih edilir. Koruyucu gazlar karşılaştırıldıklarında yoğunluk açısından havadan hafif olan gaz olarak, helyum ve hidrojen gazları karşımıza çıkmaktadır. Hidrojenin yoğunluğu yaklaşık olarak havanın 14'te biri ve helyumun yarısı kadardır. Bu nedenle hidrojen gazı tercih edilir. Fakat hidrojen gazının bir kusuru vardır. Sıcaklık 1150 °C değerlerine ulaştığında hidrojen gazı disosiye olur ve kaynak metaline karışır (Gültekin,2003). Bilindiği gibi kaynak metalindeki hidrojen kaynak bölgesinin gevrekleşmesine sebep vererek kaynak metalinin mukavemetini düşürür. Bu nedenle kaynak edilecek metallerin ergime sıcaklıklarına göre koruyucu gaz seçmek gerekmektedir.

Birde koruyucu gazları iyonizasyon enerjileri bakımından kıyaslamak gerekmektedir. Bir koruyucu gazın iyonizasyon enerjisi arttığı zaman kaynak gerilimi artar ve bu nedenle ısı girdisi yükselir. Helyum ve hidrojen gazları iyonizasyon enerjileri bakımından kıyaslandıkları zaman helyumun iyonizasyon enerjisinin hidrojeninkinin yaklaşık 1.5 katı olduğu görülür. Bu farkta helyumun olumsuz etkisidir. Çünkü tavan pozisyonu gibi zor kaynak pozisyonlarında ergime oranları düşük istenilmektedir. Helyum gazı kullanıldığında kaynak havuzu büyür ve damlama riski ortaya çıkar.

Yukarıda bahsedilen koruyucu gazlar hakkında daha ayrıntılı bilgiler bölüm 3.4.1'de anlatılacaktır.

### 3.2.1.2.5 Sıcaklık Farkı

Metalleri ergitmek için gerekli olan enerji (3.7) no'lu eşitliğe göre hesaplanabilir.

$$Q_e = m_m \cdot c_m \cdot \Delta T_m \quad (3.7)$$

$Q_e$ : Metali ergitmek için gerekli olan enerji (kj),  
 $m_m$ : ergitilecek metal kütlesi (g),  
 $c_m$ : Metalin özısı katsayısı (kj/g.°C),  
 $\Delta T_m$ : Metalin ergime sıcaklığı ile ortam arasındaki sıcaklık farkı (°C)

(3.7) no'lu eşitliğe göre gerekli olan ısı ergitilecek olan metallerin öz ısısına , ergitilecek olan metalin kütlesine, ve sıcaklık farkına bağlıdır. Bazı kaynak koşullarında ısının tesiri altındaki

bölgede (ITAB) oluşabilecek istenmeyen martenzitik dönüşümleri engellemek için soğuma hızı yavaşlatmak amacıyla kaynak bölgesine ön tavlama işlemi uygulanır. Bu sebeple metalle ortam arasındaki sıcaklık farkı azalır ve böylece metali ergitme için gerekli olan ısı miktarı azalır. Fakat (3.7) no'lu eşitliğinde ön tavlama uygulanmamış duruma göre gerekli ısı miktarı için kaynak değişkenleri ayarlandığında ( kaynak gerilimi ve akım şiddeti ) metalin öz ısısının sabit ve bir ön tavlama uygulayarak sıcaklık farkını azalttığını kabul edersek ,elde denklemin sağ tarafının sol tarafı ile eşit olabilmesi için ergitilen metalin kütlesi artar. Tabi kaynak değişkenleri ayarlanarak elde edilecek ısı miktarı azaltılabilir.

### 3.2.1.2.6 Kaynak Hızı

Aşağıda bölüm 3.2.1 'de verilmiş olan (3.2) ve (3.3.) no'lu eşitliklere göre kaynak hızındaki artışa göre ergime için üretilen enerji azalmaktadır. Bunun nedeni birim zamanda ısı transfer edilen yüzey alanının artmasıdır.

$$q = \frac{\eta \cdot h \cdot H}{V_K \cdot 1000} \quad (3.3)$$

$$q = \frac{\eta \cdot 60 \cdot U \cdot I}{V_K \cdot 60} \quad (3.2)$$

q: Birim dikiş enerjisi (kJ/cm)

U: Kaynak gerilimi (V)

η: Verim katsayısı

V<sub>K</sub>:Kaynak hızı (cm/dk)

I: Kaynak akımı (A)

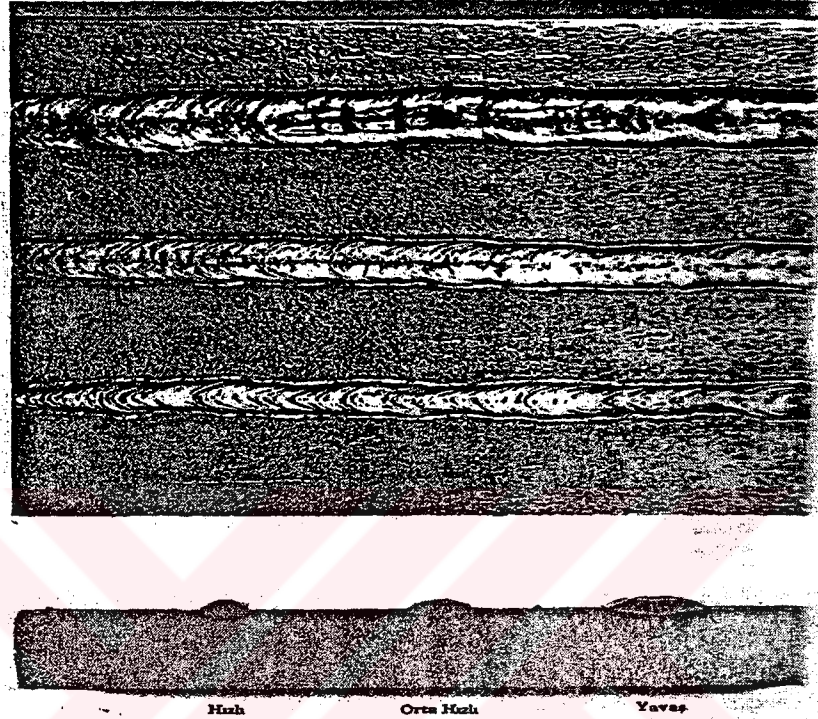
H: Kullanılan yanıcı gaz hacmi (l/h)

h: Yanıcı gazın alt ısıl değeri ( kJ/l)

Kaynak hızının ergime üzerine etkisini basit bir şekilde açıklanabilir. Elektrikler kesildiği zaman parmağımızı yanan bir mumun üzerinden geçirmişizdir. Bu olayda ergiyen mumu kaynak teli veya elektrotu olarak, kendi parmağımızı da ana malzeme ve parmağımızı kaydırma hızını kaynak hızı olarak düşünebilir. Elimiz yanmasın diye elimizi mumun üzerinden hızla geçiririz, hafif bir yanma hissetmek içinde parmağımızı yavaş hızlarda geçiririz. Bu durumda elimiz ısınır. Burada elimizin hızına göre parmağımıza transfer edilen enerji miktarı değişmiştir.

Kaynak hızının ergime oranına etkisi aynı parmağımızın hızını değiştirdiğimizde oluşan etki gibidir. Yani kaynak hızını azaltığımız zaman birim zamanda birim alana daha fazla enerji transfer edilir. Bu sayede ergitilen metal miktarı arttırılır. Fakat kaynak hızı çok düşük olursa o sırada transfer edilen enerji fazla geleceğinden ana metalde delikler oluşabilir. Şekil 3.10'daki fotoğrafta sabit kaynak akımında ve değişken kaynak hızlarında gerçekleştirilen kaynak işlemindeki ergime durumları görülmektedir.

İlk durumdaki hızlı kaynak hızında gerçekleştirilen işlemden kaynak hızının yüksek olmasından kaynak işlemi dar bir alan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak hızı azaldıkça ısının yayıldığı alanın arttığı ve böylece kaynak bölgesinin genişlediği ve ergitilen metal miktarının arttığı görülmektedir



Şekil 3.10 Kaynak hızının ısı girdisine etkisi (Cary,1980)

Daha yüksek nüfuziyet ve ergime oranı için kaynak hızı belirli bir seviyenin üstüne çıkmamalıdır. Her kaynak yönteminin çalışma koşullarına ve yöntemin kendi özelliklerine göre ürettikleri ısı miktarlarının değişik olduğunu ve bu yöntemlerden en güçlü olanın toz altı kaynağı ve en zayıf olanın gaz ergitme kaynağı (oksi-gaz kaynağı) olduğu belirtilmiştir. Buna göre toz altı kaynağının ergitme gücünün daha yüksek olduğuna göre daha yüksek kaynak hızlarında çalışmasına imkan vermektedir. Bu nedenle işlemlerin daha kısa sürede bitirilmesi için şartlar uygunsa yüzey kaplama işlemlerinde yüksek kaynak hızlarında çalışarak işlemler daha kısa sürede bitirilebilir. Çizelge 3.5'te kaynak yöntemlerinin ortalama kaynak hızları verilmiştir.

#### 3.2.1.2.7 Salınım Hareketi

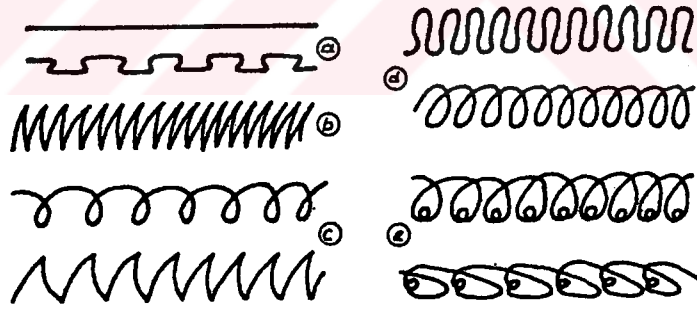
Salınım hareketi kaynakçılar tarafından elektrotta veya kaynak teline verilen hareket olarak tanımlanır. Kaynakçıların elektrotta salınım hareketi vermelerinin sebebi kaynak banyosunu kontrol altında tutabilmelerine yardımcı olmasıdır. Çünkü kaynak dikişi tavan ve dik

pozisyonlarda damlama eğilimi içersine girer. Bu nedenle kaynakçı damlamayı önleyecek bir hareket yapar. (Gültekin,1991)

Çizelge 3.5 Kaynak yöntemlerine göre ortalama kaynak hızları

Yöntem	Kaynak Hızı (cm/dk )
Oksi-Asetilen Kaynağı	10
Tig Kaynağı	35
MIG-MAG Kaynağı	200
Örtülü ve Özlü Elektrotla Ark Kaynağı	25
Toz Altı Kaynağı	250

Salınım hareketi bir zig-zag hareketi olarak düşünülebilir. Bilindiği gibi elektrot zig-zag yaparken ana malzemeye enerji transfer etmektedir. Bu zig-zag hareketi eğer yavaş olursa kaynak banyosu çok büyür ve kontrol altından çıkar bunu önlemek için elektrot normalden daha hızlı hareket ettirilir. Bu işlemin sonucunda artan kaynak hızına bağlı olarak ısı girdisi azalır. Bu da ergitilen metal miktarını azaltır. Bir diğer faktörde yapılan zig-zag hareketinin frekansıdır. Frekans artıkaça yığılan kaynak teli oranı artmakta ve sonuçta kaynak metalinin elektrota yakın bir kompozisyona sahip olmasına neden olur. (Leonard, vd..1987-1991)



Şekil 3.11 Salınım hareketleri (Gültekin,1991)

### 3.2.1.3 Kaynak Akımı

Kaynak akımı ısı girdine etki eden temel faktörlerden biridir. Bölüm 3.2.1 'deki (3.1) no'lu eşitliğe göre ısı girdisi kaynak akımının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır ve artan akım şiddetiyle nüfuziyet artar ve kimyasal kompozisyon değişir (Chandel,R.S.vd..1997).

Kaynak akımını alt basamaklarına ayırılırsa kaynak işleminde kaynak akımının şiddetinden başka akım türünün , kutuplama türünün, akım yoğunluğunun,elektrot çapının ,serbest tel

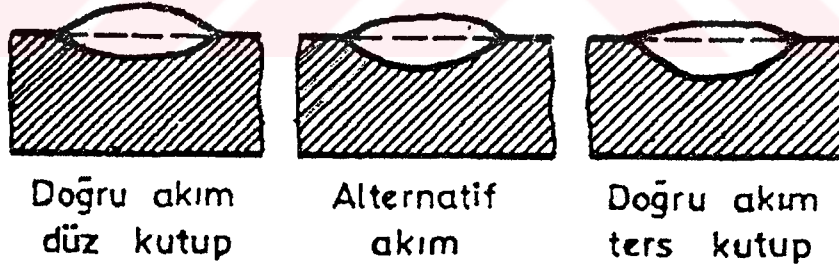
uzunluğunun ve elektrot uç formunun ısı girdisine etkileri önemli ölçüde ergime oranına etki etmektedir.

### 3.2.1.3.1 Kaynak Akımı Türü ve Şiddeti

Yukarıda belirtildiği gibi akım şiddeti ısı girdisini değiştirerek ergime oranına etki etmekte ve kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu değişmektedir. Bilindiği üzere kaynak işleminde iki tür akım kullanılmaktadır. Bunlar Doğru Akım ve Alternatif Akımdır.

Bu iki tip akım arasındaki fark temel fark Doğru Akımda elektronlar bir kutuptan diğerine akarken Alternatif Akımda frekans hızına bağlı olarak kutuplar sürekli değişmektedir. Ülkemizde 50 Hz frekansında Alternatif Akım kullanılmaktadır.

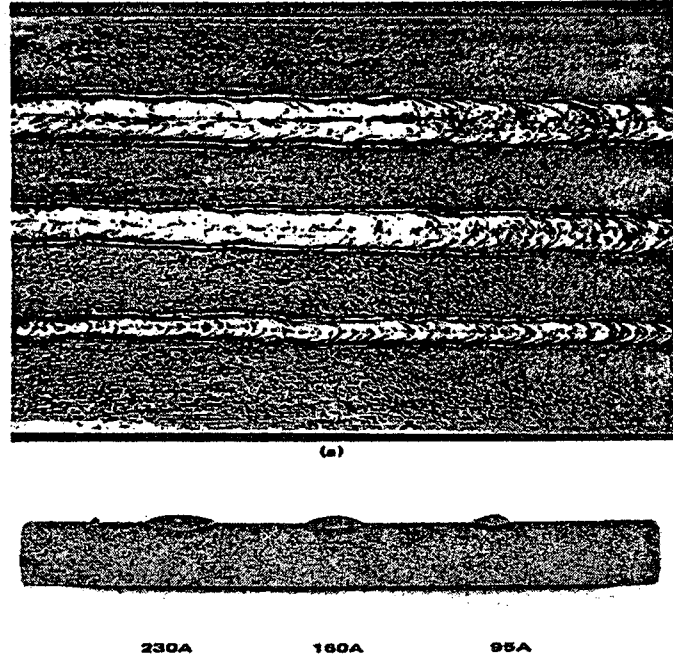
Doğru akımla alternatif akım arasındaki ergime açısından fark doğru akımın daha yüksek ve daha alçak akım değerlerinde çalışmaya müsaade etmesinden kaynaklanmaktadır. Doğru akımda çalışma aralığı daha geniş olduğundan ergime oranı alternatif akıma göre daha hassas olarak ayarlanabilmektedir. Bu nedenle alternatif akımla elde edilmiş metal terk etme oranı ve nüfuziyet derinliği, aynı akım şiddetiyle kaynak edildiğinde, doğru akım ters kutup ve düz kutupla elde edilenlerin arasında bulunur.(Oğuz,1989)



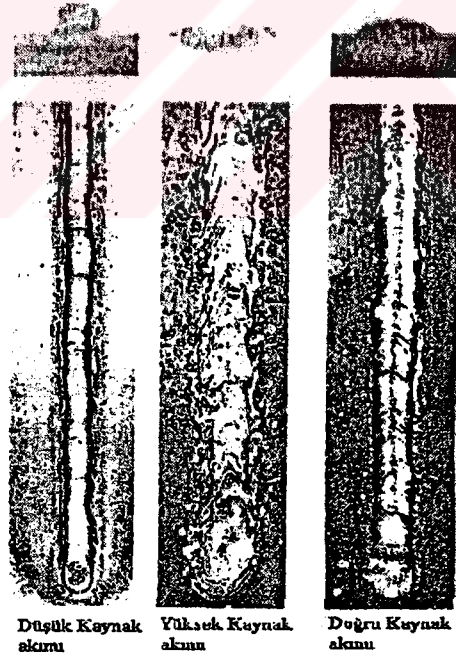
Şekil 3.12 Akım türünün ergime oranına etkisi (Oğuz,1989)

Şekil 3.12’de akım türünün ergime oranına etkisi görülmektedir. Doğru akımla kutuplamayı değiştirerek ergime oranı değiştirilebilmektedir. Alternatif akımda ise ergime oranı ve nüfuziyet doğru akımın ortalama değerleri arasında değişmektedir.

Şekil 3.13’te kaynak akımının artışına 230 Amper akım şiddetinde gerçekleştirilen kaynak işleminde ergime ve nüfuziyet artışı görülmektedir. Kaynak akımı artınca ısının yayıldığı alan artmış ,dikiş genişlemiş ve nüfuziyet artmıştır.95 Amper kaynak akımında gerçekleştirilen kaynak işleminde ana metalin ergime oranının az olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13 Kaynak akımının ergime oranına etkisi (Cary,1980)



Şekil 3.14 Kaynak akımının ergime oranına etkisi (Cary,1980)

Şekil 3.14'te düşük kaynak akımında ana metalin ergime oranının ne kadar düşük olduğu ve nufuziyet azlığı görülmektedir. Yüksek kaynak akımında ise kaynak banyosunun büyüdüğü sıçramaların arttığı görülmektedir.

Çalışma şartlarımıza göre Doğru Akımda kaynak değerlerini daha hassas ayarlayarak metal banyosunu kontrol etmek daha kolaydır. Bu nedenle doğru akım alternatif akıma göre üstünlük taşımaktadır. Ayrıca kaynak akımı şiddetinin daha düşük olarak ayarlandığı Doğru Akımla kaynak işlemiyle ince saç parçaların kaynak işlemi daha düşük ısı girdisiyle daha rahat gerçekleştirilmektedir. Fakat kalın parçalarda yüksek ergime oranının istendiği yerlerde ark üflemezinin önemli olduğu durumlarda alternatif akım daha üstündür.

### 3.2.1.3.2 Doğru Akım

Doğru akım, kaynak devresi içinde sürekli olarak bir yönde akar. Akımın uniform olması yada değişkenlik göstermesi onun yönünü etkilemez. Akımın akışının sürekli olması nedeniyle ark göreceli olarak kararlı ve yumuşaktır. Aşağıda doğru akımın başlıca karakteristikleri ve örtülü metal-ark kaynağında kullanımının bazı önemli özellikleri verilmiştir.

**Kablolarda gerilim düşmesi:** Kaynak kabloları olabildiği kadar kısa olacaktır. Kablo uzunluğu doğru akımda, alternatif akıma göre, daha kritiktir şöyle ki uzun kablolarda gerilim düşmesi ve buna 'arktaki de eklendiğinde yada güç kaynağını fazla yükler, yada onu uygun bir kaynak arki için yeterli voltaj üretmekten alıkoyar.

**Alçak akımlar:** Doğru akım, küçük çaplı elektrotlarla düşük amperde çalışmaya, alternatif akıma göre daha elverişlidir.

**Elektrotlar:** Her tip örtülü elektrot doğru akımla memnuluk verici şekilde kullanılabilir.

**Ark tutuşturma:** Doğru akımla, alternatif akıma göre, özellikle küçük çaplı elektrotlarla, genellikle daha kolaydır.

**Bir kısa arkın devam ettirilmesi:** Ark ergime banyosunda tutulduğunda bunun sürdürülmesi doğru akımla daha kolay olmaktadır.

**Ark üfleme:** Doğru akım özellikle kaynaklı birleşmelerin sonlarında, köşelerde veya birçok parçadan oluşan küçük karışık konstrüksiyonlarda, büyük ölçüde ark üfleme meydana getirir. Aynı şekilde yüksek akım şiddetleriyle kitlesel konstrüksiyonlarda veya alıştırmanın iyi olmadığı hallerde ark üfleme etkin olur. Üfleme, ayrı kaynak püskürtmeleri hasıl eder.

**Kaynak pozisyonları:** Kalın kesitler üzerinde zor pozisyonlarda kaynak, daha alçak akım şiddetlerinin kullanılabilmesi nedeniyle doğru akımla, alternatif akıma göre, bir ölçüde daha kolay olmaktadır. Ancak, deneyimli kaynakçılar her iki akım türüyle aynı sonucu elde edebilirler.

**Saçların kaynağı:** Kararlı ve kolay tutuşan ark sayesinde levha halinde metallerin kaynağında doğru akım alternatif akıma tercih edilir.

**Kutup seçimi (akımın akış yönü):** Doğru akım kullanıldığında kutup seçimi önemli olmaktadır. Doğru akım makinelerinin çoğu gereğinde kutbu değiştirmek için şalter tertibatını haizdir. (Oğuz,1989)

### 3.2.1.3.3 Alternatif Akım

Alternatif akım düzenli çevrimler halinde hem ters hem de düz kutuplamayı alması olarak birleştirir. Her çevrimde akım sıfırdan hareket alır ve bir yönde maksimum değerine varır, sıfıra iner ,karşı yönde maksimum değerine varır ve yine sıfıra iner. Çevrimler sürekli olarak tekrarlanır ve bu arada ark sürdürülür .

Ülkemizde kullanılan 50 periyotlu alternatif akım için akış yönü ve dolayısıyla kutuplaşma her saniye 100 kez değişir. Bu değişimler çok hızlı atan ve doğru akım arkıyla kıyaslandığında bir ölçüde sert ve daha az istikrarlı bir ark hasil eder.

Alternatif akımla elde edilmiş metal terk etme oranı ve nüfuziyet derinliği, aynı akım şiddetiyle kaynak edildiğinde, doğru akım ters kutup ve düz kutupla elde edilenlerin arasında bulunur Alternatif akımla iyi çalışan bütün elektrotlar doğru akımla ters yada düz kutupta çalışırlar.

Alternatif akımın bazı özgül karakteristikleri ve örtülü elektrotla kaynakta kullanımının görünümleri aşağıda verilmiştir.

**Kablolarda gerilim düşmesi:** Uzun kablolarda gerilim düşmesi alternatif akımda, doğru akıma göre, daha az olduğundan güç kaynağının hayli uzağında kaynağın yapılacağı durumlarda alternatif akım yeğlenir. Bununla birlikte uzun kablolar yerde veya kancalar üzerinde aşırı derecede kangal halinde sarılmamalı zira bobinin hasil edeceği endüktans güç kaynağının verimini düşürüp transformatörü fazlaca yükler. Kablolar hiçbir zaman işin gerektirdiğinden daha uzun olmamalıdır.

**Alçak akımlar:** Alternatif akım, doğru akıma göre, küçük çaplı elektrotlarla düşük amperde kullanılmaya daha az uygundur.

**Elektrotlar:** Sadece alternatif akımla kullanılmak üzere özel olarak üretilmiş örtülü elektrotlar kullanılacaktır. Akımın ters döndürme tabiatı itibarıyla örtüler, her çevrim sırasında akım sıfıra indiğinde arkı derhal yeniden oluşturacak olan ark stabilizatörleri içermelidirler.

**Arkı tutuşturma:** Küçük çaplı elektrotlarda alternatif akımla daha zor olup düşük açık devre voltajlı, alternatif akım için özel olarak tasarlanmamış olmalarının dışında, alçak akımla tutuşturulmaya kalkıldığında bu elektrotlar yapışır veya soğuyabilirler.

**Ark üfleme:** Alternatif akımla nadiren bir sorun olur. Akımın ters döndürme tabiatı, iş parçası içinde manyetik alanın oluşup, sıfıra inmesi ve yeniden aksi yönde oluşmasıyla manyetik alanın nötralize olmasını sonuçlandırır.

**Kaynak püskürmeleri:** Doğru akıma göre alternatif akımda biraz daha fazladır.

**Kaynak pozisyonları:** Uygun elektrotların kullanılması halinde her pozisyonda memnuniyet verici kaynaklar yapılabilir.

**Saçların kaynağı:** Arkı tutuşturmanın zorluğu nedeniyle alternatif akım, saç kaynağında genellikle istenmez.

**Kalın kesitlerin kaynağı:** Alternatif akım, geniş çaplı elektrotla ve azami akım şiddetleri kullanılarak kalın kesitlerin kaynağına iyi uyar, zira bunda ark üfleme nadiren ciddi boyutlara varır. Kalın saçlara yerde yatay pozisyonda kaynağında uygun elektrotların kullanılması koşuluyla maksimum metal terk etme oranlarına varılabilir. (Oğuz,1989)

#### 3.2.1.3.4 Kutuplama Türü

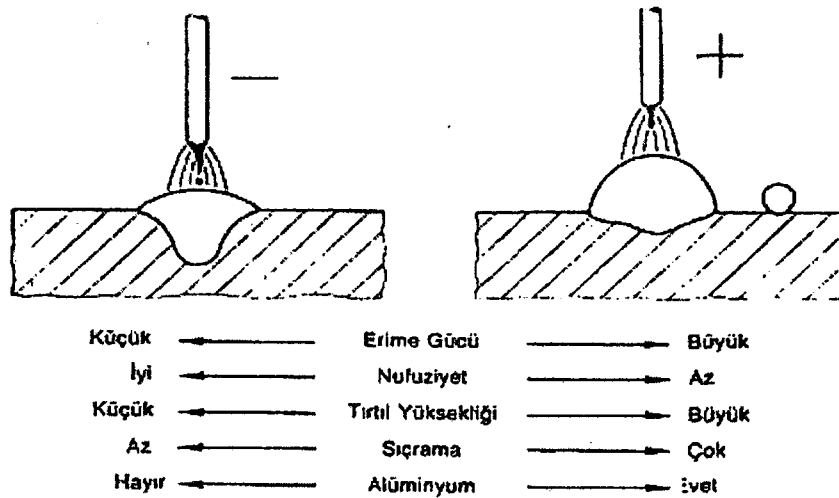
Kutuplama türü, doğru akım üreten kaynak makineleri için kullanılan bir özelliktir. Doğru akımda elektron akışı alternatif akımdan farklı olarak ,devamlı olarak bir kutuptan diğer kutba doğrudur. Bu özellikten yararlanarak elektron akışı veya bir değişik tabirle ısının en yüksek olduğu bölge tayin edilir.

Ark kaynağında elektron akışı katottan (-kutup) anoda (+ kutup) doğrudur. Elektronlar katottan enerji kazandırılarak anodu bombardıman etmesi sağlanır ve böylece katot 3800 °C sıcaklığa ve anot 3000 °C sıcaklığa ulaşır. Sıcaklığın daha yüksek olduğu bölgedeki metal daha çok ergir ve kaynak banyosunda daha fazla miktarda bulunur. Kutuplama türü terimi, iş parçasının veya elektrotun hangisinin katot (-) ve hangisinin anot (+) olarak tayin edildiğini açıklar. Kutuplama türünü değiştirerek ergime oranını ve nüfuziyeti kontrol edilir.

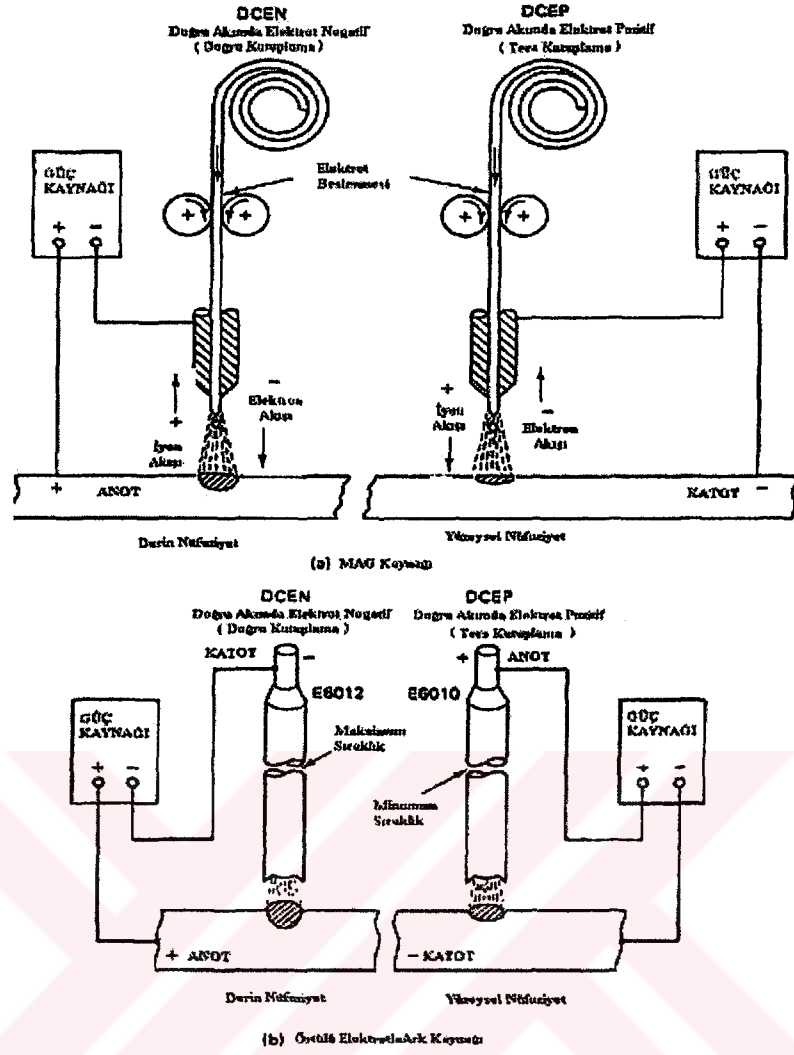
Doğru akımda iki tür kutuplama türü vardır. Bunlardan ilki Doğru Akımda Düz Kutuplama diye tabir edilen elektrotun (-) ana malzemenin (+) kutupta bulunduğu kutuplamadır. Diğeri de Doğru Akımda Ters Kutuplama diye tabir edilen elektrotun (+) ana malzemenin (-) kutupta bulunduğu kutuplamadır.

Şekil 3.16'te kutuplama türünün ergime oranına etkisi görülmektedir. Doğru kutuplamada elektronların ana metali bombardıman etmesiyle nüfuziyet artar ve ana metalin ergime oranı yükselir. Ters kutuplamada elektronların elektrotu bombardıman etmesiyle elektrotun ergime oranı yükselir ve ana metalde yüzeysel bir nüfuziyet elde edilir.

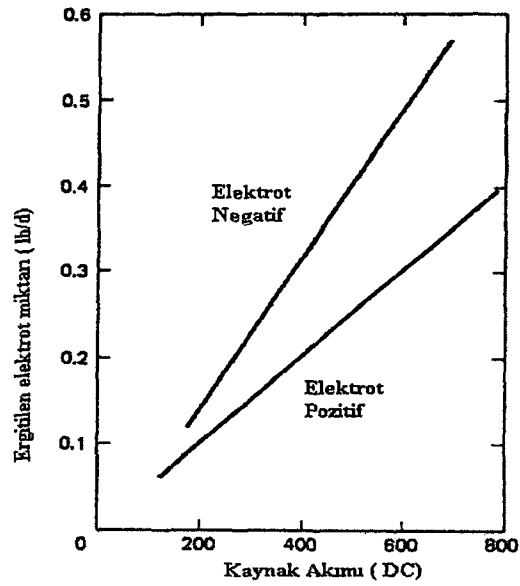
Doğru Akımda Ters Kutuplama yüzey kaplama işlemleri için daha uygun bir kutuplama türüdür. Bu kutuplama türü ile yüzeye birim zamanda daha fazla kaynak teli veya elektrotu yığılır. Doğru Akımda Düz Kutuplama türü ise nüfuziyet istenen kaynak bağlantılarında kullanılmaktadır. Ayrıca Alüminyum gibi yüzeyinde ısı dayanıklı oksit tabakası oluşturan metallerde ters kutuplama sayesinde yüzeydeki oksit tabakası parçalanabilmektedir. Çizelge 3.6'da gerçekleştirilmiş bir deneyde ergitilen elektrot miktarının doğru kutuplamada (Elektrot negatif) daha fazla miktarda gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca şekil 3.15'de kutuplama türlerinin etkileri birbirleriyle kıyaslanarak açıklanmıştır.



Şekil 3.15 Kutuplama türlerinin karşılaştırılması(Anık, vd..2000)



Şekil 3.16 Kutuplama türünün ergime oranına etkisi (Cary,1980)

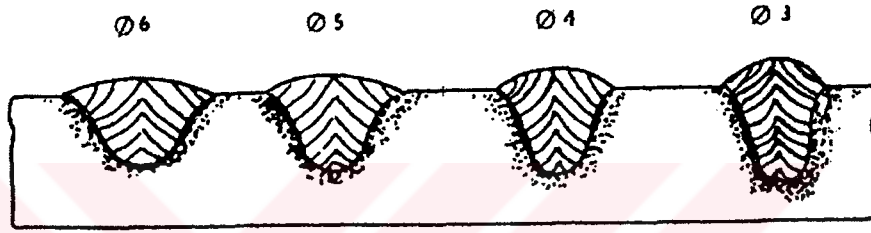


Çizelge 3.6 Kutuplama türünün ergitilen ilave metal oranına etkisi(Cary,1980)

### 3.2.1.3.5 Akım Yoğunluğu

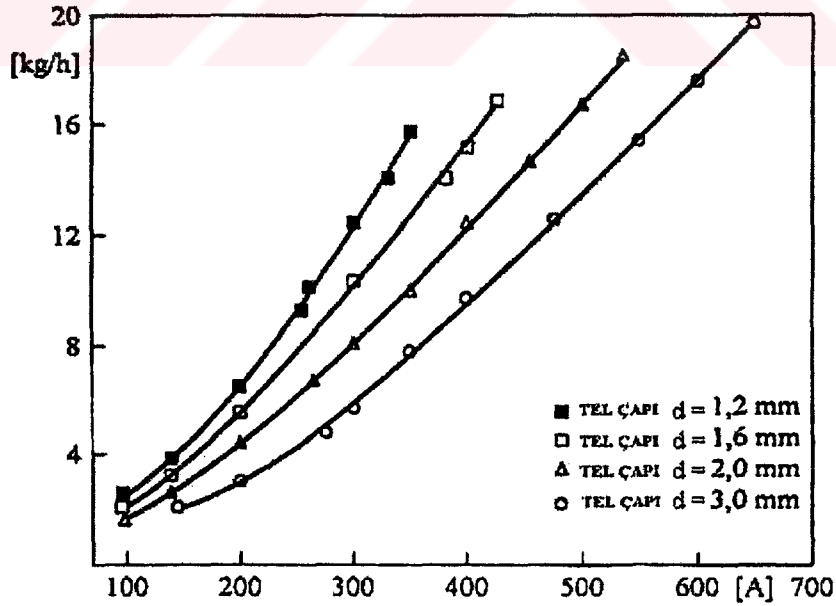
Akım yoğunluğu, akım şiddetinin tel kesitine oranıdır. Akım yoğunluğu, kuvvet-basınç ilişkisiyle açıklanabilir. Kuvvet bir yüzeye etki eden toplam basınçtır. Kuvvetin birim alana bölünmesiyle basınç olarak tanımlanan, birim yüzeye etki eden kuvvet bulunur.

Akım yoğunluğunu da basınca benzetebiliriz. Nasıl bir yüzeye etki eden basınç artınca şekil değişiminde artış meydana geliyorsa birim yüzeye etki eden akım değiştiği takdirde de birim yüzeye etki eden ısı miktarının artış gösterir fakat ısının transfer edildiği alanın değişmemesi (elektrot çapı veya kaynak teli çapı) sonucunda şiddeti yükselen akım yoğunluğunun ana metalde daha derinlere nüfuz etmesi sonucunda ergime oranı değişir.



Şekil 3.17 Akım yoğunluğunun ergime oranına etkisi (Anık, vd., 2000)

Çizelge 3.7 Akım yoğunluğunun ergime oranına etkisi (Tusek, 2000),



Çizelgede 3.7'de akım yoğunluğuna bağlı olarak ergitilen elektrot miktarındaki değişim görülmektedir. Deney 30 V ark geriliminde ve ters kutuplama şartlarında gerçekleştirilmiştir. Eğrilere göre 300 Amperde dört değişik tel çapıyla gerçekleştirilen kaynak işleminde d= 3mm

tel çapı için saatteki ergime miktarı 6 kg , d= 2mm tel çapı için saatteki ergime miktarı 7,8 kg, d= 1,6mm tel çapı için saatteki ergime miktarı 10,7 kg ve d= 1,2mm tel çapı için saatteki ergime miktarı 12,5 kg olarak yaklaşık olarak okunmaktadır. Ayrıca eğrilere göre artan akım miktarına göre ergime oranının da artmakta olduğu ve 360 Amper gerilimden sonra d=1,2 mm çaplı telin ergime oranının verilmediği görülmektedir. Bunun nedeni akım yoğunluğunun belirli bir oranı aştığında kaynak elektrotunun ve telinin bu akım yoğunluğuna dayanamayarak yandığı anlaşılabilir. Yanma sırasında tel ve elektrot örtüsündeki element kayıpları oluşmaktadır. Elektrot firmaları elektrot kutularının üzerine çalışılabilecek akım şiddetlerinin minimum ve maksimum değerlerini yazarlar. Bunun nedeni hem elektrotun yanma olayını önlemek ve elektrotu eritebilmek için gerekli optimum enerji için gerekli akım şiddetinden düşük değerlerde kaynak işleminin uygun şartlar altında gerçekleştirilemeyeceğini göstermek içindir.

### 3.2.1.3.6 Tel Çapı

Tel çapı, telin veya elektrotun taşıyabileceği akım şiddeti ile alakalıdır. Tel çapı artıçça kullanabilen akım şiddeti yükseltilebilir. Buda elektrotun ergime oranını artırır. Fakat akım şiddeti yükseltmediği takdirde ergime oranında azalma gerçekleşir. Bunun nedeni, tel çapı büyüdüğünde birim zamanda ergitilmesi gereken metal miktarındaki artıştır.

Ergime oranı için geliştirilen matematiksel modellerde de tel çapının ergime oranına etkisi görülmektedir. Chandel, Seow ve Cheong tarafından geliştirilen bir modelde yapılan deney sonuçlarına dayanarak ergitilen elektrot miktarını hesaplamak için kullanılacak bir eşitlik geliştirmişlerdir ((3.8) no'lu eşitlik) (Tusek ,2000);

$$M= C + A.I +B. \frac{I^2.L}{d^2} \quad (3.7)$$

M:Ergitilen elektrot miktarı (kg/h)

I: Kaynak akımı (A),

A,B,C: Regresyon sabitleri,

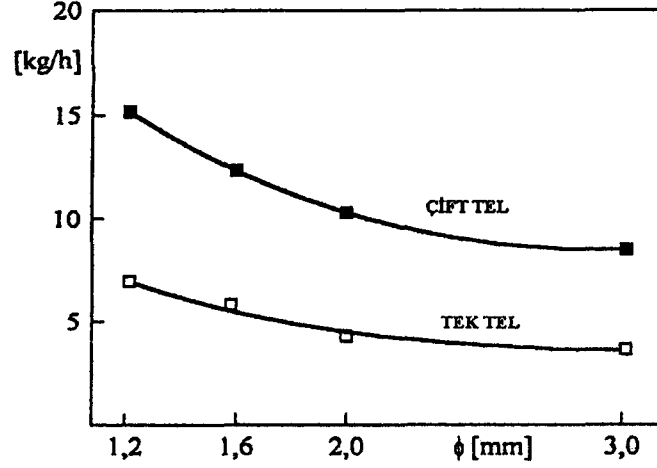
L: Serbest tel uzunluğu (mm),

d: Tel çapı (mm)

Verilen bu eşitliğe göre elektrot çapının artmasına göre ergitilen metal miktarı azalacaktır. Ayrıca kaynak akımının artması ile de ergitilen metal miktarı artmaktadır. Yapılan deneylerde geliştirilen matematiksel eşitlik doğrulanmıştır. Bu eşitliğe göre ergitilen metal miktarı akımın ve elektrot çapının karesiyle değişmektedir. Bu eşitliğe göre eğrilerin

parabolik eğriler olması gerekmektedir. Yapılan deneylerde bu parabolik eğriler elde edilmiş ve elektrot çapının artışına göre ergitilen metal miktarı parabolik olarak azalmıştır.

Çizelge 3.8 Tel çapının ergime oranına etkisi (Tusek ,2000)



Çizelge 3.8’de toz altı kaynağında deney ark gerilimi 30V ,kaynak akımı 350 A ve elektrot pozitif kutupta gerçekleştirilmiştir. Grafik incelendiğinde tek tel ve çift tel durumunda da elektrot çapının artmasıyla ergitilen metal miktarı azalmıştır. Burada çift tel kullanarak gerçekleştirilen deneyde de çift tel kullanılmasının nedeni birim zamanda ergitilen metal miktarını arttırmaktır.

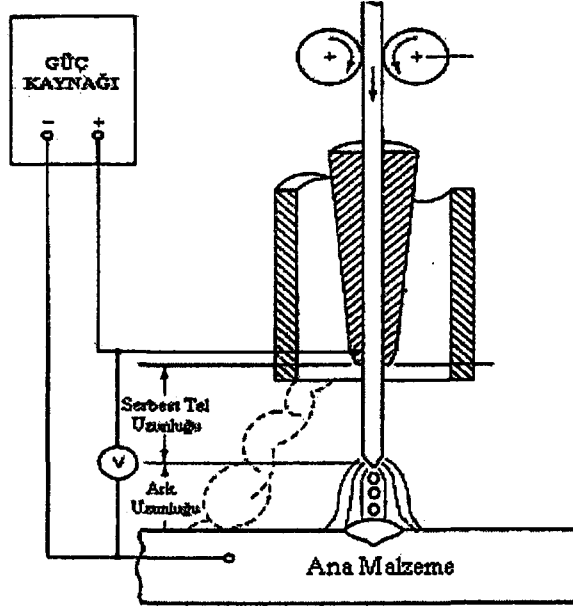
Akım yoğunluğuyla tel çapı arasındaki temel fark nüfuziyet veya ana metalin ergime oranıdır. Şekil 3.17’de görüldüğü gibi  $d = 6\text{mm}$  çapındaki elektrot kullanıldığında elde edilen nüfuziyet için  $d = 3\text{mm}$  çapındaki elektrot olandan daha az olmaktadır.

### 3.2.1.3.7 Serbest Tel Uzunluğu

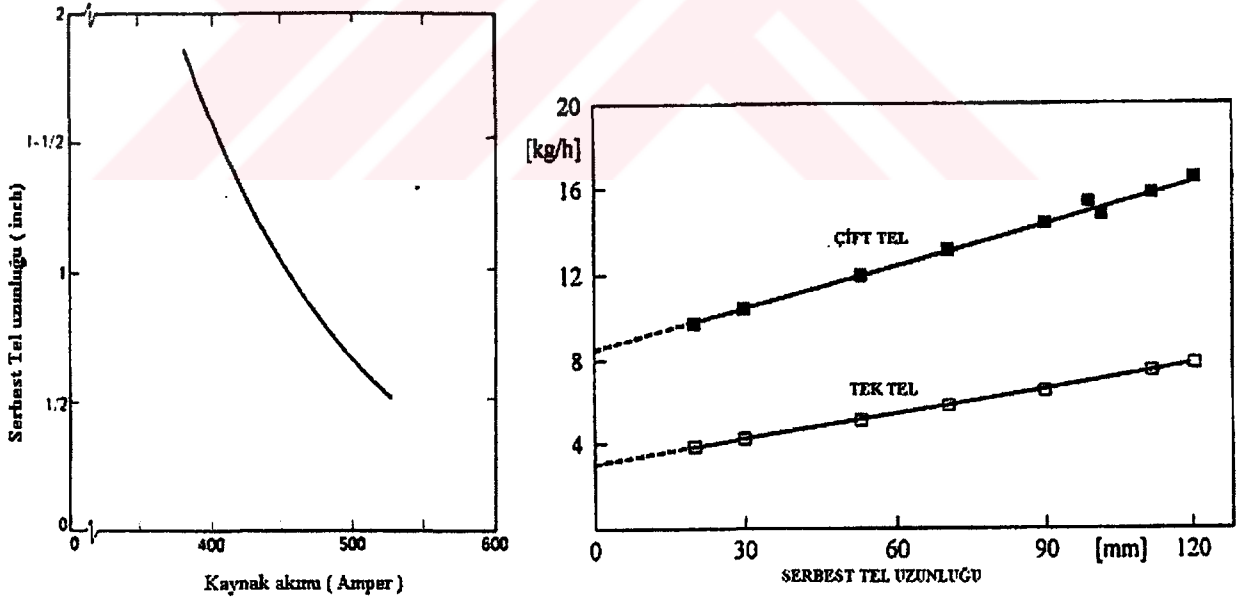
Elektrot serbest tel uzunluğu, torç içindeki kontak borusunun en uç noktası ile tel elektrotunun uç kısmı arasındaki mesafe olarak tarif edilir (şekil 3.18). Bu boyun uzaması sonucu elektrotun elektrik direnci artar ve elektrotun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükselir. Ohm kanununa göre ( $U = I \cdot R$ ) kaynak gerilim sabit olduğundan dolayı direnç artınca akım azalır.

Serbest tel uzunluğunun artması erime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur (Suban,Tusek,2001). Chandel, Seow ve Cheong tarafından geliştirilen matematiksel model (eşitlik(3.7)) tarafından da bu olay doğrulanmaktadır. Yukarıdaki modele göre serbest tel uzunluğu artınca ergitilen elektrot miktarı artmaktadır.

Şekil 3.18 Serbest tel uzunluğu ve ark uzunluğu (Cary,1980)

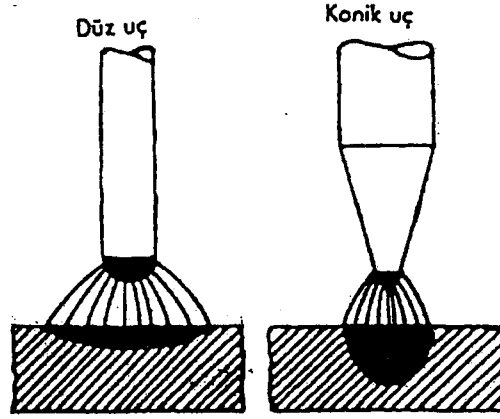


Çizelge 3.9 Kaynak akımının serbest tel uzunluğuna göre değişimi ve serbest tel uzunluğunun artışına göre ergitilen elektrot miktarındaki artış (Cary,1980)



Çizelge 3.9'da serbest tel uzunluğunun artışına göre ergitilen elektrot miktarındaki artış ve serbest tel uzunluğunun artışı sonucu direnci yükselen kaynak telinden geçen akımın şiddetindeki azalmalar görülmektedir. Sağdaki çizelgede çift tel kullanarak gerçekleştirilen deneyde de çift tel kullanılmasının nedeni birim zamanda ergitilen metal miktarını arttırmaktır.

### 3.2.1.3.8 Elektrot Uç Formu



Şekil 3.19 Kaynak akımının serbest tel uzunluğuna göre değişimi (Gültekin,1991)

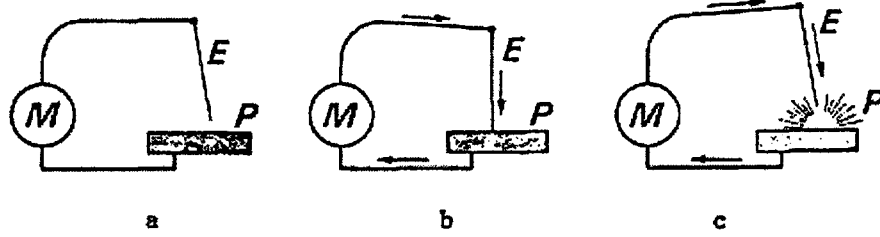
Elektrotun uç formu ergimeyen elektrotla kaynak işlemlerinde önem kazanmaktadır. ( TIG kaynağı )Elektrotun ucunun sıcaklığı akım yoğunluğu, akım cinsi, kutup durumu ve elektrot çapına bağlıdır. Aynı zamanda, kaynaklanan parçalara verilen ısı elektrot ucunun formuna bağlıdır. Buna bağlı olarak dikiş formu da değişmektedir. Bu etki aynı akım yoğunluğundaki etkiye benzemektedir. Elektrot ucunun dairesel olması halinde; nüfuziyet az, genişliği fazla bir dikiş ve konik uçlu elektrotla genişliği az ,ana metalin ergime oranı daha yüksek ,nüfuziyeti fazla olan dikişler elde edilmektedir.

### 3.2.1.4 Kaynak Gerilimi

Kaynak gerilimi plazma adıyla bilinen iyonlaşmış gaz arasında yer alan , iki elektrot arasında bir elektrik deşarjıdır. Bu elektrik deşarjı elektronların ve iyonların plazma içerisinde hareket etmeleri sayesinde sağlanır.

Kaynak işlemi esnasında ana metalle elektrot arasında temas olmadığı müddetçe akım geçmez, kuru havanın akımın geçmesine direnci çok yüksektir. Bu halde devre açıktır (şekil 3.20-a). Elektrot parçaya dokunulduğunda devre kapanır ve kısa devre akımı denen bir akımın geçmesini sonuçlandırır (şekil 3.20-b). Bu akım bütün devrenin ısınmasını sağlar fakat bu ısınma, bilhassa akım geçişine direncin en fazla olduğu yerde,yani temasın iyi olmadığı elektrotun ucunda toplanır, ve uç kızarır. Bu ısınma ile enerji kazanan katottaki elektronlar anodu bombardıman etmeye başlar. Elektronlar yolları boyunca karşılıklarına çıkan moleküllere çarparlar ve iyon oluşumuna sebep olurlar. Burada iyonlaşma tabir edilen bir elektro kimyasal hadise ile bu noktanın hemen civarında havayı elektrik bakımından iletken kılan metalik buharlar oluşur. Bu anda elektrot ana metalden bir kaç milimetre çekilecek olursa akım birinden diğerine iletken hale gelmiş havadan

geçer ve ışıklı bir ark meydana getirir. (şekil 3.20-c). Elektrotun ucu damlacıklar halinde ergir, bunlar elektrottan parçaya(ana metala) arkın kendisi içinden taşınır ve kaynak işlemi gerçekleştirilir (Oğuz,1989).



Şekil 3.20 Ark oluşumu (Oğuz,1989)

Bu tariften anlaşılacağı gibi kaynak arkı bir elektron bombardımanıdır ve elektron bombardımanı sonucu kaynak akımı oluşur.  $Q = U.I$  formülüne göre elde edilen ısı buradaki kaynak geriliminin de etkisi altındadır. Kaynak gerilimini etkileyen faktörler ark uzunluğu, kaynak akımı ve ark atmosferidir.

#### 3.2.1.4.1 Ark Uzunluğu

Ark uzunluğu elektrot ile ana malzeme arasındaki mesafedir. Bir başka tabirle elektron bombardımanı esnasında elektrotu ana malzemeye dokundurup uzaklaştırdığımız mesafedir (şekil 3.18).

Ark uzunluğu etkisini kaynak akımı ve kaynak geriliminde gösterir. Ark uzunluğu elle gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde kaynakçı tarafından ayarlanır. Bu nedenle kaynakçının el hassasiyetine göre değişmektedir. Zaman zaman ark uzayıp kısalır. Ark boyunun değişimi de kaynak gerilimini değiştirir. Ark boyunun değişimi nedeniyle ısı girdisi değişmekte ve buna bağlı olarak da kimyasal kompozisyon değişir.

Ark uzunluğu arttığı zaman kaynak gerilimi artar ve bu sayede gerilimin artmasına bağlı olarak ısı girdisi artar,ark uzunluğu azaldığında ise kaynak gerilimi azalır, ısı girdisi düşer.

Ark uzunluğu belli sınırlar arasında olmalıdır. Eğer ark boyu normalden uzun olursa arkın kararlılığı bozulur, sıçramalar artar hatta ark söner ve akım geçmez. Ark boyu çok kısa olursa bu seferde nüfuziyet çok azalır. Elektrot ana malzemeye dokundurulduğunda kısa devre gerçekleşir. Kaynak gerilimi sıfır olur ve elektrot ana malzemeye nüfuz etmez ve kendi halinde kızarır.

### 3.2.1.4.2 Kaynak Akımı

Kaynak gerilimine etki eden faktörlerden biride kaynak akımıdır. Ark gerilimiyle uygulanan akım şiddeti, Ohm kanununda olduğu gibi basit bir ilişki halinde bulunmaz. Gerilim düşümü ,anot ve katotta en yüksek değerlere ulaşmakta, ark sütununda ise gayet düşük bir seviyede bulunmaktadır. Gerilim düşümü

- $U_k$ , katodik gerilim düşmesi,
- $U_{ar}$  ark sütununda gerilim düşümü,
- $U_a$  anodik gerilim düşmesi,

olarak üç bileşene ayırmak mümkündür. Ark geriliminin düşmesinin nedeni anot yüzeyindeki yüksek elektron konsantrasyonu ve katot yüzeyindeki yüksek konsantrasyondaki pozitif yüklü iyonlardır. Elektrot malzemesine bağlı olarak katottaki düşüm 12-17 V, anottaki ise 6-11 V aralığındadır. Toplam olarak yaklaşık bu iki gerilim düşmesi toplamda 20 V'luk bir gerilim düşmesi oluşturur.

Elektrik ark kaynağında çalışılacak akım ve gerilim değerleri pratik olarak hesaplanırken aşağıdaki (3.8) ve (3.9) no'lu eşitliklerden yararlanılır;

$$I = K \cdot d_e \quad (3.8)$$

$$U = 20 + 0,04 \cdot I \quad (3.9)$$

I: Kaynak Akımı(A)

$d_e$ : Elektrot çekirdek çapı (mm)

K: Elektrot tip ve çapına bağlı düzeltme katsayısı (A/mm)

U: Kaynak gerilimi (V),

K düzeltme katsayısı değeri 30 ile 60 arasında değişmektedir. K değerinin elektrot çeşitlerine göre seçimi için kullanılan çizelge aşağıda görülmektedir.

Çizelge 3.10 Elektrot çeşidine göre K düzeltme katsayıları

K	Elektrot Çeşidi
35-45	Orta kalın örtülü elektrotlar
40-50	Kalın örtülü elektrotlar
50-60	Yüksek ergime verimli elektrotlar

Örnek olarak elektrot çekirdek çapı  $d_e = 4$  mm olan rutil bir elektrot için K değeri tablodan 50 alınabilir.

$$I = 50 \cdot 4 = 200 \text{ A} \rightarrow U = 20 + 0,04 \cdot 200 = 28 \text{ V bulunur.}$$

Bu değer ortalama bir değerdir. İşlem koşullarına bağlı olarak bu değer  $\pm \%10$ 'u değerlerinde çalışılabilir. Geniş bir dikiş için 31 V ,dar bir dikiş için 25 V alınabilir.

Mekanik yada otomatik sistemlerde hız daha fazla değiştirilebilir. Bu sistemlerde süreklilik esastır. Kaynak teli belirli bir hızda sürekli olarak kaynak bölgesine sevk edilir.bu sistemlerde süreklilik eşitliğinden yararlanır. Aşağıda (3.10) no'lu süreklilik eşitliği görülmektedir.

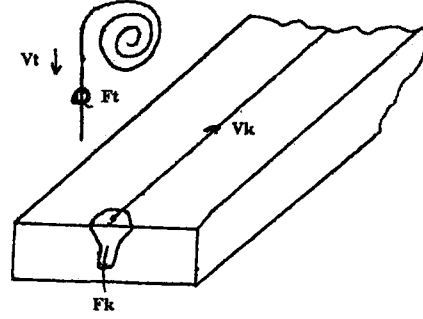
$$F_t \cdot V_t = F_k \cdot V_k \quad (3.10)$$

$F_t$ : Kaynak teli kesit alanı ( $\text{mm}^2$ ),

$V_t$ : Kaynak teli hızı( $\text{cm/dk}$ ),

$F_k$ : Kaynak kesit alanı( $\text{mm}^2$ ),

$V_k$ : Kaynak hızı( $\text{cm/dk}$ )



Şekil. 3.21 Mekanik yada otomatik sistemlerde süreklilik sistemi ve kaynak kesit alanları

$$q = \frac{\eta \cdot 60 \cdot U \cdot I}{V_k \cdot 1000} \quad (3.3)$$

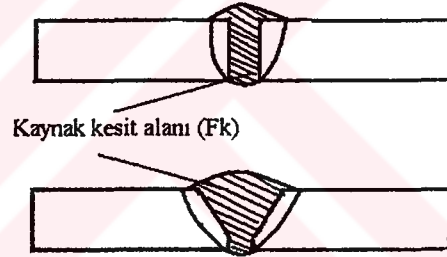
$q$ : Birim dikiş enerjisi ( $\text{kJ/cm}$ )

$U$ : Kaynak gerilimi (V)

$\eta$ : Verim katsayısı

$V_k$ : Kaynak hızı ( $\text{cm/dk}$ )

$I$ : Kaynak akımı (A)



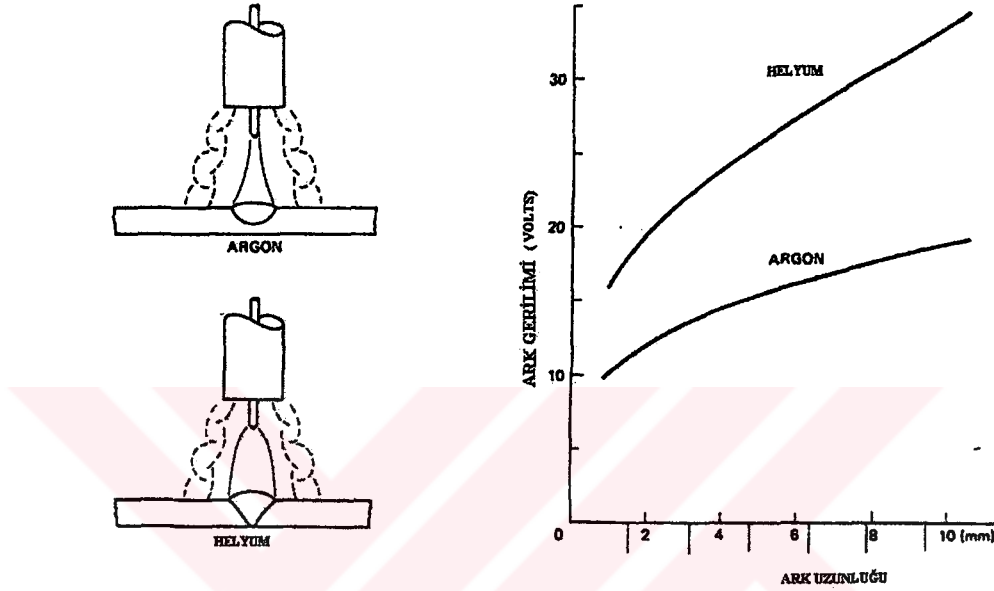
Kaynak işleminde istenen değişkenler belirlenir ve diğerleri (3.10) no'lu ve (3.3)' nolu eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

### 3.2.1.4.3 Ark Atmosferi

Kaynak işlemi esnasında kullanılan termal enerji, ark ve akımdan elde edilir. Bu işlemde elde edilen enerji ışınlama, iletimle ve taşınım ile etrafa dağılır. Sıcaklık ana malzemenin ergime sıcaklığının üzerine çıkar ve onu ergitir. Buradaki ergime oranını etkileyen faktör ark atmosferi ve ark atmosferinin ısı iletim katsayısıyla ilgilidir.

Ark elde edebilmek için kullanılan gazın iyonlaşma enerjisi ark atmosferini etkiler. Gazın iyonlaşma enerjisi artınca daha uzun bir arka ihtiyaç gösterir ve buda ark gerilimini değiştirir. Kullanılan Helyum ve Argon gazlarının iyonizasyon enerjilerini kıyaslandığı zaman Helyumun 24.5 V Argonun 15.7 V görülür. Helyumun iyonizasyon enerjisinin

yüksek olması nedeniyle daha yüksek enerjiye ihtiyaç gösterir. Bunu sağlamak için daha uzun arkla çalışıldığından dolayı kaynak gerilimi yükselir ve bu sayede daha fazla ısı girdisi sağlanır. Buda nüfuziyeti değiştirerek kimyasal kompozisyonu değiştirir. Argon gazının düşük iyonizasyon enerjisi nedeniyle daha kısa ark boyuyla çalışılır. Kaynak geriliminin helyuma göre düşük olmasına sebep olur, nüfuziyet azalır.(şekil 3.21)



Şekil 3.22 Nüfuziyetin ve ark geriliminin ark atmosferine göre değişimi (Cary,1980)

### 3.2.1.5 Ana ve İlave Metalin Fiziksel Özellikleri

Kaynak işleminde ergime oranına etki eden faktörlerden biride malzemenin fiziksel özellikleridir. Fiziksel özellikler deyince o malzemenin yoğunluğu, özısıısı, ısı iletim katsayısı,ergime sıcaklığı gibi özellikleri anlaşılır. Malzemenin kaynak işleminde önemli olan fiziksel özellikleri malzemenin ergime sıcaklığı , ısı iletim katsayısı ve özısıısıdır.

#### 3.2.1.5.1 Isı İletim Katsayısı

Kaynak işlemi esnasında, iletimle ısı transferi ile ana malzemeye transfer edilen enerji bölüm 3.2.1.2.1 'de verilmiş (3.5) no'lu eşitlikle hesaplanır.

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T \quad (3.5)$$

Q: Transfer edilen enerji ( kJ ),

$\Delta T$ : Sıcaklık farkı ( °C )

k: Metalin ısı iletim katsayısı ( kJ / cm<sup>2</sup>.°C),

A: Isının transfer edildiği yüzey (cm<sup>2</sup>),

(3.5) no'lu eşitlikte  $k$  ile ifade edilen terim malzemenin ısı iletim katsayısıdır. Bu eşitliğe göre ana malzemenin ısı iletim katsayısı arttığında, transfer edilen ısı miktarı artmaktadır. Bir başka açıdan da ısı iletim katsayısı arttığında ana malzemedeki transfer edilen ısı miktarı artmaktadır. Buda kaynak işleminde kullanılan ısı enerjisinin azalmasına, ergitilen metal miktarının azalmasına sebep olur (D.S.Nagesh, vd., 2002). Bu nedenle ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerin bu özelliklerinden dolayı ergime oranları azalır. Çizelge 3.11'de farklı malzemelerin ısı iletim katsayıları görülmektedir.

Çizelge 3.11 Malzemelerin ısı iletim katsayıları (Anık, vd., 2000)

Malzeme	$k$ $0^\circ - 300^\circ \text{C}$ ( $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )
St 37	0,12
X7 Cr Ni 18 8	0,035
Cu	0,94
Al	0,55

Çizelge 3.11'e göre ısı iletim katsayısı en yüksek olan bakırdır. Dolayısıyla verilen ısı çeliğe nazaran dokuz kat daha hızlı yayılır. Bu nedenle kaynak bölgesinde yeterli ergimeyi sağlamak için kaynak edilecek parçalar kaynak işleminden önce bir ön tavlama işlemine tabi tutulurlar. Ayrıca bakır gibi ısı iletim katsayısı yüksek metallerin kaynak işlemi yüksek ısı girdisi sağlamak için kalın çaplı elektrotlarla gerçekleştirilir. Bu sayede ısı girdisi artırılarak ısı kaybı önlenir.

### 3.2.1.5.2 Ergime Sıcaklığı

Ergime sıcaklığı da metallerin ergime oranlarına etki eden faktörlerden biridir. Kaynak metali ana malzeme ile elektrotun karışımından oluşmaktadır. Ergitilen metaller metal banyosunda karışarak kaynak metalini oluşturur. Fakat metallerin ergitilip kaynak banyosunda bulunmaları için metallerin ergime sıcaklıklarına kadar ısıtılmaları gerekir.

Ergitilen metal akışkan hale gelip metal banyosunu doldurur. Fakat malzemelerin ergime sıcaklıkları farklı olduğundan ergime sıcaklığı düşük olan metal daha çabuk ergiyerek metale banyoda bulunma oranını artırır. Böylece kaynak metalinin kompozisyonu bu metale daha çok yaklaşır. Fakat kaynak işlemi gerçekleştirilen metaller genellikle yakın kompozisyonlarda seçildiklerinden ergime noktaları birbirlerine yakındır. Örnek verirsek

karbonlu çeliklerin ergime sıcaklıkları 1490 °C iken östenitik çeliklerin ergime sıcaklıkları 1420 °C'dir.

### 3.2.1.5.3 Öz Isı

Özgül ısı bir maddenin bir gramının sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli olan ısı miktarıdır. Malzemeyi ergitmek için gerekli olan ısı miktarını (3.5) no'lu eşitliğe benzeyen (3.11) no'lu eşitlikle hesaplanır.

$$Q_m = m_m \cdot c_m \cdot \Delta T \quad (3.11)$$

$Q_m$ : Malzemeyi ergitmek için gerekli ısı miktarı (kJ)

$m_m$ : Ergiten malzemenin kütlesi (g)

$c_m$ : Malzemenin özısısını (kJ/g.°C)

$\Delta T_m$ : Metalin ergime sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark (°C)

Bu eşitliğe göre ısı girdisinin ve sıcaklık farkının sabit olduğunu kabul edilirse ,malzemenin özgül ısısı artınca veya azalınca, ergitilen malzeme miktarı doğru orantılı olarak değişir.

Çizelge 3.12 Malzemelerin özısı katsayıları(Anık, vd..2000)

Malzeme	$c$ 0° – 300° C (cal/g °C)
St 37	0,126
X7 Cr Ni 18 8	0,12
Cu	0,0092
Al	0,245

### 3.2.1.6 Kullanılan Yanıcı Gaz

Ergitme esaslı kaynak uygulamalarında kullanılan enerji türlerinden biri de bir gazın yanmasından sağlanmakta ve oksijen gazı yakıcı, asetilen gazı yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Oksi-gaz yönteminde asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) dışında Hidrojen (H<sub>2</sub>), Metan (CH<sub>4</sub>), Propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), Bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), Propan Bütan karışımı (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), Havagazı, Benzin Buharı ve Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>) gazları da yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır.

Ancak kaynak işleminde belirli fiziksel özelliklerinden dolayı asetilen gazı en çok kullanılan gaz olarak öne çıkmaktadır. Yanıcı gazların fiziksel özellikleri çizelge 3.13'te verilmektedir.

Çizelge 3.13 Yanıcı gazlar ve fiziksel özellikleri(Anık,1969)

Gaz Türü	Asetilen	Hidrojen	Havagazı	Propan
Isıl değeri( kcal/ m <sup>3</sup> )	13600	2580	4200	21700
Tutuşma hızı (cm/s)	1310	890	705	450
Alev gücü (kcal/ cm <sup>2</sup> .s)	10,7	3,34	3,03	2,56
En yüksek Alev sıcaklığı (°C )	3120	2280	2000	2780

### 3.2.1.6.1 Kullanılan Yanıcı Gazın Isı Girdisine Etkisi

Yanıcı gazların ısı etkisine girdisi yanıcı gazın ısıl değeriyle ilgilidir. (3.4) no'lu eşitlik incelendiğinde ,

$$q = \frac{\eta * h * H}{V_K * 60} \quad (3.4)$$

q: Birim dikiş enerjisi (kj/cm)

H: Kullanılan yanıcı gaz hacmi (l/h)

η: Verim katsayısı

V<sub>K</sub>:Kaynak hızı (cm/dk)

h: Yanıcı gazın alt ısıl değeri (asetilen gazı için 56,94 kj/l)

birim dikiş enerjisinin yanıcı gazın ısıl değeriyle doğru orantılı olarak değiştiği görülür. Çizelge 3.13'te yanıcı gazların ısıl değerleri görülmektedir. Bu çizelgeye göre ısıl değeri en yüksek gaz propan olmasına rağmen tutuşma hızı ve alev sıcaklığı düşüktür. Bu nedenle alev gücü ,tutuşma hızı ve alev sıcaklığı bakımından en yüksek olan asetilen gazı oksji-gaz kaynağında en çok tercih edilen gazdır.

### 3.2.1.6.2 Hidrojen

Kaynak tekniğinde çok nadir durumlarda kullanılır. Çok ince alüminyum ve kurşun saçların kaynak lehim işleri için kullanılmaktadır. Alev sıcaklığı 2280 °C olduğundan saç kalınlığı arttıkça, tavlama zamanı da yükselir. Hidrojen tatsız, kokusuz ve renksiz bir gazdır. 1 m<sup>3</sup> hidrojen 10 gr olup, aynı hacimdeki oksijenden 16 defa daha hafiftir.

### 3.2.1.6.3 Metan

Metanın ısıl değeri 8850 kcal /m<sup>3</sup> olmasına rağmen, alev sıcaklığı düşük olduğundan, çeliği sıvı hale getirmesi oldukça zordur. Yanma hızının düşük olması yüzünden, çok defa hidrojen, asetilen veya etilenle karıştırılarak, yanma hızının yükseltilmesine çalışılır. Buna rağmen böyle bir karışım kaynak tekniği için herhangi bir mana ifade etmez.

#### 3.2.1.6.4 Havagazı

Havagazı, çeşitli gazların bir karışımından ibarettir. %50 Hidrojen (H), %12 karbon monoksit (CO), %25 Metan'dan (CH<sub>4</sub>) ibaret olup, geri kalanı da etilen (CH<sub>4</sub>), azot (N) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) teşkil eder.

Özgül ağırlığı 0,5 kg/m<sup>3</sup> ve ısı değeri de 4200 kcal/m<sup>3</sup>'tür. Gerek ısı değeri gerekse alev sıcaklığının düşük olması dolayısıyla kaynak tekniğinde nadiren ancak ince saçların kaynağında kullanılır. Bazen alev sıcaklığını yükseltmek için hava gazına asetilen karıştırılır (%30 asetilen). Havagazı daha ziyade kesme, lehimleme veya yüzey sertleştirme işlerinde kullanılan bir gazdır.

#### 3.2.1.6.5 Propan

Isıl değerleri yüksek olmasına rağmen, tutuşma hızı ve alev sıcaklığı düşüktür(çizelge 3.13). Bu sebepten dolayı daha çok kesme, tavlama ve lehimleme işlerinde kullanılır.

#### 3.2.1.6.6 Benzin Buharı

Sıvı halinde bulunan benzinin buharı özellikle su altında yapılan kesme işlerinde kullanılır ve ısı değeri de 10.000 kcal/kg'dır.

#### 3.2.1.6.7 Benzol Buharı

Benzol eskiden özel kaynak ve kesme işlerinde kullanılmasına rağmen, bugün yerini asetilene terk etmiş bulunmaktadır. Isıl değeri de 9600 kcal/kg'dır.

#### 3.2.1.6.8 Asetilen

Asetilen, karpitin su ile teması neticesinde elde edilen bir gazdır. 760 mm cıva basıncında ve 0°C de özgül ağırlığı 1,17 kg/m<sup>3</sup> olup, havadan biraz hafiftir. (havanın özgül ağırlığı 1,23 kg/ m<sup>3</sup>'tür).

Asetilen, içerisinde mevcut fosforlu hidrojen dolayısıyla sarımsağımsı bir kokuya sahiptir. Asetilenin hava veya oksijenle teşkil ettiği karışımlar çok tehlikelidir. Bu karışımların tutuşması halinde büyük patlamalar meydana gelir.

Asetilen kararsız bir karbonlu hidrojen olduğundan, ayrışmaya meyillidir. Asetilen, 1,5 atmosferden daha yüksek bir basınçla sıkıştırıldığı ve sıcaklık da arttığı zaman kendisini

oluşturan karbon ve hidrojene ayrışmaya başlar. Aynı zamanda tutuşma ve yanma olmaksızın, 11 katı bir basınç artışı ile infilak eder. Bunun neticesi olarak da asetilen cihazlarında 1,5 atmosferden daha yüksek basınçlara müsaade edilmez. Kabul edilen sınır 1,5 atmosfer gaz basıncında 60 °C 'dir (Anık,1969).

### 3.3 Elektrik Ark Kaynağında Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar

Kaynak işlemi çok yüksek sıcaklıklarda ve yüksek hızlarda gerçekleşen bir prosestir. Kaynak prosesi iyonlaşmış gaz sütunu içerisinde yüksek sıcaklıkta erimiş metal damlasının ana malzemeye göçü olarak tasvir edilebilir. Bu sırada metal damlası koruyucu bir ortamdan geçerek erimiş ana metalin bulunduğu metalsel banyoya ulaşır. Metalsel banyoya ulaştığında ergimiş ana malzemeyle karışır soğuma hızına bağlı olarak katılaşarak yeni bir yapı oluşturur (Dixon,1990).

Yapılan kaynak işleminden sonra yapılan kimyasal kompozisyon testlerinde ,önceden belli ergime oranlarına göre yapılan hesaplanan kimyasal kompozisyon oranlarıyla uyuşmaz. Bunun nedeni ergimiş metal damlasının kaynak elektrotundan ayrılıp ergiyip metalsel banyoya ulaşmaya kadar geçen zaman zarfında bir çok reaksiyonun gerçekleşmesidir. Bu kısacık zaman içerisinde yüksek sıcaklıktan dolayı kaynak havuzunda bulunan bir elementler başka elementlerle reaksiyona girerek yeni bileşikler oluşturur , bir kısmı yüksek sıcaklıkta oksitlenir ve yanarak ortamdan uzaklaşır ve bir kısmı da kaynak metaline geçerek oluşan yeni yapının alaşımınmasını sağlar.

Elementlerin başka elementler reaksiyona girmesi kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunun değişimine neden olur. Bu nedenle kimyasal reaksiyonlar kaynak metalinin kompozisyonunu etkiler. Kaynak işleminde meydana gelen reaksiyonları iki bölüme ayırılır :

- Ark sütununda gerçekleşen reaksiyonlar,
- Metalsel banyoda içinde gerçekleşen reaksiyonlar. (Dixon,1990)

#### 3.3.1 Ark Sütununda Gerçekleşen Reaksiyonlar

Ark sütununda gerçekleşen reaksiyonlar takip edilmesi zor olan reaksiyonlardır. Bunun nedeni ark sütunundan aşağı doğru düşen metal damlasının ortalama bir ifade ile 100 m/s hızla hareket etmesidir. Araştırma örnekleri döner bir numune alma ekipmanı

kullanarak ark sütunundan ergimiş kaynak teli örnekleri toplamışlardır ve alınan numuneler incelendiğinde, numunelerde oksitlenme reaksiyonlarının gerçekleştiği görülmüştür. Çünkü alınan numunelerde değişik koşullardaki çalışma şartlarına bağlı olarak bazı elementlerde kayıplar olduğu görülmüştür.

Kaynak elektrotundan veya kaynak telinden kopan ergimiş metal damlası metalsel banyoya kadar olan seyahati boyunca koruyucu gaz ortamında transfer işlemi gerçekleşir. Bu koruyucu ortamın karakteri,elektrostatik ve elektrodinamik kuvvetler ve ergiyik akışkan damlada ortaya çıkan kimyasal tepkimeler ergimiş metalin transfer şartlarını değiştirerek ergimiş metalin kompozisyonuna etki eder ve dolayısıyla da kaynak metalinin kompozisyonu değişir.

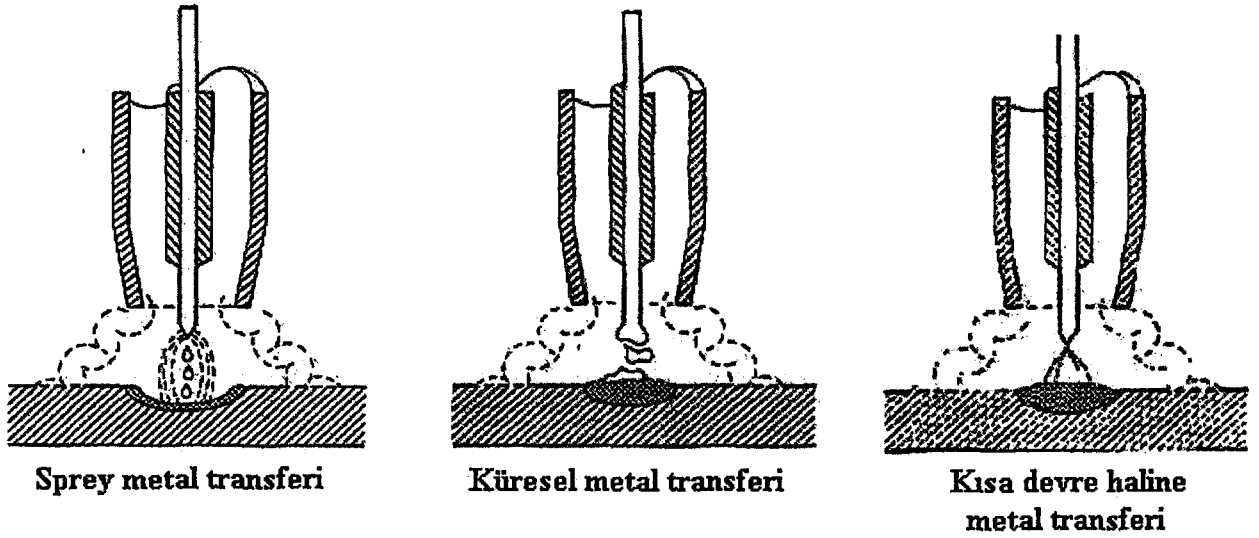
Metal damlasının transfer şekli dört farklı şekilde gerçekleşir. Bunlar ,

- Kısa devre haline metal transferi,
- Damlasal metal transferi,
- Çok küçük damlasal metal transferi,
- Darbeli sprey metal transferidir.

Kaynak metalinin transfer şeklinin değişmesi sonucu ergitilmiş kaynak telinin boyutu değişir. Bunun nedeni koruyucu gaz ortamına göre sisteme giren ısı girdisinin artması ,yüksek akım değerleriyle çalışmak veya ilave malzemedeki karbon ve oksijen oranlarının fazla olması olabilir. Düşük akım değerleriyle çalışınca (düşük ısı girdisi) metal damlası kopmamakta ve çok incelerak devamlı geçmektedir (Kısa devre haline metal transferi). Akım şiddeti arttıkça ısı girdisi artmakta ve buna bağlı olarak ergimiş metal damlalarının hacmi artmaktadır (Damlasal metal transferi). Yüksek akım şiddetlerine çıkınca ergimiş metal damlalarının hacmi küçülmektedir (Çok küçük damlasal metal transferi).

Metal damlasının transfer durumunun kimyasal kompozisyona etkisi birim hacme düşen yüzey alanlarıyla alakalıdır. Küçük boyutlu damlacıkların birim hacmine düşen alanları daha büyük olduğundan dolayı elementler örneğin silisyum ve mangan ark içerisinde oksitleyici maddelerle daha kolay reaksiyona girer.Bu etkileşim sonucunda alaşım elementlerinin kaybı artmaktadır. Büyük metal damlalarının hacmi daha büyüktür ve buna bağlı olarak birim hacme düşen yüzey alanı küçülür. Bu durumda, oksijen ile damlacıktaki elementlerin

etkileşimi devam etse de alaşım elementlerinin bir çoğu damlacıkta oksitlenmemiş olarak kalır. Böylece alaşım elementlerinin kaybı azalır (Bracarense,1993).



Şekil 3.23 Kaynak işleminde metal transfer şekilleri

### 3.3.1.1 Kısa Devre Halinde Metal Transferi

Kısa devre halinde metal transferi yöntemi ince elektrotlarla, düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti ile kaynak yapıldığında karşılaşılan bir transfer türüdür. Burada ark oluşunca elektrotun uç kısmı hemen erimeye başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık banyoya doğru akarken elektrot ve iş parçası arasında kısa devre oluşur, gerilim düşer, akım şiddeti yükselir damla elektrottan kopar ve kısa devre ortadan kalkar ve aynı olay tekrarlanır. Düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışıldığından metal transferinin kısa devre esnasında 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. Ayrıca bu transfer şekli ile gerçekleştirilen kaynakta, kaynak banyosunun çok büyük olmaması ve hemen katılaşması nedeni ile, dik ve tavan kaynakları ve geniş kök aralıklarının örülmesinde de uygun bir yöntemdir.

### 3.3.1.2 Küresel Metal Transferi

Küresel metal damlası akım şiddeti ve ark geriliminin biraz daha yüksek olduğu şartlarda oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrotun uç kısmında erime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrot çapını aştıktan sonra elektrottan kopar , yerçekimi ve pinch olayı etkisi ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer. Pinch olayı ,akımın iletken bir sıvı veya katıdan ortamdan geçmesi esnasında akım yönünde manyetik alana dik bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet sıvı fazdaki iletkeni büzme etkisi ile damlanın elektrottan hızla uzaklaşmasını sağlar.

Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkar, yalnız CO<sub>2</sub> haricindeki gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde görülür, buna karşın CO<sub>2</sub>'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma prosesinde küresel metal taşınımı görülür

### 3.3.1.3 Sprey Metal Transferi

Sprey metal transferi , ergimiş metal damlasının iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, sprej ark halinde görülür. Ergimiş metal damlasının iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrot ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlalar halinde geçişi ile gerçekleşir. Damlacıklar tel çapından çok küçüktür , damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir. Sprey transfer şekli genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığında ortaya çıkar. Sprey transfer şeklinde , yüksek akım şiddetlerinde oluştuğundan bilhassa kalın parçaların kaynağı için çok uygundur ve bu yöntemde sıçrama çok azdır. Yüksek erime gücü nedeni ile banyo diğer transfer türlerine nazaran daha geniş oluşur. Bu bakımdan yatay ve oluk pozisyonlarda dolgu ve kapak pasolarının çekilmesi için çok uygundur. Bu transfer şeklinde yüksek güçlerde çalışıldığından torçun çok iyi bir şekilde soğutulması gereklidir.

### 3.3.1.4 Darbeli Sprey Metal Transferi

Bu yöntemde özel bir kaynak üretici ile kaynak akımının şiddetinin frekansı, ayarlanmış 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 mümkün olabilmekte ve ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir. Damlaların transfer şekilleri sprej transfer yöntemine benzemekte fakat damla büyüklükleri ve frekansı ayarlanabilmektedir.

### 3.3.2 Metalsel Banyoda Gerçekleşen Reaksiyonlar

Kaynak banyosunda erimiş kaynak metali soğuyuncaya kadar hava atmosferine açık durumdadır. Yanma kayıpları kaynak havuzunda devam ederken aynı zamanda da kaynak metalinin alaşımlanması sağlanır. Kaynak telindeki yüzdece oranları fazla olan elementler kaynak metaline geçer. Böylece yanmadan kayba uğrayan elementler kaynak teli vasıtasıyla eski değerlerine ulaşması sağlanır. O nedenle kaynak havuzunda gerçekleşen reaksiyonlar iki kısımda incelenebilir. Bunlar ;

- Kaynak metalindeki elementlerin oksidasyonu,

- Kaynak metalindeki element ve bileşikler arasındaki karşılıklı reaksiyonlardır.

### 3.3.2.1 Kaynak Metalindeki Elementlerin Oksidasyonu

Oksijen metalsel banyoda var olan bir elementler ile birleşerek kaynak işleminin kalitesine etki eden oksitler oluşturur. Bu olaya oksidasyon denir. Örneğin oksijen erimiş çelikte bulunan karbonla birleşerek karbon monoksit oluşturur ve bu gaz dışarı çıkarken yapıda gözenek oluşumuna sebep olur.

Metalsel banyoda gerçekleşen oksidasyon reaksiyonları üç grupta toplanabilir:

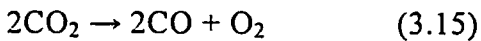
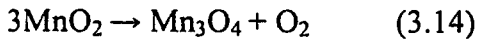
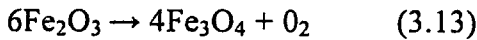
- Direkt oksidasyon,
- Alçak oksitlerin yüksek oksitlerle oksidasyonu,
- Yer değiştirme reaksiyonları ile oksidasyon.

#### 3.3.2.1.1 Direkt Oksidasyon ve Alçak Oksitlerin Yüksek Oksitlerle Oksidasyonu

Genel olarak direkt oksidasyon reaksiyonu (3.12) no'lu reaksiyon vasıtasıyla gerçekleştirilebilir.



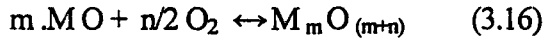
Burada M metali simgelemekte ve bir metalin direkt oksidasyonu, atmosferdeki serbest oksijenle birleşmesi sonunda meydana gelir.  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$  ve  $CO_2$  gibi bileşikler, bazen elektrot örtüleri içerisinde bulunur ve ısıtma esnasında serbest oksijenin açığa çıkması ile alçak oksitler meydana gelecek şekilde disosiyasyona uğrarlar. Örnek olarak (3.13), (3.14),(3.15) no'lu reaksiyonlar verebilir :



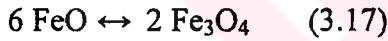
Bu bileşiklerin parçalanması esnasında açığa çıkan oksijen, atmosferdeki oksijen gibi, esas metal veya onun refakatçileri ile birleşir ve onları oksit haline dönüştürür. Demir, en önemli alaşım elemanları, dezoksidasyon maddeleri ile demir için önlenemeyen ve arzu edilmeyen elemanların direkt oksidasyon reaksiyonları çizelge 3.14'te verilmiştir.

Ark kaynağında, arkın içerisinde direkt oksidasyon için gerekli ve elverişli şartlar mevcuttur. Yüksek sıcaklık, oksijenin çıkışı ile daha yüksek oksitlerin ve karbonatların yeterli ve hızlı disosiyonunu sağlar.

Direkt oksidasyonun ekzoterm reaksiyonları, eriyik halindeki kaynak dikişi içerisinde de, eğer onun yüzeyi artık bir cüruf tabakası tarafından korunmuyor veya örtü daha yüksek oksitlerden büyük bir miktar ihtiva ediyorsa, soğuma periyodu esnasında da devam eder. Alçak oksitlerin yüksek oksitlerle dönüşümü için meydana gelen oksidasyon reaksiyonu, (3.16) no'lu reaksiyon ile ifade edilir:



Bu durumda alçak oksitler sonradan yine oksitlenirler. Bu reaksiyonlar, yalnız bir oksijen fazlalığının mevcudiyetinde ve saf, yani serbest halde bulunan elemanların olmayışı halinde cereyan eder (Anık,1973). Örnek olarak demir oksidül serbest oksijenin mevcudiyeti halinde, (3.17) no'lu reaksiyona göre  $2(Fe_3O_4)$  halinde oksitlenir.



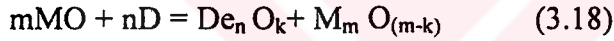
Çizelge 3.14 Direkt oksidasyon reaksiyonları ( + işaretli ekzotermiktir.) (Anık,1973)

Reaksiyon Numarası	Reaksiyonlar	Yayınan Isı (cal)
1	$V + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow VO$	+180,8
2	$Ca + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CaO$	+151,7
3	$Mg + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow MgO$	+146,1
4	$2Li + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow Li_2O$	+142,8
5	$Ba + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow BaO$	+133,4
6	$2Al + \frac{3}{2}O_2 \leftrightarrow Al_2O_3$	+393,3
7	$Ti + O_2 \leftrightarrow TiO_2$	+ 219,0
8	$Si + O_2 \leftrightarrow SiO_2$	+ 206,0
9	$2Na + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow Na_2O$	+ 100,7
10	$2V + \frac{3}{2}O_2 \leftrightarrow V_2O_3$	+ 296,0
11	$Mn + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow \frac{1}{2}O_2$	+ 93,1
12	$2Cr + \frac{3}{2} O_2 \leftrightarrow Cr_2O_3$	+ 270,6
13	$2P + \frac{5}{2}O_2 \leftrightarrow P_2O_5$	+369,1
14	$Mo + O_2 \leftrightarrow MoO_2$	+143,0
15	$3Fe + 2O_2 \leftrightarrow Fe_3O_4$	+266,5
16	$W + O_2 \leftrightarrow WO_2$	+131,0
17	$Fe + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow FeO$	+61,5
18	$Ni + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow NiO$	+59,0
19	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow H_2O$	+57,8
20	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	+ 94,2

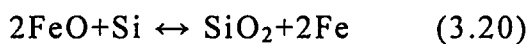
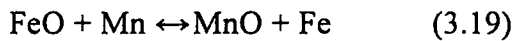
Reaksiyon Numarası	Reaksiyonlar	Yayılan Isı (cal)
21	$2\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \leftrightarrow \text{Cu}_2\text{O}$	+ 41,0
22	$\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \leftrightarrow \text{CuO}$	+ 37,7
23	$\text{S} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{SO}_2$	+ 69,3
24	$\text{C} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \leftrightarrow \text{CO}$	+ 26,4
25	$\frac{1}{2}\text{N}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \leftrightarrow \text{NO}$	- 21,6

### 3.3.2.1.2 Yer Değiştirme Reaksiyonlarıyla Gerçekleşen Oksidasyonlar

Oksijene karşı olan afinitesi diğerlerinden daha fazla olan bir metal, diğeri metallerin oksitlerini redüklemek ister. Böyle bir reaksiyonun neticesinde metalden, oksijene karşı daha büyük bir afiniteyle redüklenmiş metalin yanında bir oksit meydana gelir. Eğer reaksiyonda, yüksek bir oksitten daha alçak bir reaksiyon meydana geliyorsa, redükleme kısmen cereyan eder. Oksitlenmiş metallerin dezoksidasyonu böyle yer değiştirme reaksiyonlarına dayanır. Yer değiştirme reaksiyonları genellikle (3.18) reaksiyon ile ifade edilir.



Burada M, metal ve De, dezoksiyon maddesini göstermektedir. Yer değiştirme reaksiyonları, oksijenle afiniteleri hemen hemen aynı büyüklükte olan elemanların oksitleri arasında da cereyan edebilir. Eğer bir metalin oksidi aşırı doymuş ise, bu oksit oksijenle doymamış bir metalle reaksiyona girebilir ve ona fazla oksijenin verebilir. Bu cins reaksiyonlar kaynak işleminin bütün kademelerinde meydana gelebilir. Buna rağmen en büyük yoğunluğu sıvı, cüruf ve metal fazlarında ve bunların ayırma yüzeyleri üzerinde erişirler. Yer değiştirme reaksiyonlarına örnek olarak demirin manganez ve silisyum tarafından redükleme reaksiyonlarını verebilir.



Kaynak esnasında, çelikte meydana gelen yer değiştirme reaksiyonları (dezoksidasyon reaksiyonları)' nı daha açık bir şekilde çizelge 3.15' te görülmektedir.

Çizelge 3.15 Kaynak işlemi esnasında gerçekleşen en önemli yer değiştirme reaksiyonları ( + işaretli ekzotermiktir) (Anık,1973)

Reaksiyon numarası	Reaksiyonlar	Yayınan Isı ( cal )
1	$3\text{FeO} + 2\text{Al} \leftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Fe}$	+187300
2	$2\text{FeO} + \text{Si} \leftrightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$	+62994
3	$2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{Si} \leftrightarrow 3\text{SiO}_3 + 4\text{Cr}$	+ 55060
4	$\text{FeS} + \text{Mn} \leftrightarrow \text{MnS} + \text{Fe}$	+44101
5	$5\text{FeO} + 2\text{P} \leftrightarrow \text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{Fe}$	+35835
6	$\text{FeO} + \text{Mn} \leftrightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$	+ 24047
7	$\text{FeO} + \text{C} \leftrightarrow \text{CO} + \text{Fe}$	+ 37283
8	$\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{C} \leftrightarrow \text{CO} + 4\text{Fe}$	- 42400
9	$\text{MnO} + \text{C} \leftrightarrow \text{CO} + \text{Mn}$	- 66330
10	$\text{SiO}_2 + 2\text{C} \leftrightarrow 2\text{CO} + \text{Si}$	-137500
11	$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \leftrightarrow 3\text{CO} + 2\text{Cr}$	-193810
12	$\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{C} \leftrightarrow 5\text{CO} + 2\text{P}$	-222300

Ark içerisinde demirin ve diğer bütün refakatindeki elemanların direkt oksidasyonu, elemanların oksijene karşı olan afiniteleriyle ilgili olarak büyük önem taşır. Oksijene karşı afiniteleri daha büyük metallerin oksidasyonu çok hızlı olur. Geri kalan diğerleri, pratik olarak, oksitlenmezler yada çok yavaş oksitlenirler.

Cüruf ve ark arasındaki ayırma yüzeyinde, alçak oksitlerin yüksek oksitlere dönüşümü altında, sonradan oksidasyon reaksiyonları da gerçekleşebilir. Bu sayede de metalden cürufa oksijen geçişi sağlanmış olur.

Erimiş metal banyosu içerisinde, metal ve cüruf arasındaki ayırma yüzeyinde olduğu gibi, metal ve cüruf içerisinde de demirin redüklediği ve dezoksidasyon maddelerinin oksitlere dönüştürüldüğü yerde, değiştirme reaksiyonları ceryan eder. Oksidasyon maddeleri

olarak, bir taraftan oksijene karşı afiniteleri demire olandan daha büyük olan, diğer taraftan oksitleri demir içerisinde çözülmeyenler seçilir.

Kaynak işleminde oluşan oksitler ve özellikleri şunlardır;

Demir oksit ( FeO) ,asit karakterli oksitlerle, örneğin SiO<sub>2</sub> ile kompleks bileşikler yapar. Demir-silikatlar ve TiO<sub>2</sub> ile de demir titanatlar teşkil eder. Demir oksit esas metal olan demir içerisinde çözülür ve pratik olarak demir içinde çözülmeyen kompleks bileşiklere geçirilerek veya dezokside edilerek (oksijene ilgileri, demirinkinden daha fazla olan elemanlarla yer değiştirme reaksiyonları) metal banyosundan uzaklaştırılabilir.

Silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>), kimyasal yapısına göre SiO<sub>2</sub> kuvvetli asit karaktere sahip bir oksittir. Alkali oksitlerle kompleks bileşikler (silikatları) teşkil eder ve bu, onun cürufun bileşimine ait olduğu haldir.

Magnezyum oksit (MnO), kaynak dikişinin katılaşmasından sonra, SiO<sub>2</sub> gibi metalden ayrılmasını güçleştiren katı halde mevcut olabilir. Saf halde MnO kaynak metalinde çok nadir bulunur ve bu da arzu edilmez. Zira bu oksit, metalin mekanik özelliklerini kötüleştirir. Ekseriya bazik bir karaktere sahip olan MnO, SiO<sub>2</sub>, ile silikatlar ve S ile de sülfürleri meydana getirir. Manganezin ve oksidinin kükürdü bağlama kabiliyeti, onun en önemli özelliklerinden biridir.

Alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), bileşik, serbest veya çeşitli mineraller şeklinde doğada bulunur. Amfoter karakterli bir oksittir. Bazen de bazik karakterli bileşikler teşkil eder. Yalnız yüksek sıcaklıklarla fark edilir bir şekilde disosiyona uğrayan gayet sağlam bir bileşiktir. Kaynak dikişindeki erimiş metal banyosunda, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katı halde kalır. Gayet zor yüzeye çıkan ve ekseriya kaynak metali içerisinde kalan çok dallanmış kristaller şeklinde teşekkül eder.

Kalsiyum oksitin (CaO) erime sıcaklığı 2572 °C 'dir. Tavlama sırasında, kendisinin yüksek ısı yayılmasına uygun olarak çok az disosiyona uğrar.

Çizelge 3.16 'da çeliğin kaynağında meydana gelen bazı oksit ve bilşiklerin erime sıcaklıkları ve özgül ağırlıkları mukayeseli olarak verilmiştir. Verilen bileşiğin erime sıcaklığı ne kadar yüksekse, soğuma esnasında o kadar çabuk katı hale geçer ve dağılmış faz olarak sıvı metal

içerisinde kalır. Eğer  $Al_2O_3$  ve  $TiN$  gibi çok zor eriyen bileşikler metal içerisinde olursa, bunun büyük bir kısmı içeride karışık olarak kalır.

Cüruf parçacıklarının, kaynak metalinin yüzeyine çıkış hızı üzerine, özgül ağırlığın büyük etkisi vardır. Sıvı çeliğe nispeten cürufun özgül ağırlığı ne kadar az ise, kaynak metalinin yüzeyine çıkma meyli de o kadar fazladır.

Çizelge 3.16 Çeliğin kaynağında meydana gelen bazı oksit ve bileşiklerin özellikleri  
(Anık,1973)

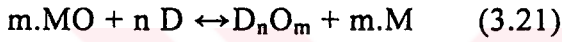
Oksitler	Erime sıcaklığı (°C)	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
FeO	1370	5,9
MnO	1600	4,7 - 5,5
SiO <sub>2</sub>	1710	2,3 - 2,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050	3,9 - 4,0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2435	5,0
2 MnO . SiO <sub>2</sub>	1285	3,6
FeS	1193	4,6
MnS	1620	4,0
Ti N	2900	5,2

### 3.3.2.2 Kaynak Metalindeki Element ve Bileşikler Arasındaki Karşılıklı Reaksiyonlar

Çelik içerisinde, yüksek kaynak sıcaklıklarında ve ark içerisinde de oksijenin mevcut olması halinde; karbon, silisyum, manganez krom ve diğer elemanlar oksitlenir ve bunların ağırlık oranları da önemli miktarda düşer. Bu arada demir de az veya çok miktarda oksitlenir ve meydana gelen FeO bilhassa kaynak metalinin özelliklerini büyük ölçüde kötüleştirir. Eğer kaynak metalinin kimyasal bileşimi ve yapısı, esas metalinkinden farklı değilse, kaynak bağlantısının kalitesi yüksek değerlidir. Bu isteğin yerine getirilmesi, kaynak işleminde aşağıdaki şartların sağlanmasını şart koşar:

- Esas metalin dezoksidasyonu ve meydana gelen oksitlerin, dikiş içerisinde, erimiş metalden bertaraf edilmesi;
- Kaynak yapılan esas metalin yanan elemanlarının, yerini tutan elemanlarla alaşımlandırılması. Bazen kaynak metali, esas metal içerisinde hiç bulunmayan veya çok az mevcut olan elemanlarla alaşımlandırılır. (Anık,1973)

Esas metalin dezoksidasyonu, verilen fiziksel ve kimyasal şartlar altında oksijene karşı ilgisi esas metale ilgisinden daha büyük olan ve özel olarak bu gaye için katılmış herhangi bir elemanla bunun arasındaki yer değiştirme reaksiyonu yardımıyla sağlanır. Genel olarak dezoksidasyon reaksiyonu (3.21) no'lu reaksiyon ile ifade edilir. Burada M, metal ve De, dezoksiyon maddesini ifade etmektedir.



Kaynak işleminde, oksijene karşı ilgileri, esas metale karşı olan ilgilerinden daha büyük olan elemanlar şiddetle yanarlar. Buda, kaynak metalinin sonra yeniden alaşımlandırılmasını gerekli kılar. Böyle elemanlar, esas itibarıyla esas metal için dezoksidasyon maddesi olarak vazife görebilirler. Bir taraftan metali dezokside etmek, diğer taraftan onu yeniden alaşımlandırmak vazifeleri onların karakterlerine göre birbirlerinin zıttıdır ve esas metal ile ilave edilen eleman arasındaki tek reaksiyonu iki yönlü (tersinir) yaparlar. Birinci durumda, esas metali redükleyerek ilave edilen eleman okside dönüştürülmek istenir, ikinci durumda ise, ilave edilmiş eleman oksitlenmiş halde muhafaza edilir (tersine reaksiyon).

Dezoksidasyon maddesi olarak daha çok oksijene karşı olan afinitesi, yalnız esas metale değil, alaşım elemanına da ilgisinden daha yüksek olan herhangi bir başka eleman seçilmelidir. Bu alaşım işleminin oluşumunu kolaylaştırır. Bütün bu alınan tedbirlere nazaran, alaşım elemanı yine de oksitlenir

Sayısal değer, alaşım elemanının oksijene karşı olan kimyasal afinitesinde, kaynak işlemi şartlarına ve diğerlerine bağlıdır. Bir alaşım elemanının oksijene karşı afinitesi ne kadar yüksekse, bu elemanın alaşım oranı o kadar küçük olur. Deoksidasyon maddesinin afinitesi ne kadar yüksek ise (veya kompleks dezoksidasyonlar halinde ne kadar fazla dezoksidasyon elemanı seçilmiş ise), bu elemanın alaşım oranı o kadar yüksek olur.

Dezoksidasyon maddesi olarak oksijene afinitesi, alaşım elemanına afinitesinden daha az olan bir elemanın da seçilebileceğine işaret etmek gerekir. Bununla beraber burada dezoksidasyon elemanının tesir kuvveti ve alaşım oranı dūřurulur.

Kaynak metalinin yeniden alaşımlanması, oksijene karşı afinitesi, alaşım elemanlarına karşı afinitesinden daha dūřuk olan elemanlarla çok daha kolaydır. Örneđin, eliđin bakır veya nikelde alaşımlandırılmasında olduğu gibi. Esas metal, bu elemanlar için dezoksidasyon maddesi olarak iře yarar ve onları dezoksidasyondan korur. Bu elemanların alaşım oranı, pratik olarak bir değerine yaklaşır.

Dezoksidasyon ve alaşım elemanları kaynak metaline, kaynak elektrotunun örtüsüne veya toz altı kaynağında kaynak tozuna katılarak verilir. Alaşım oranı ve dezoksidasyon elemanının tesiri, bunların kaynak metalinin içerisine katıldıkları zaman, elektrot örtüsüne katıldıkları zamankinden biraz daha yüksektir.

Bununla beraber, lüzumlu alaşım oranını kapsayan kaynak metalinin sağlanması, genellikle zorluklar doğurur. Alaşım ve dezoksidasyon maddelerini elektrot örtüsüne katmak pratik olarak daha kolaydır. Bu elemanlar ya saf halde yada uygun denemelerden sonra örtünün bileşimi içerisine katılan ferro alaşımları şeklinde kullanılırlar. Oksijene afiniteleri esas metale karşı afinitelerinden daha kuk olan elemanlar (rneğin, çeliğin kaynağında bakır ve nikel gibi) rtü içerisinde oksitler halinde bile ilave edilebilirler. Esas metalin ve dezoksidasyon maddesinin tesiriyle, bu metaller oksitlerden kolayca redüklenir ve kaynak metaline geçer.

Çizelge 3.15'teki 8 ile 12 arasındaki reaksiyonlarda demir, manganez, silisyum ve fosforun, karbon tarafından redlendiklerini görülmektedir. Bu reaksiyonlarda meydana yeni bir gaz fazı (karbonmonoksit) gelmekte ve metalin kuvvetle kaynaması ve püskürmesi işlemine refakat etmektedir. Karbonun yanması esnasında sıcaklık dūřer. Zira bütün dezoksidasyon reaksiyonları, karbon vasıtasıyla endoterm olarak ısı çekmesi altında cereyan eder. Sıcaklık azalması ve karbon oranının dūřmesi nedeniyle yanma hızı yavaşlar. Buna uygun olarak arka arkaya alüminyum, titan, silisyum ve en son pozitif ısı yayınması ile cereyan eden krom ve manganezin yanma reaksiyonlarının hızları yükselir. Bu olaylar sıvı metalin soğuması biraz ayarlanır. Bu da dezoksidasyon işlemi üzerine faydalı etkide bulunur.

Metallerin ve oksitlerin özgül ağırlıklarının farklı olması nedeniyle, yoğunluğu düşük olan bileşikler zamanla yükselir ve cüruf tabakası içerisine ulaşır. Bununla beraber metalin sıvı halde kalma süresi çok az ise, oksitlerin bir kısmı metal içerisinde, metal olmayan karışıklıklar (artıklar) halinde kalır ve kaynak metali katılaştırırken de cüruf halinde, arı halden uzaklaşmış olur.

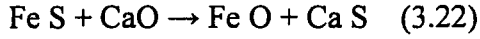
Kaynak metalini, kaynak işlemleri sırasındaki zararlı kalıntılardan, bilhassa fosfor ve kükürttten temizlemek gereklidir. Çünkü kükürt (S) ve fosfor (P) istenmeyen elementlerdir. Kaynak dikişinde sıcak çatlaklar oluşmasına neden olurlar. Bunu da kaynak metalinde blok segregasyonlar oluşturarak gerçekleştirirler. Segregasyon basit olarak, bileşimden sapma ve belirli bölgelerde toplanmalardır. Birbiri içerisinde çözünen iki faz katılaştırırken iki sıcaklık arasında katılaşırlar (ötektik alaşımlar hariç). Ergime sıcaklığı yüksek olan alaşım(A) ilk olarak katılaştır. Ergime sıcaklığı düşük olan alaşım(B) ise daha sonra katılaştacaktır. Kalıp içerisinde bu şekilde katılaştıran iki alaşım düşünürsek ilk olarak ergime sıcaklığı yüksek olan A alaşımını kalıbın kenarlarından başlayarak içeriye doğru katılaştırmaya devam eder. Bu sebeple kalıbın kenarları B bakımından fakirdir. Ortalarda meydana gelen son taneler ise sonradan katılaştıran B bakımından zengindir (Boggerud ,1966). Bu sebepten dolayı 1400 °C' de oluşan karbon taneleri demir-karbon alaşımını kenarlarında katılaştırmaya başlar. Ergime sıcaklığı daha düşük olan FeS (988 °C'de ergir) ve Fe<sub>3</sub>P (1100 °C'de ergir) bileşikleri iç taraflarda sıvı halde bulunurlar. Bu nedenle orta kısımlar FeS ve Fe<sub>3</sub>P bakımından zenginleşir. Yukarıda sayılan nedenlerden ötürü kaynak metalinde % P ve S <0,025 olması istenir.



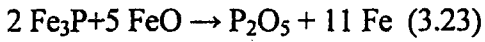
Şekil 3.24 Kaynak metalinin iç kısımlarda FeS ve Fe<sub>3</sub>P oluşumu

Kükürt demirle birleşerek, demirin mekanik özelliklerini önemli derecede kötüleştirir. Manganezin etkisiyle demir sülfür Çizelge 3.15'teki 4 numaralı reaksiyona göre manganer sülfüre dönüştürülür. Manganer-sülfür, demirde çözülemeyen bir bileşiktir. Bu bileşik kısmen cürufa karışır kısmen de metal içerisinde kalıntı halinde kalır. Metalürjik işlemlerde

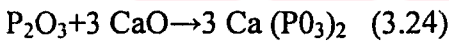
manganez yalnız deoksidasyon maddesi olarak değil bunun yanında kükürtle birleşerek onu bağlayan bir eleman olarak önemlidir. Kükürdün cürufa karışması (3.22) no'lu reaksiyon ile gerçekleşir;



Fosforun giderilmesi ise çok zordur. Oksijenle birleşme suretiyle fosfor, (3.23) no'lu reaksiyon ile fosforasit anhidritine dönüştürülebilir. Bununla beraber bu reaksiyon yalnız alçak sıcaklıklarda ve çok yavaş cereyan eder. Fosfor sadece kuvvetli bazik karakterli bir cürufun mevcudiyeti halinde bertaraf edilebilir. Asit karakterli cüruf halinde bu mümkün değildir. Zira cüruf içerisinde bulunan az miktardaki bazlar, asit karakterli oksitler tarafından, (örneğin,  $\text{SiO}_2$ ) bağlanır.



Serbest kalan  $\text{P}_2\text{O}_3$  daha kuvvetli dezoksidasyon maddelerinin etkisi ile parçalanır ve fosfor oksitten, örneğin 3.15'teki 12 numaralı reaksiyona göre redüklenir veya (3.24) no'lu reaksiyonla cürufa karışır. Metalden fosforun bertaraf edilmesini temin etmeyen asit karakterli cürufları meydana getiren elektrot örtülerinin kullanılması halinde, bilhassa başlangıç maddelerinin safiyet derecesine gök dikkat edilmelidir. Örtü içerisinde bulunan fazla miktardaki zararlı karışımları içeren bileşenler müsaade edilmez.



Çizelge 3.17 Karışık bileşiklerin en önemli oluşum reaksiyonları ait örnekler (Anık, 1973)

Reaksiyon Numarası	Reaksiyonlar	Yayınan ısı (cal)
1	$4\text{CaO} + \text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow (\text{CaO})_4\text{P}_2\text{O}_5$	+196500
2	$4\text{CaO} + \text{P}_2\text{O}_5 \leftrightarrow (\text{CaO})_4\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{FeO}$	+108340
3	$3\text{FeO} + \text{P}_2\text{O}_5 \leftrightarrow (\text{FeO})_3 \text{P}_2\text{O}_5$	+52360
4	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	+ 4600
5	$2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \leftrightarrow (\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$	+28300
6	$2\text{FeO} + \text{SiO}_2 \leftrightarrow (\text{FeO})_2 \cdot \text{SiO}_2$	+22236
7	$\text{FeO} + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	+10600

Reaksiyon Numarası	Reaksiyonlar	Yayınan ısı (cal)
8	$MnO + SiO_2 \leftrightarrow MnO \cdot SiO_2$	+ 6500
9	$CaO + FeS \leftrightarrow CaS + FeO$	+5673
10	$CaO + MnS \leftrightarrow CaS + MnO$	-13434
11	$2CaF_2 + 3SiO_2 \leftrightarrow 2CaO \cdot SiO_2 + SiF_4$	- 80700
12	$2CaF_2 + SiO_2 \leftrightarrow 2CaO + SiF_4$	-122800

### 3.4 Kullanılan Koruyucu Gazlar , Tozlar ve Elektrot Örtüsü Türleri

Elektrik arkıyla yapılan ergitme kaynaklarında kaynak bölgesini havanın zararlı etkilerinden korumak, başarılı bir kaynak dikişi elde etmek için önem taşımaktadır. Ark oluşumu sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonların kaynak bölgesine zarar vermemesi için elektrot ile yapılan ark kaynağında elektrot örtü maddesi, toz altı kaynağı ile yapılan kaynakta koruyucu toz, koruyucu gaz ile yapılan kaynakta ise gaz, kaynak banyosunu havanın zararlı etkilerinden koruyarak görevlerini yerine getirirler. Kaynak işlemlerinde kullanılan elektrot örtü maddesi kaynak bölgesini hangi şartlarda koruyorsa, koruyucu gaz da aynı şartlar altında kaynak bölgesini korumak amacıyla geliştirilmiştir. Elektrot seçiminde göz önüne alınması gereken kriterler kaynak edilecek malzeme ile nasıl ilişkiyse, koruyucu gaz kaynağında da aynı ilişki söz konusudur. Çünkü koruyucu gaz kaynak banyosunu ve çevresindeki bölgeyi direkt olarak etkilemektedir.

#### 3.4.1 Kullanılan Koruyucu Gazlar

Koruyucu gazların ihtiyaç nedeni kaynak havuzunun havadan korunmasıdır. Burada düşünülen hata koruyucu gazın sadece metelsel banyoyu koruyan bir atmosfer olarak düşünülmesinden kaynaklanmaktadır. Gerçekte gaz, koruyucu özelliğinin dışında arkın kararlılığı, kaynağın dolgu biçimini, dikişin mekanik özelliklerini ve işlemin verimliliğine etki etmektedir.

Koruyucu gazlar gaz altı kaynak yöntemlerinde (TIG, MAG, MIG ) görev almaktadır. Temel olarak koruyucu gazlar Nötr gazlar ve Aktif gazlar olarak iki gruba ayrılır. Nötr gazlar Helyum ve Argon , Aktif Gazlar Karbondioksit, Oksijen ve Hidrojendir. Oksijen ve Hidrojendir aktif gaz olmalarına rağmen kaynak metalindeki kötü etkilerinden dolayı direkt

olarak kullanılmamaktadırlar. Sadece diğer gazlarla belli özelliklerinden yararlanılarak küçük miktarlarda karıştırılarak koruyucu gaz olarak kullanılırlar.

Genelde asal gazlar reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar ve aktif-asal gaz karışımları, çeşitli türdeki çeliklerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlardır. Bu nedenle koruyucu gaz seçiminde dikkat edilmesi gerekir. Koruyucu gaz seçimini etkileyen faktörler şunlardır :

- Kaynatılan metalin türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Gaz maliyeti ve gazın kolay bulunurluğu,
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler

olarak özetlenebilir. Bazı gaz grupları kaynak için uygun koşulları taşımalarına rağmen uygulamada kullanılması mümkün olmamaktadır. Bunlardan en önemlisi helyumdur. Helyum gerek TIG, gerekse MIG kaynağı için en çok önerilebilecek gazlardan olmasına rağmen Türkiye ve Avrupa ülkelerinde üretimi pahalıya mal olduğu için kullanılması ekonomik olmayan bir gazdır. Bu gaz kaynak araştırmalarının geliştirildiği Amerika Birleşik Devletlerinde doğal olarak bulunduğu için, kullanım maliyeti söz konusu ülkede düşüktür ve kaynak literatürlerinde sözü hep geçen bir gazdır.

Çizelge 3.18 Koruyucu Gazların Fiziksel Özellikleri (Suban, vd..2001)

Koruyucu Gaz Türü	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	İyonizasyon Enerjisi (eV) <sup>c</sup>	Kimyasal Aktivitesi
Hidrojen ( H <sub>2</sub> )	0,085	13,59	Redükleyici
Argon ( Ar )	1,669	15,76	Nötr
Nitrojen ( N <sub>2</sub> )	1,170	14,55	Aktif
Karbondioksit ( CO <sub>2</sub> )	1,849	5,08	Oksitleyici
Oksijen ( O <sub>2</sub> )	1,337	13,62	Oksitleyici
Helyum ( He )	0,167	24,56	Nötr

### 3.4.1.1 Helyum

Helyum ikinci en hafif gazdır. İnerit bir gazdır. Kokusu rengi yoktur. Helyumun iyonizasyon enerjisi yüksektir (24,5 eV). Dolayısıyla da uzun bir ark boyuna ihtiyaç gösterir. Bu da ark gerilimini yükseltir. Bunun neticesinde de kaynak enerjisi yani ısı girdisi artar. Kaynak yerine verilen ısı miktarının yükselmesi, dikişin oluşumuna ve kaynak sırasındaki davranışına tesir eder. Etkileri şunlardır;

- Dikiş genişler.
- Ön tavlama gerektirmez veya çok az miktarda uygulanır.
- Kaynak hızı yükselir.
- Sıcak ve iyi gaz alınmış bir kaynak banyosu elde edilir.
- Kaynak arkı sakin değildir.
- Havadan hafif olduğu için, gaz sarfiyatı fazladır. Fakat hafif oluşu tavan pozisyonunda avantaj sağlar.
- Isıl iletkenliği yüksek olduğu için derin nüfuziyetli kaynaklar elde etmek mümkündür.

### 3.4.1.2 Argon

Helyum gibi inerte bir gazdır. Kokusu rengi yoktur. Argon, helyuma nazaran daha düşük bir iyonizasyon enerjisine sahiptir. (15,7 eV). Bu nedenle kolayca bir plazma meydana getirir. Ark stabil ve sakin yanar, iyi bir elektrik iletkenliğe sahiptir. Isıl iletkenliği kötüdür. Tipik argon parmağı şeklinde nüfuziyet sağlar, ark gerilimi düşük olduğu için ısı girdisi azdır. Argon, helyuma nazaran 10 kat daha ağırdır ( $Ar = 1,669 \text{ kg/m}^3$ ,  $He = 0,167 \text{ kg/m}^3$ ). Fakat argon, havadan da ağır olduğu için kaynak yerini daha iyi korur ve sarfiyatı da helyumdan çok daha azdır. Alüminyum ve bakır kaynağında başarılı sonuçlar doğuran argon gazı, çelik ve alaşımlarında başka gazlar ile karıştırılarak kullanıldığında sonuç alınması mümkündür. Karışımli olarak kullanıldığında karışımli gaz adını alır. Argon gazının kaynak bölgesi üzerindeki etkilerini şunlardır;

- Kaynak dikişlerinde nüfuziyeti, dikiş merkezlerinde derin, kenarlarında azdır.
- Isıl iletim kabiliyeti azdır.
- Gaz içerisinde oluşan ark gerilimi diğer gazlara nazaran daha düşüktür.
- Ark sütünü daha geniş ve sıcaklığı dış kısımlarda düşüktür.

### 3.4.1.3 Karbondioksit

Karbondioksit renksiz, kokusuz ve özgül ağırlığı  $1,849 \text{ kg/m}^3$  olan bir gazdır. Havadan 1,5 misli daha ağırdır. Basıncılı tüplerde kullanılır. Karbonun yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit, endüstriyel çapta, yanıcı gazların akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, amonyak üretimi ve fermantasyonunda da yan ürün olarak elde edilir.

Karbondioksit, argon gibi mono atomik elementer bir gaz olmadığından, arkın yüksek sıcaklığında karbon monoksit ve oksijene ayrışır. Serbest kalan oksijen kaynak banyosundaki elementlerle birleşir; ark sütunu içinde iyonize olan gaz kaynak banyosuna doğru gelir ve bir miktarı tekrar karbondioksit haline geçer ve dolayısı ile ayrışma esnasında almış olduğu ısıyı verir ve bu da dikişte nüfuziyetin artmasına neden olur. Banyo içinde demiroksit ayrıca mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Mangan ve silisyum kaybı kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için üretilmiş teller yönteminde kullanılamaz. MAG kaynağında, kaynak işlemi esnasında bir miktar alaşım elementi oksidasyonla kaybolduğundan , dikişin üzerinde çok ince bir cüruf tabakası oluşur.

### 3.4.1.4 Karışım Gazlar

Ark atmosferinin karakteri, kullanılan çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir. Helyum ve Argon karışımları koruyucu gaz olarak sahip oldukları özelliklerini karışım oranına göre gösterirler. Argon gazına  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  ve  $\text{N}_2$  çeşitli oranlarda ilave ederek karışım gazlar elde edilir.

Argon, helyum gibi asal gazların oluşturdukları ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılmasıyla ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırılabilir. Hidrojen gazının karıştırılması halinde redükleyici bir gaz atmosferi oluşur. Argon gazına çok az bir miktardaki Hidrojen ilavesi ark gerilimini dolayısıyla da ısı girdisini yükseltir. % 5 Hidrojen ve Argon gazı karışımı nikel ve nikel alaşımlarında % 25 Hidrojenle karıştırılmış Argon gazı ise özellikle ısı iletimi yüksek bakır kalın parçaların kaynağında kullanılır. Argon'a oksijen veya karbondioksit gazlarının karıştırılması ile oluşan ekzotermik bir reaksiyon sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin (Sprey ark) oluşmasına yardımcı olur. Oksijenin, oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir afinitesi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir. Çeliğin MIG kaynağında

argon gazına oksijen ve karbondioksit karıştırılmaktadır. Böylece oksijen kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, eriyen elektrot telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatmakta ve ince taneli bir metal geçişi sağlamaktadır.

Bazı ülkelerde TIG kaynağında saf nitrojen gazı koruyucu olarak kullanılmaktadır. Fakat sonuçlar arzulanan kaynak kalitesini sağlayamaz. Nitrojene % 50- 75 arası argon ekleyerek daha iyi bir kaynak kalitesi elde etmek mümkün olmaktadır. Günümüzde artık üç gaz karışımının kullanımı giderek artmaktadır. Bazen Argon , Oksijen ve Karbondioksit bazen de Argon , Helyum ve Karbondioksit kullanılmaktadır. Üçlü karışımlar sayesinde ark gerilimi ve ergime oranları arttırılmaktadır. (Leonard,1987-1991)

### **3.4.2 Koruyucu Gazların Kaynak Metalinin Kimyasal Bileşimine Etkisi**

Koruyucu gazlar kaynak metalinin kimyasal bileşimine aşağıdaki özelliklerinden dolayı etki ederler. Bu özellikler :

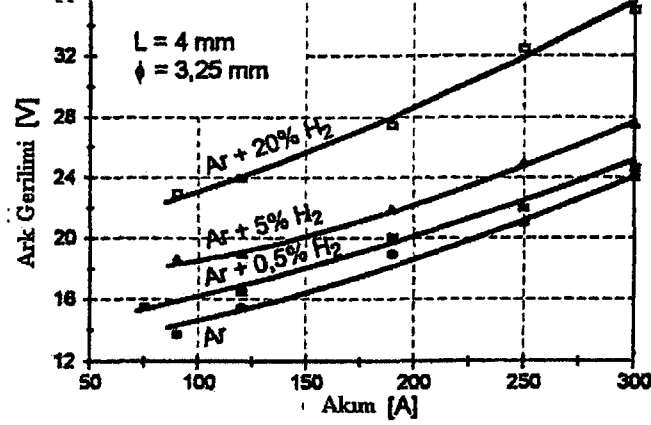
- Koruyucu gazın iyonizasyon enerjisi
- Koruyucu gazın ısı iletim katsayısı
- Koruyucu gazın yoğunluğudur.

#### **3.4.2.1 Koruyucu Gazın İyonizasyon Enerjisi**

Koruyucu gazlar ısı girdisini değiştirerek kaynak metalinin ergime oranını değiştirir. Bunu ark gerilimini yükselterek sağlar. Kaynak işleminde arkın meydana gelebilmesi için gazın iyonize olması gerekir. Bu nedenle enerji ihtiyacı iyonizasyon enerjilerine göre değişir. Gazlar içersinde iyonizasyon enerjisi en yüksek gaz Helyum gazıdır. Gazların iyonizasyon enerjilerinin artması kaynak arkının geriliminin artmasına sebep olur. Bu sayede elde edilen ısı miktarı artar, ergime oranı değiştirilir.

Deney amaçlı gerçekleştirilen bir çalışmalarda, koruyucu gaz olarak kullanılan gazlardan Argon-Hidrojen gazı karışımının kullanıldığı TIG kaynağında arkın statik karakteristiğinin değiştiği görülmüştür. Deneylerde argon içindeki hidrojen gazı miktarı arttıkça arkın statik gerilimindeki artış daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni hidrojen gazının ısı iletim katsayısının argonunkinden çok daha yüksek olmasıdır. Karışımdaki hidrojen gazı miktarı arttıkça karışımın ısı iletim katsayısı büyür. Bu nedenle ark gerilimi artar (çizelge 3.19) (Suban,vd..2001).

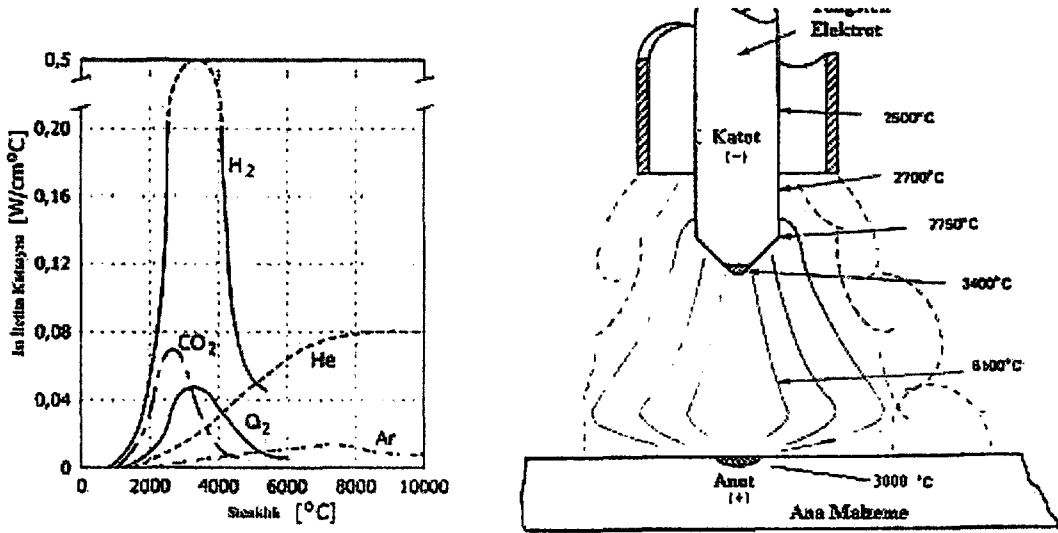
Çizelge 3.19 Arkın statik karakteristiğinin karışımdaki hidrojen gazının artışına göre değişimi(Suban,vd..2001)



### 3.4.2.2 Koruyucu Gazın Isı İletim Katsayısı

Argon gazına hidrojen ilavesi ile kaynak geriliminin artışı çizelge 3.20'de görülmektedir. Bu gerilim artışının nedeninin hidrojen gazının ısı iletim katsayısının argonunkinden yüksek olmasıdır. Çizelge 3.20'de verilen grafikte de koruyucu gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletim katsayılarındaki değişim ve şekil 3.25'te TIG kaynağındaki bölgelerin sıcaklıkları görülmektedir.

Çizelge 3.20 Sıcaklığa bağlı olarak koruyucu gazların ısı iletim katsayılarının değişimi (Suban,vd..2001)



Şekil 3.25 TIG kaynağında kaynak bölgesindeki sıcaklık değişimleri (Cary,1980)

Çizelge 3.20 ve şekil 3.25'teki kaynak bölgesindeki sıcaklıklara göre ısı iletim katsayısı en

yüksek olan gaz hidrojen gazıdır. TIG kaynağında anottun sıcaklığı da yaklaşık 3000 °C'tır. Bu sıcaklıkta hidrojenin ısı iletim katsayısı en büyük değerdedir. Diğer gazlardan helyumun ısı iletim katsayısı 6000 °C 'sıcaklıktan sonra hidrojeni geçmekte fakat kaynak işlemi bu sıcaklıktan çok daha düşük sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Helyumun ısı iletim katsayısı argonunkinden daha yüksek olduğundan ark gerilimi de argon gazının ark geriliminden yüksektir.

Koruyucu gazın ısı iletim katsayısı aynı akım yoğunluğu gibi kaynak bölgesine etki etmektedir. Gazın ısı iletim katsayısı arttığında ark huzmesinin çapı daralmakta ve aynı akım yoğunluğu gibi etki ederek arkın gerilimini yükseltir. Buda nüfuziyeti arttırarak kaynak metalinin kimyasal bileşimine etki eder. (Suban,vd..2001)

### 3.4.2.3 Koruyucu Gazın Yoğunluğu

Koruyucu gazın yoğunluğu, kaynak metalinin kimyasal bileşimine metelsel banyoyu dış atmosferden koruyarak etki eder. Koruyucu gazın yoğunluğu havaya göre arttıkça kaynak havuzunun üzerinden yer değiştirmesi zorlaşır. Yatayda kaynak işlemi gerçekleştirirken en iyi korumayı malzeme cinsine bağlı olarak karbondioksit gazı sağlar. Ondan sonra argon gazı onu takip etmektedir. Bu işlemlerde hidrojen ve helyumda kullanılabilir fakat yoğunluklarının havadan az olmasından dolayı kaynak metalinin aynı miktardaki karbondioksit ve argona göre iyi koruyamazlar. Aynı korumayı sağlayabilmek için birim zamanda kullanılan gazın miktarı arttırılır. Kötü çalışma koşullarında yani rüzgarlı havalarda yoğunluk arttıkça kaynak havuzu dış ortamdan korunması artmakta ve istenmeyen reaksiyonların gerçekleşmesi engellenir.

Koruyucu gazın seçim kriterlerinden biride kaynak pozisyonudur. Tavan pozisyonlarında kaynak yaparken yoğunluğu havadan hafif hidrojen ve helyum gazları kaynak bölgesini korumakta argon ve karbondioksit gazlarına göre daha iyidir. Fakat ısı girdisine dikkat edilerek hidrojen gazının disosiyasyon olmasına engel olunmalıdır. Ayrıca kapalı ortamlarda kaynak yaparken örnek verirken basınçlı kaplarda helyum gazı kullanımına dikkat edilmelidir. Havadan hafif olduğunda basınçlı kabın üst kısımlarda birikerek insanı zehirleyebilir.

### 3.4.3 Kaynak Tozları

Kaynak işleminde kullanılan kaynak tozları , örtülü elektrotlardaki örtünün görevini üstlenmişlerdir. Kaynak işleminde kaynak tozları ,arkın kararlılığının sağlanması, metelsel banyoyu havanın zararlı etkilerine karşı koruması, istenilen kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi vermesi, görevlerini yerine getirirler.

Kaynak tozlarını üretim metotları ve özellikleri yönlerinden 3 ana grupta toplamak mümkündür ;

- Üretim yöntemlerine göre, ergimiş, aglomere, karışık tozlar( sinterlenmiş),
- Kimyasal bileşimlerine göre, asit,bazik,nötr tozlar
- Viskozitelerine göre, yüksek viskoziteli (çok pasolu kaynaklarda),orta viskoziteli (oluk pozisyonlu birleştirmelerde), düşük viskoziteli tozlar(ince saçların birleştirilmelerinde).

Kullanılan kaynak tozları, ayrıca viskozitelerine bağlı olarak,uygulama amacına göre de adlandırılmaktadır. Bu tanımlamaya göre sınıflandırma aşağıda verilmektedir;

- Yüksek kaynak hızları için kaynak tozları,
- Derin nüfuziyet tozları,
- Aralık doldurma kabiliyetli tozlar,
- İnce saç birleştirmelere yatkın kaynak tozları,
- Dolgu ve kaplama işlemleri için kaynak tozları.

Tozların uygulamalardaki tanımlanmalarında, içerdikleri mangan oksit oranları da bir ölçek olarak kabul edilebilmektedir. Bu yönden ise tozlar,

- Yüksek manganlı tozlar ( % 30-45 mno ).
- Orta seviyede mangan içeren tozlar ( % 14-20 mno ).
- Düşük manganlı tozlar (< % 14 ) olarak üç grupta toplanmaktadır.

Ergitilmiş tozların üretilmesinde genellikle kuvarz, mangan cevheri veya mangan cürufu, dolomit, kalsiyum bileşikleri ve kıl gibi doğal malzemeler ön görülen oranlarda karıştırılarak, bir araya getirilir ve çoğu kez ark ocaklarında 1500-1600 °C'de ergitilir. Ergitmede tane büyüklükleri ve yanma kayıpları göz önünde tutulur.Tozlar, öğütme, kurutma, eleme işlem aşamalarından sonra kullanılabilir duruma gelir.

Sinterlenmiş tozlar üretilirken bu işlemde ön malzemeler ince olarak öğütülür. Karıştırılıp ,topaklar halinde pres edilme sonrası alev ocaklarında 1000-1100 °C 'da sinterlenirler. Öğütme işleminden sonra , elekten geçirilerek uygun tane büyüklüklerine getirilir.

Aglomere tozlar, titan, mangan, kalsiyum, magnezyum bileşikleri ve alaşım elemanları , sinterleme aşamasından sonra ince olarak öğütülür. Karışıma bağlayıcı malzemeler ilave edilir. Kurutulma ve öğütülme aşaması sonu,uygun tane büyüklüğü için elekten geçirilir. Bu

tozlar içinde, bileşiminde bulunan Mn, dikişe alaşımlama yapabilmesi, üretilme yönteminden gelen istenen şartlara uyabilme özelliği ve eş kaynak şartlarında daha az sarfiyata sahip olduklarından, aglomere tozlar kullanılmaya üstünlüğü göstermektedirler.

Kaynak tozları kimyasal bileşimleri ve baziklik ölçeğine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamaya göre kimyasal bileşimdeki sınırlamalar çizelge 3.21 'de verilmiştir.

Çizelge 3.21 Kaynak tozlarının baziklik ölçeğine göre sınıflandırılması(Gültekin,1991)

Kaynak Tozu	Asit	Nötr	Orta Bazik	Yüksek Bazik
<b>Baziklik Ölçeği (B)</b>	≤ 0,9	0,9-1,3	1,3-2,0	> 2,0

Tozların sahip olduğu kimyasal özellikler, özellikle damla hacmi ve frekansına etkilemektedir. Sabit kaynak parametreleri ile en yüksek damla frekansı nötr, en düşük damla frekansı ise yüksek bazik karakterli kaynak tozları kullanılmakla elde edilmektedir. Kaynak tozlarının içerdiği başlıca bazik ve asit karakterli elemanlar aşağıda verilmektedir.

Bazik : BaO, CaO, CaF<sub>2</sub>, FeO, K<sub>2</sub>O, MgO, Na<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>AlF<sub>6</sub>

Asit : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>

Baziklik ölçeği ise Borisçewski 'ye göre (3.25) no'lu eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$B = \frac{N.CaO + N.MgO + N.BaO + N.CaF_2 + N.Na_2O + N.K_2O + 0,5(N.MnO + N.FeO)}{N.SiO_2 + 0,5(N.Al_2O_3 + N.TiO_2 + N.ZrO_2)} \quad (3.25)$$

N : her bir bileşenin relatif mol sayısı  $N . CaO \rightarrow NCaO$

Ni: Ci / Mi

Ci : her bir bileşenin tozdaki yüzdesi

Mi : her bir bileşenin molekül kütlesi

Çizelge 3.22 Kaynak tozlarının bileşimleri ve adları (Gültekin,1991)

İşaret	Bileşim Ana Elamanları	Toz Tipi
<b>MS</b>	MnO+SiO <sub>2</sub> > %50	alüminat
<b>CS</b>	CaO+MgO+SiO <sub>2</sub> > %60	kalsiyum-silikat
<b>AR</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> > %45	alüminat-rutil
<b>AB</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CaO+MgO > %45 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > %20)	alüminat-bazik
<b>FB</b>	CaO+MgO+MnO+CaF <sub>2</sub> > %50 (SiO <sub>2</sub> < %22 , CaF <sub>2</sub> > %15)	f luorid-bazik

Asidik karakterleri kaynak tozları iyi kaynak özelliklerine sahip, cürufu kolay kalkan iyi ark kararlılığına sahip kaynak tozlarıdır. Bu iyi özelliklerinin yanında dezavantajları olarak yapıda inklizyonlar oluşturması nedeniyle yapının darbe tokluğunu düşürür. Bazik karakterli kaynak tozları ise yüksek kaynak karakterleriyle birlikte darbe tokluğu yüksek bağlantılar oluşturur.

Kaynak tozlarının bileşimleri ve adları çizelge 3.22'de gösterilmiştir. MS tozu genel olarak dikişte mangan artması ortaya çıkarır. Bu durum uygun bir kaynak teli kullanılması ile telef edilebilir. CS tozu silisyum artması ortaya çıkarması belirgin özelliğidir. Bu özellik yüksek akım yüklenebilirliği sağlar. Yüksek Si artımlı tozlar çok pasolu işlemlere uygun değildir. AR tozunun belirgin özelliği yüksek kaynak hızlarına uygunluğudur. Art arda karşı pasolu kaynak ve köşe birleştirmelerinde kullanılması uygundur. Çok iyi bir cüruf çözülme özelliğine sahiptir. AB tozları hafif bazik esaslı tozlardır. Genel olarak Mn artması ortaya çıkarır. Dikişlerin çatlama duyarlılığı düşüktür. Çok pasolu kaynağa uygun tozlardır. FB tozları düşük miktarda Si içeren bazik esaslı tozlardır. Oluşturulan dikişlerin tokluk özellikleri yüksek, çatlama duyarlılıkları düşüktür. (Gültekin, 1991)

#### **3.4.3.1 Kaynak Tozlarının Kimyasal Bileşime Etkisi**

Kaynak tozları, aynı koruyucu gaz ve örtülü elektrotlardaki gibi kaynak işleminde görev alır. Bu nedenle oluşan kayıpları karşılamak ve kaynak bölgesini korumak toz altı kaynağında onların görevidir. Bu nedenle işlem üzerine etkileri büyüktür. Kaynak tozlarının kimyasal bileşime etkisi;

- Kaynak tozunun kimyasal bileşimine,
- Kaynak tozunun tane büyüklüğüne,
- Kaynak tozunun yüksekliğine bağlıdır.

##### **3.4.3.1.1 Kaynak Tozunun Cinsi**

Kaynak tozları belirli şartları yerine getirmek üzere geliştirilmektedir. Örneğin, ince sacların kaynağında kullanılacak bir tozun, hızlı kaynak yapan bir özelliğe ve iç köşe dikişlerinin kaynağında kullanılan tozların da gözenek teşekkül etmeyecek bir özelliğe sahip bulunmalar gerekir.

Kaynak tozları kimyasal bileşimlerine göre dört gruba ayrılır. 1.gruptaki tozlar manganezsiz, yüksek miktarda silisyum içeren CS tipi bir toz olup, kalın sacların kaynağında

kullanılır. Kazan ve ağır makina yapımı gibi işlerde 5000 Amper akım şiddetine kadar yüklenebilir. Dikişte Si artması ortaya çıkarması en belirgin özelliğidir. Bu sayede yüksek akım yüklenebilirler. Bu tip tozlar, pislik ve pasa karşı hassastır. Az pasoda gerçekleştirilen kaynak işlemleri için uygundurlar.

Çizelge 3.23 Kaynak tozlarının kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırılması (Anık, vd..2000)

Grubu	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	CaF <sub>2</sub>	Diğerleri
1	50-53	4-15	29-33	9-12	0.6	4	TiO <sub>2</sub>
2	40-46	4	2-10	1	38-40	1	-
3	25-42	21-28	2-13	6	19-30	4	TiO <sub>2</sub>
4	14-15	20-23	11-13	3-10	20-24	8-10	Alkaliler

2.gruptaki tozlar yüksek miktarda manganez ve silisyum içeren MS tipi toz olup, orta akım şiddeti ile yüklenebilir ve çok pasolu kaynaklarda kullanılır. Dikişte Mn artması ortaya çıkarır. Bu tip tozlar, pislik ve pasa karşı pek hassas değildirler.

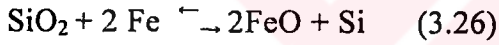
3.gruptaki tozlar grup 2'ye benzer, yalnız fazla miktarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedir. Tipi AR'dir. ince taneli kaynak dikişleri verir.

4. gruptaki tozlar bazik tozlardır. Yüksek mukavemet aranan kaynak bağlantılarında kullanılır. Akım yüklenme kabiliyetleri düşüktür. Mesela doğru akımda 1200 Amper ve alternatif akımda da 1000 Amperdir. Çok pasolu kaynakta iyi bir çentik darbe tokluğu elde edilir. Özellikle zor kaynak edilebilen çelikler için uygundur ve tipi de FB' dir.

Çizelge 3.23'e incelendiğinde, genel olarak kaynak tozlarının büyük bir kısmını SiO<sub>2</sub> teşkil eder ve toza belirli fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırır. Bilhassa tozun yüksek akım şiddetiyle yüklenebilmesini, iyi bir dezoksidasyonu ve cürufun akışını sağlar. Tozun terkiibindeki SiO<sub>2</sub> miktarı, yerine getireceği hususlar nazarı itibara alınarak diğer maddelerle ayarlanır. Tozların terkiibinde bulunan diğer bir önemli madde de, magnezyum oksittir (MnO). MnO bilhassa erimiş tozlarda, dikişin emniyeti bakımından önemli rol oynar. Tozun içeriğindeki MnO miktarı yükseldikçe, akım yüklenebilme kabiliyeti de azalır. Yüksek akım şiddetiyle yüklenen tozlarda hiç MnO bulunmaz. Manganezsiz fakat silisyum miktarı yüksek tozlar, kirli ve pasa karşı çok hassas

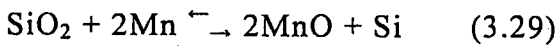
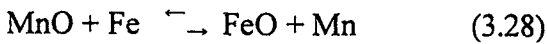
olduğundan, kaynak yapılacak parçaların ağızlarının gayet iyi bir şekilde temizlenmesi gerekir.

Toz altı kaynağında manganezin yanında silisyumun da önemli bir metalurjik tesiri vardır. Silisyum, kaynak esnasında bilhassa kaynak banyosunu dezokside ederek, dikişin gözeneksiz olmasını sağladığından, gazı alınmış bir kaynak banyosu meydana getirir ve böylece fosfor ile kükürt segregasyonunu azaltır. Kaynak esnasında silisyumun redüksiyonu tozdaki SiO<sub>2</sub> miktarına bağlıdır ve tozdaki SiO<sub>2</sub> miktarı arttıkça kaynak dikişinin de silisyum miktarı yükselir. Algomere tozlarda bu husus ferrosilisyumla ayarlanır. Diğer taraftan manganez ile silisyum arasındaki oran, dikişin mekanik özellikleri üzerine büyük bir tesir husule getirir. İlave kaynak metalinin (tel ve toz) seçiminde daima kaynak yerindeki manganezin silisyuma nispetinin en az 2 : 1 olmasına dikkat edilmelidir. Bu nispet 3 : 1'e kadar çıkabilir. Bunun nedeni kaynak metalinde meydana gelen reaksiyonlardır. MnO ihtiva etmeyen yüksek SiO<sub>2</sub> ' li bir kaynak tozunda (3.26) ve (3.27) no'lu reaksiyonlar gerçekleşir;



(3.26) no'lu reaksiyonda, kaynak metali tozdan büyük miktarda silisyumu redükler ve aynı anda (3.27) no'lu reaksiyona göre de kaynak telindeki manganezin oksidasyonu meydana gelir. Bu da, kaynak metalindeki silisyumun artmasına ve manganezin de azalmasına sebep olur. Bu gibi hallerde dikişin manganez miktarını ayarlamak için yüksek manganezli bir tel kullanılmalıdır. MnO ihtiva etmeyen yani genellikle asit karakterli tozları kullanırken, yüksek manganezli tellerin kullanılması gerekir.

MnO ve SiO<sub>2</sub> ' li bir kaynak tozunda (3.28) ve (3.29) no'lu reaksiyonlar gerçekleşir



Tozdaki (MnO), buharlaşan demirle birleşerek ((3.28) no'lu denkleme göre) bir redükleme işlemine tabi tutulur ve böylece tozdan kaynak metaline manganez geçişi olur. Diğer taraftan da (3.29) no'lu reaksiyonda görüldüğü gibi, manganez oksidasyona uğrayarak silisyum serbest kalır ve neticede de kaynak metaline geçer. Sonuç olarak

görülmektedir ki,  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{MnO}$  ihtiva eden kaynak tozunda dikişe geçen silisyum miktarı,  $\text{MnO}$  içermeyen tozdan geçen silisyum miktarının iki katıdır.

Manganez - silisyum nispetinin bilhassa çok pasolu kaynakta önemi büyüktür. Örnek olarak, asit karakterli bir kaynak tozunun kullanılması halinde, kaynak metalinin silisyum miktarı artacağından arzu edilen manganez - silisyum oranı değişir ve bunun neticesi olarak da dikisin mukavemeti artar ve şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Kaynak metalindeki manganez miktarının yükselmesi de dikişin mukavemetini artırır. Manganezin silisyuma nispeti uygun sınırlar dahilinde olmadığı takdirde, gerilme çatlaklarının oluşma ihtimali tehlikesi artar. (Polat,1997)

Kaynak metaline tozdan manganez ve silisyumun geçişine arktaki reaksiyonlar tesir eder. Arktaki reaksiyonlar büyük çapta çalışma tekniğiyle ilgilidir. Akım şiddeti, ark gerilimi, kaynak hızı, tel çapı ve kaynak ağza açısı gibi önemli faktörler, manganez ve silisyumun tozdan kaynak metaline geçişine etki eder.

Akım şiddeti yükseldikçe manganez ve silisyumun yanma miktarı artacağından kaynak metalinde manganez ve silisyumun oranı azalır. Ark gerilimi artınca metalsel banyo büyür ve daha çok toz reaksiyona girer ve bu sayede alışılmama derecesi artar. Kaynak telinin çapının artmasıyla metalsel banyo büyür, ergiyen toz miktarı artar ve manganez ve silisyumun oranı artar.

#### **3.4.3.1.2 Kaynak Tozunun Tane Büyüklüğü**

Erimiş tozların, aglomere ve sinterlenmiş tozlardan bir farkı da bunların çeşitli tane büyüklüklerinde imal edilmiş olmalarıdır. Hemen hemen bütün kaynak şartlarını aynı tane büyüklüğündeki tozlar gerçekleştirmektedir.

Kaynak esnasında çıkan gazların, kaynak metali katılaştırmadan evvel dikişi terk etmeleri gerekir. Aksi takdirde dikişte kalan gazlar gözeneklere bazen de çatlaklara sebebiyet verebilir. Gazların kaynak metalinden tamamen çıkmasına tesir eden önemli faktörlerden biri de tozun tane büyüklüğüdür. Tozun taneleri incelidikçe gazların çıkış kabiliyeti de azalır. Diğer taraftan tane büyüklüğü akım şiddeti ve kaynak hızıyla da sıkı sıkıya ilgilidir. Kaynak hızının yükselmesi halinde orta veya iri taneli bir tozun kullanılması faydalıdır. Zira hızlı yapılan kaynakta eriyen banyo küçük olup, çabuk katılaşacağından gazların da çok kısa zaman zarfında dikişi terk etmeleri gerekir. Buda ancak kullanılan tozun tanesi büyüyünce sağlanabilir. (Anık,1972)

### 3.4.3.1.3 Yığılan Kaynak Tozunun Yüksekliği

Kaynak yaparken yığılan (akan) tozun yüksekliği, arkı tam örtecek şekilde ayarlanır. Eğer arkın kıvılcımları ve ultraviyole ışınlar etraflarını rahatsız edecek şekilde dışarı çıkarsa, yığılan tozun yüksekliği azdır. Neticede de dikiş gözenekli olur. Tozun yüksekliği fazla olduğunda da dikisten çıkan gazlar kolayca dışarıya atılamaz ve dikişte gözenekler hasıl olur. (Anık,1972)

### 3.4.4 Elektrot Örtüleri

Örtülü çubuk elektrotlarda, arkın oluşumunu, kararlılığını ve de elektrotun ergime özelliklerini etkileyen en önemli faktör örtünün kimyasal bileşimidir. Elektrotlar, örtü yapısına ve doğru akım kaynağında takıldıkları kutba bağlı olarak değişik ergime özellikleri göstermektedirler. Temel olarak elektrot çekirdeğinin kimyasal yapısı aynı kalmasına rağmen elektrot örtüsünün kimyasal bileşimi değiştirilerek elektrotların kullanım koşulları değiştirilmektedir. Bu nedenle elektrot örtüsü kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu etkilemektedir.

#### 3.4.4.1 Rutil Karakterli Örtüler

Rutil karakterli elektrotların örtüsünün büyük kısmını, titandioksit teşkil eder. Titandioksidin örtüdeki oranı yaklaşık % 35'tir. Örtü kalınlığı ince, orta ve kalın tipte olabilir. Örtü kalınlığı arttıkça, dikişin kalitesi iyileşir. Rutil karakterli örtünün kaynaktan sonra meydana gelen cürufunun rengi kahverenginden siyaha kadar değişir. Cüruf çabuk katılaşır ve kaynaktan sonra dikiş üzerinden kolayca kalkar. Bu elektrotlarla hem doğru (elektrot negatif kutupta), hem de alternatif akımda kaynak yapılabilir. Tutuşturulmaları kolay olup, yumuşak bir ark ile sakin bir çalışma sağlarlar ve sıçrama kayıpları azdır. Acemi bir kaynakçı bile, kolayca kullanabilir.

#### 3.4.4.2 Asit Karakterli Örtüler

Asit karakterli elektrotların örtülerinde daha çok, demir oksit ve mangan bulunur. Genellikle kalın örtülü olarak imal edilirler. Asit karakterli elektrotların cüruflarının tersinden görünüşü bir arı peteğini andırır ve dikiliş üzerinden kolayca kalkar. Bu elektrotlar, çabuk akan düz dikişler verir ve dikey pozisyonda yukarıdan aşağıya doğru kaynaklardan başka, her pozisyon için uygundur. Hem doğru hem de alternatif akım ile kullanılabilir. Bu elektrotların aralık doldurma kabiliyetleri iyi olmadığından, kaynak ağzlarının çok iyi hazırlanması ve parçaların birbirine uyması gerekir.

### 3.4.4.3 Oksit Karakterli Örtüler

Oksit karakterli elektrotların örtülerinin %60'lık kısmını, demiroksit ( $Fe_2O_3 + Fe_3O_4$ ) oluşturur. Kalın örtülü olarak imal edilirler ve kaynak esnasında metal geçişi, duş akışı biçimindedir. Oksit karakterli elektrotlar düz görünüşlü, ince dikişler verirler. Yalnız düşük karbonlu ve alaşımsız çeliklerin oluk pozisyonundaki kaynaklarında kullanılırlar. Aralık doldurma kabiliyetleri kötü olduğundan, birleştirilecek parçaların birbirlerine iyice uymaları gerekir. Bu elektrotlarla yapılan dikişlerin sıcak çatlama meyilleri daha fazladır.

### 3.4.4.4 Bazik Karakterli Örtüler

Bazik karakterli elektrotların örtülerinin büyük bölümünü kalsiyum, kalsiyum florür ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları teşkil eder. Genellikle kalın örtülü olarak imal edilirler. Cüruflarının kalkması, diğer elektrotlara nazaran daha zordur. Bazik elektrotlarla çoğunlukla, doğru akımda pozitif kutba bağlanarak veya alternatif akımla kaynak yapılır. Bütün kaynak pozisyonları için uygun olup, iyi bir aralık doldurma kabiliyetleri vardır. Bazik elektrotlarla, sünekliği diğer elektrotlara göre yüksek olan dikişler elde edilir. Bilhassa  $0^{\circ}C$ ' nin altında süneklikleri iyidir. Bu elektrotlar, bileşimi bilinmeyen karbonlu ve hafif alaşımlı çeliklerin her türlü kaynak birleştirmelerinde, yüksek karbonlu, fosforlu ve azotlu çeliklerin kaynağında, çatlama hassasiyeti bakımından kalın kesitlerin (50 mm' den yukarı) güvenilir kaynak işlerinde, tamamen rijit konstrüksiyonlar da, yüksek karbonlu çeliklerin düşük karbonlu çeliklere birleştirilmesinde,  $0^{\circ}C$ 'nin altındaki sıcaklıklarda çalışacak konstrüksiyonlar da , dinamik zorlamalara maruz konstrüksiyonlar da kullanılmaktadır. Bazik elektrotların örtüleri nem çekici olduğundan, kuru yerlerde depolanmalıdırlar. Rutubetli elektrotların kaynaktan önce  $250^{\circ}C$ ' de en az yarım saat kurutulmaları gerekir. Aksi takdirde, dikişte gözenekler meydana gelir ve çatlaklar olabilir.

### 3.4.4.5 Selülozik Karakterli Örtüler

Selülozik karakterli elektrotların örtülerinde, yandıkları zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Çoğunlukla kalın örtülü olarak imal edilirler. Dikiş üzerinde çok az cüruf meydana getirirler, sıçrama kayıpları yüksektir. Doğru akımda (pozitif kutba bağlanarak) veya alternatif akımda kullanılabilir. Her pozisyonundaki kaynaktan, bilhassa yukarıdan aşağıya doğru dikişlerde kullanılabilir. Aralık doldurma kabiliyetleri yüksektir.

#### 3.4.4.6 Özel Tip Örtüler

Bu tip elektrotlar dışında özel tip elektrotlar vardır. Bu tip elektrotların içerisine, derin nüfuziyet elektrotları ve demir tozlu elektrotlar girmektedir. Derin nüfuziyet elektrotları ile; iki taraftan birer paso çekilerek saçlara ağız açmadan, alın kaynağı yapmak mümkündür. Her bir taraftan çekilen pasonun saç kalınlığının yarısını kaynak etmesi gerekir. Böylece ağız açma masrafı ortadan kalkmış olur. Bu elektrotlar kalın örtülü olarak imal edilirler. Demir tozlu elektrotların örtülerinin büyük kısmını, demir tozu teşkil eder. Bu tür elektrotlarla yapılan kaynak metali tartılırsa, ağırlığının elektrotun çekirdek telinin ağırlığından fazla olduğu görülür. Çünkü örtüyü teşkil eden demir tozu da eriyerek, dikişe karışarak bu fazlalık meydana getirmektedir. Bu sebepten bu elektrotlara, yüksek verimli elektrotlar da denir. (Tusek,J.vd.,2003)

#### 3.4.4.7 Örtü Bileşenlerinin Ark ve Ergime Özelliklerine Etkisi

Elektrot örtüsünden, koruyucu gaz, cüruf oluşumu, dezoksidasyon, alaşımlama gibi metalürjik olayları sağlaması beklenir. Böylece kaynak dikişlerinde ön görülen özelliklerin sağlanması mümkün olur. Bu durum, ancak ergiyik metali atmosfer etkilerinden korumakla gerçekleşebilir.

Elektrik ark kaynağında ulaşılan yüksek sıcaklık nedeni ile, azot , oksijen ve hidrojen gazları kaynak bölgesinde dissosiyeye olurlar. Dolayısıyla ergiyen metalde difüzyon hızları ve çözülebilme özellikleride artmaktadır. Atmosferde bulunan bu gazların,çelikte sıcaklığa bağlı olarak çözülmeleri, katılaşma aşamasında ani olarak azalmakta, bu durum ise kaynak dikişlerinde azot , hidrojen ve karbon monoksit gözeneklerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu gazların gözenek oluşumu dışında, metalürjik yönden başka etkileri de bulunduğu bilinmektedir. Bu sorunlara karşı, ark atmosferi ve kaynak bölgesinde,gaz ve cüruf oluşturularak,bu bölgelerin korunması gerekmektedir. Çizelge 3.24’de elektrot örtüsünde bulunan maddeler gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her bir maddenin kaynak işleminde bir veya birden çok görev üstlendiği görülmektedir. Temel olarak hepsinin arkı kararlı kılmaktır. Bunun nedeni ark kararlı olmadığında kaynak işleminin istenildiği gibi gerçekleştirilememesidir. Cüruf oluşturmadaki amaç istenilmeyen bazı maddelerin cüruf oluşturucularda yüzeyde toplanması ve bu sayede kaynak metalinin iç yapısından uzaklaştırılması, ayrıca kaynak metali üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturarak havanın zararlı etkilerinden korumaktır. Akıcılık özellikle elektrotun ulaşamadığı işlemlerde nüfuziyet azlığının önlenmesi için önemlidir. Deokside elemanlar sayesinde istenmeyen oksijen kaynak havuzundan

uzaklaştırılır. Alaşım lama sayesinde kaynak işlemi esnasında kaybedilen elemanlar tekrar eski miktarlarına getirilir.

Çizelge 3.24 Elektrot örtüsü bileşenleri (Gültekin, 1991)

ÖRTÜ ELEMANLARI	BİLEŞİM	Arkı Stabilize Etme	Cüruf Oluşturma	Akıcılık	Gaz Oluşumu	Oksit Oluşumu	Deokdize	Alaşım lama
Asbest	MgO.SiO	x	x					
Dolomit	(CaO.MgO).CO	x	x		x	x		
Demir Karbonat	FeCO <sub>3</sub>	x	x		x	x		
Demir Oksit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	x	x			x		
Aluminyumsilikat	K <sub>2</sub> O.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .SiO <sub>2</sub>	x	x					
Ferro Mangan		x					x	x
Ferro Silisyum		x					x	x
Kalsiyum Fltiorit	CaF <sub>2</sub>	x	x	x				
Mika	K <sub>2</sub> O.3Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .6SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	x	x					
Camsuyu	K <sub>2</sub> O.SiO <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O	x	x					
Kaolen	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	x	x					
Tebeşir	CaCO	x	x		x	x		
Kuvars	SiO <sub>2</sub>	x	x					
Mağnetit	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	x	x			x		
Magnezit	Mg CO.	x	x		x	x		
Porphytmehl	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .K <sub>2</sub> O.Na <sub>2</sub> O).SiO <sub>2</sub>	x	x	x				
Rutil	TiO <sub>2</sub>	x	x	x				

Bugün uygulama alanında en çok bazik ve rutil elektrotlar kullanılmaktadır. Bunun nedeni Rutil elektrotların kullanımlarının çok kolay olması ,bazik elektrotların mekanik özelliklerinin diğer elektrotlara nazaran çok daha yüksek olmasıdır ( Dolutaş,2005).

Bazik tip örtülerde, esas bileşenler olarak toplam % 75-80 oranında kalsiyum karbonat (CaCO) ve kalsiyum flüorit (CaF<sub>2</sub>), rutil tiplerde ise % 50-55 kadar titandioksit (TiO<sub>2</sub>) bulunmaktadır. Elektrik arkının kararlılığında kalsiyum flüorit ve titandioksit büyük ölçüde etkili olmaktadır.

Bu örtü bileşenlerinin temel görevi arkı stabilize etmek ,ikinci görevleri ise elektrotun çekirdek malzemesiyle etkileşimi sonucu , metalik malzemenin ergime özelliklerini değiştirmeleridir. Yapılan çalışmalarda bazik elektrotlarda elektrot negatif kutuba bağlandığında kaynak işlemi esnasında arkın kararsız olduğu gözlenmiştir. İşlem esnasında kaynak geriliminde ani yükselmeler ve alçalmalar görülmüştür. Bunun sonucunda damla geçişlerinin düzensiz

olmasına sebep verir. Fakat ters kutuplama durumunda ark kararlı bir yapı göstermekte ve damla geçişleri periyodik olarak görülmektedir. Rutil örtülü elektrotlarda her iki kutupta da kararlı bir ark davranışı göstermektedirler.

Bazik örtülü elektrotlarda, arkın oluşumunu ve malzemenin ergime davranışını geniş ölçüde etkileyen kalsiyum flüorittir ( $\text{CaF}_2$ ). Bu bileşen arkın dış bölgesindeki elektrik iletkenliğini yok ederek arkın daralmasına sebep olur. Bu da yüksek ark sıcaklığında kalsiyum flüoritin ( $\text{CaF}_2$ ) disosiasyonu (ayrışması) neticesinde ortaya çıkar, ve son yörüngesinde yedi elektron bulunan flor (F) atomunun, son yörüngesini sekize tamamlamak için elektron bağlama özelliğinden kaynaklanmaktadır. Elektron bağlama işlemi, ark sıcaklığının daha düşük olduğu dış kısımlarda meydana geldiğinden, bu bölgedeki elektrik iletkenliğinin düşmesiyle arkta bir daralma görülmektedir.

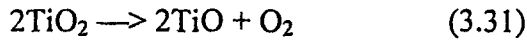
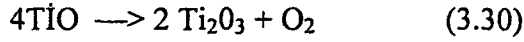
Rutil tip elektrotlar, her iki kutup kaynağında kararlı bir ark ve düzenli bir kaynak prosesi vermektedir. Bu elektrotların negatif kutup kaynağında, örtü yapısında kalsiyum flüorit ( $\text{CaF}_2$ ) gibi arkı daraltıcı etkisi olan bileşenler bulunmadığından, daha geniş çaplı bir ark oluşabilmektedir. Bu etki aynı elektrot çapının etkisine benzemektedir. Ark huzmesi daraldığı zaman kaynak havuzu daralmakta ve nüfuziyet artmaktadır. Ana metalin ergime oranı da böylece artmış olur.

Yapılan diğer çalışmalarda rutil tip elektrotlarda kaynak dumanı miktarının düşük olduğu ve bazik tip elektrotlarda da rutil tipe nazaran % 50 daha fazla duman oluştuğu belirtilmektedir. Bazı araştırmacılar, yaptıkları kaynak dumanı analizlerinde, bazik elektronların örtüsü içinde bulunan kalsiyum flüoritten ( $\text{CaF}_2$ ) buharlaşma neticesinde dumana geçen flor (F) miktarının çok yüksek, buna karşın rutil tip elektrotlarda örtüden buharlaşarak dumana geçen titandioksit ( $\text{TiO}_2$ ) miktarının ise çok düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Bazik elektronların duman analizinde çoğunlukla örtü bileşenlerine rastlanmakta olup, çekirdek malzemesinin buharları daha azdır. Bu da örtü bileşenlerinin ergime ve kaynama sıcaklıklarının çekirdek malzemesininkilerden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin saf demirin (Fe) ergime sıcaklığı  $1536\text{ }^\circ\text{C}$  ve kaynama sıcaklığı  $2375\text{ }^\circ\text{C}$  iken, kalsiyum flüoritin ( $\text{CaF}_2$ ) ergime sıcaklığı  $1418\text{ }^\circ\text{C}$  ve kaynama sıcaklığı  $2510\text{ }^\circ\text{C}$  dir. Dolayısıyla kalsiyum flüorit çekirdek malzemesinden önce buharlaşarak ark boşluğuna geçmektedir.

Rutil örtülü elektrotlarda oluşan kaynak dumanı miktarının ve örtüden dumana geçen titandioksit ( $TiO_2$ ) buharının düşük olması, bu bileşenin ergime ( $1870\text{ }^\circ\text{C}$ ) ve kaynama sıcaklığının ( $2927\text{ }^\circ\text{C}$ ), çekirdek malzemesininkinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucu olarak ark boşluğunda çoğunlukla çekirdek malzemesi buharlarına rastlanmaktadır. Bu tip elektrotlarda, bazik elektrotlarda olduğu gibi, ısının bir kısmı buharlaşmaya harcanmadığından, ergimekte olan metalik damlanın sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Rutil tip elektrotlarda titan dioksitin ( $TiO_2$ ) ikinci bir etkisi de küçük taneli malzeme geçişi meydana getirmesidir. Yüksek sıcaklıklarda titandioksitin disosiasyonu (ayrışması) neticesinde, (3.30) ve (3.31) ye göre, kaynama sıcaklıkları daha yüksek olan  $Ti_2O_3$  ve  $TiO$  oluşmaktadır.



Burada açığa çıkan oksijen hem eriyen metalin yüzey gerilimini düşürmekte , hem de yüksek sıcaklıktaki gaz reaksiyonlarını kolaylaştırmaktadır (CO reaksiyonu). Eriyen damla içindeki karbon ile birleşen oksijen, kapalı hacim içinde CO gazı oluşturmaktadır. Bu kapalı hacimlerin birleşmesi ve basıncının yükselmesiyle metalik damlada bir patlama meydana gelmektedir. Çoğunlukla bu patlama ile oluşan küçük, büyük damlalar serbest olarak iş parçasındaki kaynak banyosuna geçmektedir. (Gülsöz,1998)

### 3.5 Kaynak Metalinde Difüzyon

Difüzyon, ısı etkenlerle teşvik edilen atomsal mertebedeki parçacıkların atomlar arası mesafelerden daha büyük uzaklıklara hareket etmesidir. Difüzyon olayında moleküller, yüksek konsantrasyonda buldukları bir bölgeden konsantrasyonlarının daha düşük olduğu bir bölgeye göç ederler.

Difüzyon oranı, konsantrasyon gradyeninin fonksiyonudur, iki alan arasında konsantrasyon farkı ne kadar büyük olursa, yüksek konsantrasyonlu alandan düşük konsantrasyonlusuna moleküller o kadar hızla yayılır (difüze olur). Difüzyon olayı bir örnekle açıklanırsa , su dolu bir kaba birkaç damla mürekkep damlası damlatılırsa ilk başta koyu olan maviliğin zamanla giderek azaldığını gözlemlenir ve sonuçta tekdüze bir sıvı oluşur.

En hızlı difüzyon gazlarda gerçekleşir ve sıvılarda daha yavaş olur. Difüzyon katılarda da meydana gelebilir. Gaz ve sıvıların katılar içine difüzyonu da gözlenir. Özellikle kaynakçılıkta büyük önemi olan hidrojen, azot, oksijen gazlarının difüzyonu buna örnek olarak gösterilebilir. Bu gazlar havadan kaynak metaline karışarak kaynak metalinin mukavemet özelliklerinin düşmesine sebep olur. Bu sebeple bu gazların kaynak metali tarafından absorbe edilmesi istenmez. Ayrıca bu gazların dışında çeliğin mekanik özelliklerine en önemli etki eden element olan karbonun difüzyonu da yüksek alaşımlı çelikler için önemlidir. Karbon miktarındaki artışa bağlı olarak kaynak metalinin çekme dayanımı yükselmekte fakat tokluğu da azalarak gevrek bir yapıya sahip olmasına sebep olur.

1. Fick Kanunu, atom yoğunluğundaki düşüşün ( $\Delta c/\Delta x$ ) etkisinde, yayının yönüne dik,  $x$  mesafesinde belli bir malzeme  $A_v$  ( $\text{cm}^2$ ) kesitinden, belli bir  $t$  (s) zamanı içinde yayın atom sayısını verir. 1. Fick Kanunu (3.32) no'lu eşitlikte görülmektedir.

$$N_A = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x} \cdot A_v \cdot t \quad (3.32)$$

Birim kesitten birim zamanda geçen atom sayısına Difüzyon Akısı ( $n$ ) denirse, I. Fick kuralına göre

$$n_A = -D \cdot \frac{dc}{dx} \quad (3.33)$$

yazılabilir. Bu bağıntı, tarif edilen bir kesitteki difüzyon akısının, o kesitteki konsantrasyon gradyanı ( $dc/dx$ ) ile orantılı olduğunu ifade eder. Bu ifadedeki (-) işareti atomların daima düşen yoğunluk bölgesine doğru yayındığını ifade eder. Bu ifadedeki  $D(\text{cm}^2/\text{s})$  difüzyon katsayısını gösterir.  $D$  difüzyon katsayısı difüzyon sisteminin türüne, yapısına ve özellikle sıcaklığa bağlıdır. Boltzman difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlılığını (3.34) no'lu eşitlikte tanımlamıştır.

$$D = D_0 \cdot e^{-Q/RT} \quad (3.34)$$

$D$ : Difüzyon katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$D_0$ : Difüzyon sabiti ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$Q$ : Aktivasyon enerjisi ( $\text{cal/mol}$ ),

$R$ : Gaz sabiti

$T$ : Kelvin derecesi olarak sıcaklık

$D_0$  ve  $Q$  yayının sistemine bağlı sabitler olup deneysel yolla ölçülebilirler. Çizelge 3.25'te bazı difüzyon sistemlerinin difüzyon sabitleri ve aktivasyon enerjileri verilmiştir.

Çizelge 3.25 Bazı elementlerin yayılım sabitleri ve aktivasyon enerjileri

(\* işaretliler arayer atomları)(Demirci,2004)

Difüzyon sistemleri		$D_0$ ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )	Q ( $\text{kJ/mol}$ )
Yayınan atomlar	Anafaz		
Fe	$\alpha$ -Fe	5	240
C*	$\alpha$ -Fe	$7,9 \cdot 10^{-3}$	75
C*	$\gamma$ -Fe	$7 \cdot 10^{-2}$	137
H*	$\alpha$ -Fe	$3,1 \cdot 10^{-4}$	12
N*	$\alpha$ -Fe	$6,6 \cdot 10^{-3}$	78
N*	$\gamma$ -Fe	$1,9 \cdot 10^{-2}$	118
Ni	$\alpha$ -Fe	0,5	275
Mn	$\alpha$ -Fe	0,35	281
Cu	Al	2	136
Zn	Al	12	116
Si	Al	0,9	127
Mg	Al	1,2	117
Mn	Al	8,5	268
Zn	Cu	$3 \cdot 10^{-3}$	83
Sn	Cu	$4 \cdot 10^{-3}$	129
Ni	Cu	$6,5 \cdot 10^{-3}$	125
Al	Cu	$7,2 \cdot 10^{-3}$	163
Cu	Ni	$1 \cdot 10^{-3}$	150
Sn	Pb	4,1	108
Mo	W	$6,2 \cdot 10^{-4}$	330

Difüzyon sabitlerinin yayılım sisteminin türü ve yapısına bağlılığı aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

- Yayınan atomun yarıçapı küçüldükçe difüzyon kolaylaşır ve daha hızlı gerçekleşir.
- Belirli bir atom ergime sıcaklığı düşük, dolayısıyla atomlar arası bağı daha zayıf olan ortamda daha kolay yayılır.
- Atomsal dolgu faktörü düşük ortamlarda yayılım daha az enerjiyi gerektirir.  $\alpha$ -Fe'nin ( $\alpha$  demiri) atomik dolgu faktörü (ADF=0,68)  $\gamma$ -Fe'nin atomik dolgu faktöründen (ADF=0,74) düşük olduğundan dolayı C atomunun Difüzyonu  $\alpha$ -Fe'de daha hızlı olur.
- Düzensiz yapıya sahip, atomların sıklığı düşük ve enerjileri daha yüksek olduğu tane sınırları boyunca yayılım tanelere göre daha kolay oluşur. Bu nedenle faz dönüşümleri ve korozyon olayları tane sınırlarında başlar ve daha hızlı oluşur. Aynı

mekanizmadan hareketle makro boyutlar gözetildiğinde ,ince taneli malzemelerde yayılım hızının kaba tanelilere göre daha büyük olduğu sonucu çıkarılabilir.

Görüldüğü gibi difüzyon olayı kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu etkileyen bir faktördür. Fakat etkisini çok uzun zaman içerisinde göstermektedir.

### 3.5.1 Difüzyonu Etkileyen Etkenler

D difüzyon katsayısı genellikle sabit değildir. Konsantrasyon, iç yapı,saflığı bozan maddeler , tane yapısı ve özelliklede sıcaklık difüzyon olayı üzerinde etkili olur.

#### 3.5.1.1 Sıcaklık

Difüzyon katsayısı  $D = D_0 \cdot e^{-Q/RT}$  denkleminde Boltzman tarafından verilmiştir. Burada  $D_0$ , Q ve R sıcaklıktan bağımsızdır. Aktivasyon (Q) enerjisi kj olarak verildiğinde gaz sabitesi  $R = 8.3144$  kj/mol.K olmaktadır. Bu denkleme göre artan sıcaklığa göre Difüzyon katsayısı artmakta ve (3.32) no 'eşitlikte verilen I.Fick kanununa göre yayılan atom sayısı artmaktadır.

Örnek olarak çizelge 3.25'te verilen atomlardan C arayer atomunun  $\alpha$ -Fe demirindeki difüzyon katsayısının sıcaklığa göre değişimi çizelge 3.26 'da verilmiştir. Artan sıcaklıklara bağlı olarak difüzyon katsayısı da artmaktadır. Difüzyon katsayısının artması da difüze olan atom sayısını arttırmaktadır

Çizelge 3.26 Difüzyon katsayısının sıcaklığa göre değişimi

Yayınan Atom	Anafaz	Difüzyon Sabiti $D_0$ ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )	Aktivasyon Enerjisi Q (kj/mol)	Sıcaklık T (K)	Difüzyon Katsayısı D ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )
C	$\alpha$ -Fe	$7,9 \cdot 10^{-3}$	75	300	$8,13 \cdot 10^{-3}$
				1000	$7,97 \cdot 10^{-3}$
				2000	$7,94 \cdot 10^{-3}$

#### 3.5.1.2 Konsantrasyon

Bazı sistemlerde D, konsantrasyonla belirgin şekilde değişir. Matematik kolaylık açısından difüzyon katsayısının konsantrasyondan bağımsız kabul edilmiş, konsantrasyon farkına rağmen difüzyon katsayısı sabit kabul edilmektedir.

(3.33) no'lu eşitlikte verilen difüzyon akısında ,bir kesitteki difüzyon akısının, o kesitteki konsantrasyon değişimiyle ( $dc/dx$ ) ile orantılı olarak değiştiğini ifade eder. Konsantrasyon farkı arttıkça difüzyon akısı artmakta ve konsantrasyon farkı azaldıkça difüzyon akısı azalmaktadır.

Ayrıca ilk başlarda difüzyon akısı konsantrasyon farkının çok olmasından dolayı fazlayken zamanla konsantrasyon farkının azalmasıyla difüzyon gittikçe azalır.

### 3.5.1.3 İç Yapının Etkisi

Yüksek sıcaklıklarda hacim merkezli kübikten yüzey merkezli kübik demire dönüşüm esnasında birim kafesin atom yoğunluğu değişmektedir.  $\alpha$ -Fe'nin atomik dolgu faktörü ( $ADF=0,68$ )  $\gamma$ -Fe'nin atomik dolgu faktöründen ( $ADF=0,74$ ) düşük olduğundan dolayı atomların  $\alpha$  demirinde yayınlmaları daha hızlıdır.

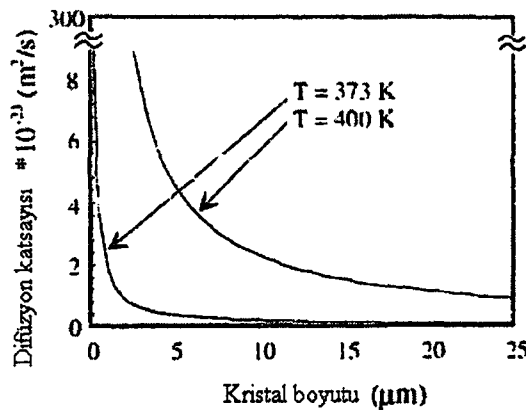
Ayrıca difüzyon hızının gerçekleştiği kristal doğrultusuna bağlı oluşu özellikle kübik olmayan sistemlerde önemli teknolojik sonuçlar doğurur. Hegzagonal kafes yapısına sahip metallerde taban düzlerine paralel yöndeki difüzyon hızı ,aynı difüzyon ve kafes sistemlerine ait ,dik yöne göre 1000 katına ulaşabilir.

### 3.5.1.4 Safılığı Bozan Maddeler

Yapı içersinde ,yayınan atomlardan başka ,değişik cins ve miktarda yabancı atomların bulunması, göz önüne alınan atom cinslerinin difüzyonunu yavaşlatır. Örnek olarak alaşım elementleri çeliklerin sertleşebilirliğine önemli ölçüde etki eder. Buna bağlı olarak çelik içersinde C atomlarının difüzyon hızı büyük ölçüde düşer

### 3.5.1.5 Tane Boyutu

Tane sınırlarındaki difüzyon tanelerin içindekinden daha hızlı olduğundan, genel difüzyon derecesinin ince taneli metalde daha yüksek olması beklenir. Çünkü ince taneli yapılarda tane sınırları daha düzensizdir ve daha yüksek enerjilidir. Tane boyutu azaltıldığında ve sıcaklık yükseltildiğine difüzyon olayında artış gerçekleşir (çizelge 3.27)



Çizelge 3.27 Tane boyutuna göre difüzyon katsayısının değişimi (Lu,L.,vd..1997)

### 3.5.2 Ergimiş Metal Tarafından Gaz Absorbsiyonu

Kaynak işleminde metelsel banyo ortama açıktır. Her ne kadar koruyucu gazlarda kullanılsa da ortamda istenmeyen maddeler bulunabilir. Örnekle olarak bir nem tabakası metelsel malzemenin yüzeyinde her an hazırır. Su buharı yaklaşık 2700 °C derecede dissosiyeye olur ve hidrojen moleköl halinden atom haline dönüştür. Atom haline dönüştükten sonra ergimiş metal içersinde katılarak yapıya karışabilir.

Kaynak işlemleri için en önemli gazlar oksijen ( O<sub>2</sub> ) azot ( N<sub>2</sub>), hidrojenidir (H<sub>2</sub>). Bu gazların metal içersine nüfuz etmelerindeki faktörler şunlardır :

- Kaynak yöntemi,
- İlave malzeme türü ve ana metalin yüzey durumu,
- Kaynak bölgesini çevreleyen ortam,
- Kaynak parametreleridir.

Kaynak yönteminin gazların difüzyonundaki etkisi ark atom kaynak yöntemiyle açıklanabilir. Bu yöntemde koruyucu gaz olarak H<sub>2</sub> kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda bu gaz dissosiyeye olur ve ister istemez kaynak dikişine karışabilir. Hidrojenin kaynak işleminde üzerindeki kötü etkileri öğrenildikten sonra bu yöntemin kullanılrlığı gittikçe azalmıştır.

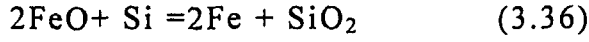
İlave malzeme türünün gaz absorbsiyonu üzerine etkisi yüzeyde oluşmuş olan oksit filmleri ve üretimden kaynaklanan malzeme içersinde kalmış gazlardan kaynaklanabilir. Bu gazlar ve oksit filmleri kaynak işleminde esnasında dissosiyeye olabilir veya aynı şekilde kaynak metaline geçebilirler. Ana metalin kaynak yapılacak bölgeleri de kaynak işleminden önce muhakkak temizlenmelidir. Bu yüzeylerde yağ , pas ve boya gibi istenmeyen maddeler kesinlikle bulunmamalıdır.

Kaynak bölgesinin çevreleyen ortamda her zaman nem bulunabilir ve bu kaynak metali için her zaman bir tehlikedir. Kaynak parametreleri de ( ark boyu, akım, gerilim) değiştirilerek metelsel banyonun boyutları değiştirilebilir. Metelsel banyonun boyutları büyüyünce kaynak metalini korumak zorlaşır ve istenmeyen gazlar kaynak metaline karışabilir. (Gültekin,2003)

#### 3.5.2.1 Oksijen Absorbsiyonu

Demir-oksijen sisteminin incelenmesi arı demirin yüksek sıcaklıkta bile gayet az oksijen erittiğini göstermektedir. 700°C de % 0,05 ve 1400°C de %0,10 oksijen ihtiva etmektedir. (Gültekin,2003)

Fakat sıvı halinde, oksijenin absorpsiyonu çok daha büyüktür ve aşağıdaki denklemlere göre meydana gelir ;



Bundan çelikteki manganez ve silisyum miktarlarının artırılmasının eriyen oksijen oranını azaltacağı sonucu çıkarılır.

Oksi-gaz kaynak yönteminde, daima manganez ve silisyum yüzünden pek az oksijen ( $\%O_2 < 0,050$ ) ergimiş metal içine karışmaktadır. Demir oksidi, esas itibariyle redükleyici olan alev tarafından tamamen redüklenir. Diğer taraftan demir oksidinin redüklenmesi çelik içindeki elemanlarla da (Mn,Si) yapılmaktadır.

Ark kaynağında karışım oksijen miktarı çok daha yüksektir, bu miktar, % 0,30'a kadar yükselebilir ve çoklukla demir oksidi FeO halinde bulunur. Bu absorpsiyonu örtü kaliteleri ile yani oksitleri cüruf halinde dışarı çıkaracak redükleyici maddelerin kullanılması ile azaltmak mümkündür. Her ne şekilde olursa olsun ark kaynağındaki redükleme gaz kaynağındaki kadar ileri gitmemiştir. Redükleyici gazlar neşreden ( $H_2$ , CO) örtüler ark kaynaklarındaki oksijen miktarını ( $\% O_2 = 0,07$ ) belirli bir şekilde azaltmaktadır (Seferian.,1959). Yapıdaki  $O_2$  miktarı arttıkça çeliğin dayanım değerlerinin düştüğü unutulmamalıdır.

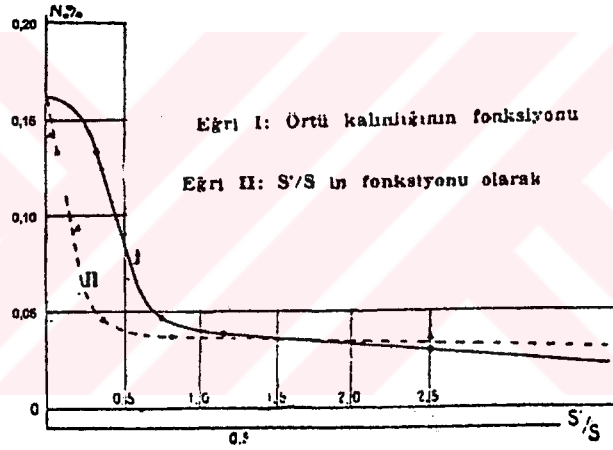
### 3.5.2.2 Azot Absorpsiyonu

Azot kaynak metalinde beklenmeyen dayanım artışı ve şekil değiştirme kabiliyetinde düşme oluşturur. Kimyasal tepkimelere girerek yapıda istenmeyen nitürler oluşturur.

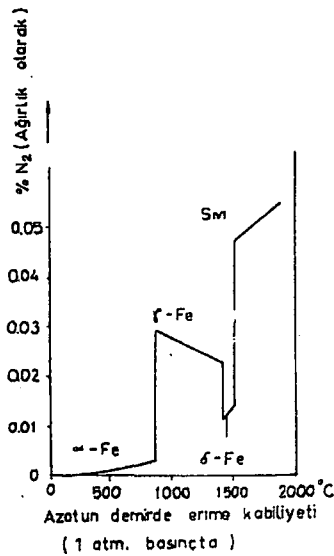
Oksi-asetilen alevi ile ergitmede, % 0,020 civarında çok az azot karışmaktadır. Buna karşın elektrik arkı ile ergitmede azot absorpsiyonu çıplak elektrotlarla % 0,15 ila 0,20' ye kadar yükselir ve elektrot örtüsünün etkisi örtünün kalınlığına göre azalır. Bunun nedeni örtü kalınlığı artınca koruma etkisinin artmasıdır. Çizelge 3.27'de çıplak elektrot kesiti S ve örtü kesiti S' ile gösterilmiştir. S'/ S oranının büyümesi ile yapıya karışan azot miktarının düştüğü görülmektedir. (Seferian.,1959)

Çizelge 3.28'de sıcaklığın ve kafes yapısının yapıdaki çözünen azot miktarına etkisi görülmektedir. Grafiği incelenirse demirin hmk kafes yapısında azotu yapısında erime kabiliyetinin arttığı görülmektedir. Buna karşın atom yoğunluğu bakımından daha yoğun olan ymk kafes yapısında azotun yapı içersinde bulunma oranının azaldığı görülmektedir. Dikkat çekici diğer bir husus 900 °C' deki sıcaklıklarda demirin azot eritme kabiliyetinin artmasıdır. Ostenit fazında bu oran azalmaktadır. Sigma fazındanda çok kısa sürede geçildiğinden erime kabiliyeti düşüktür. Dikkat çekilecek diğer bir husus soğuma esnasında osteniz fazından hızlı soğumayla ferritik faza geçince yapıda bulunan fazla azotun dışarı çıkamadığından dolayı, yapıda dayanım artması ortaya çıkarmasıdır. Bu olaya mavi kırılmalık denir.

Çizelge 3.27 Örtü kalınlığına göre azot derişiminin değişmesi (Seferian.,1959)



Çizelge 3.28 Sıcaklık ve kafes yapısındaki değişimine göre azotun demirdeki erime kabiliyetinin değişimi (Gültekin,2003)



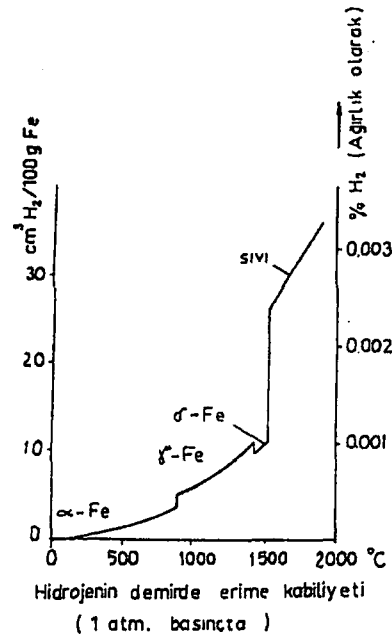
Çeliğin içindeki diğer bileşenlerde azot absorpsiyonu üzerinde etkilidir. Karbon, manganez ve silisyum gibi bazı elemanlar arasında alüminyum, vanadyum ve uranyum bu absorpsiyonu hafif artırır; krom, molibden ve zirkonyum çok kuvvetli tesir eden elemanlardır. İncelenen özel elemanlar arasında yalnız titan azot karışmasını azaltmağa meyil etmektedir.

### 3.5.2.3 Hidrojen Absorpsiyonu

Kaynak işlemi esnasında kaynak metali tarafından azot ve oksijen dışında birde hidrojen absorbe edilir. Hidrojen bu gazların en tehlikelisi olduğu söylenebilir. Artan sıcaklıklar kaynak metaline karışım oranı gittikçe artmaktadır. Boyutları çok küçük olduğundan tane sınırlarında bulunan hataların olduğu yerlere çabucak yerleşmektedir. (Seferian.,1959)

Kaynak elektrotları ve kaynak tellerinde hidrojen oranı çok az olmasına karşın havadan kaynak metaline karışmaktadır. Bu karışma nem biçiminde su olarak ta kaynak elektrotlarının örtülerinde kaynak banyosuna karışır. Yüksek sıcaklıklarda hidrojen dissosiyeye olur ve kaynak metaline karışır ve dissosiyeye olurken 1000 atü'lük basınç oluşur. Bu basınçta mikro çatlakların oluşmasına sebep olur. Bu nedenle bazik elektrotlar özellikle kullanılmadan önce kurutulmaları gerekmektedir. Yoksa kaynak metalinde yüksek miktarda gaz kabarcıkları oluşmaktadır. (Gültekin,2003)

Çizelge 3.29 Sıcak ve kafes yapısı değişimine göre hidrojenin demirdeki erime kabiliyetinin değişimi(Boggerud,1966)



çizelge 3.29'da artan sıcaklıklarla birlikte demirde hidrojenin erime miktarının arttığı görülmektedir.

### 3.5.2 Karbon Difüzyonu

Çeliklerin kaynaklı bağlantılarında istenmeyen gevrek metallere arası bileşenler oluşur. Bu olayın temelini karbonun yüksek miktarda krom içeren çeliğe doğru yayılımı oluşturmaktadır. Böyle bir yayılım bölgesel bir gevrekliğe benzer etki yapabilmektedir. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi daha yüksek Cr içeren çelikteki çökeltmeden kaynaklanan sertleşme ve gevreklik, ikincisi ise daha zayıf çelikteki C azalması sonucu oluşan bölgesel yumuşamadır. Her iki durum da sürünme dayanımında ve toklukta bölgesel bir düşüşe, kayma gerilmesinde de azalmaya neden olur.

Farklı bağlantı bölgeleri; yüksek alaşımlı çelikteki karbonun, düşük karbonlu çeliğe yada bu elementi içerisinde kolayca çözebilen bir faza (östenit fazı) doğru göçünün yoğun olduğu alanlardır. Bu mekanizma sıcaklığın yükselmesi ve çeliğin bu sıcaklıkta tutulma süresinin artması ile hızlanmaktadır. Diğer yandan ana metalin kimyasal analizinin de yayılma hızı üzerindeki etkisi yüksektir.

Karbon yayılımı ile özellikle yüksek karbonlu çeliklerin krom-molibdenli orta derecede sıcaklık dayanımına sahip çeliklerle veya ostenitik çeliklerle olan bağlantılarında karşılaşmaktadır. Genellikle, ostenit içerisindeki karbon göçünün sonu martenzit oluşumudur ve bunun doğal sonucunda bağlantı kırılgan bir hal almaktadır.

#### 4. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALARIN BİRARADA DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölüme kadar yapılan çalışmalarda kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu etkileyen faktörler araştırılmıştır. Bu literatür araştırmasında beş temel faktörün kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu etkilediği görülmüştür. Bu faktörler ana ve ilave metalin kimyasal kompozisyonu, ana ve ilave metalin ergime oranı ,kaynak işlemi esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ,koruyucu gazlar, tozların ve elektrot örtülerinin kimyasal bileşimi ve kaynak metalinde meydana gelen difüzyon olayıdır.

Bu faktörleri hepsi bir kaynak işleminde kaynak metalinin kimyasal kompozisyonuna nasıl etki ettiğini bir örnekle açıklanabilir. Örnek olarak bir akışkan tankını ele alabilir. Bu tanktan istenen temel özelliklerden iki tanesi , içersinde taşıyacağı akışkanla reaksiyona girmemesi ve düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini korumasıdır.

Bu tankı imal ederken ana metal , korozyon direnci ve düşük sıcaklıklarda çalışma için östenitik paslanmaz çelik seçilebilir. İlave metal olarak da alaşımsız düşük karbonlu bir çelik seçildiğini kabul edilmiştir. Tankın kullanım ömründen önce kaynak dikişlerinde meydana gelen korozyon neticesinde kullanım dışı kalmıştır. Bu korozyonun nedenleri kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu etkileyen faktörlere dayanarak açıklanırsa;

Ana metaller çalışacakları koşullara göre konstrüktör tarafından seçilmektedir. İlave metalde ana metalin bu özellikleri dikkate alınarak, ana metalin fiziksel ve kimyasal özelliklerine benzer özellikte ve kimyasal kompozisyon olarak da ana metalin kimyasal kompozisyonuna uygun olarak seçilir. Belli bir zaman sonra tanktaki kaynak dikişlerinden korozyonun nedeni ilave metalin içinde taşıyacağı akışkanın özelliklerine uygun olarak seçilmemesi olabilir. Zamanla tankın içersindeki akışkan, kaynak metaliyle reaksiyona girerek korozyona sebep olmuş olabilir.Bu olay ise uygun bir ilave metal seçimiyle önlenabilir.

Bu olayı ana ve ilave metallerin ergime oranları açısından incelenirse ,ana metal paslanmaz çelik olduğu için yapısında Cr ve Ni bulunur. Fakat ilave metalde bu alaşım elemanları yoktur. Kaynak metalinin kompozisyonunun % 70 ilave metal ve % 30 ana metalden oluştuğu kabulünü yapılırsa, kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu ilave metalin kimyasal kompozisyonuna daha yakın olur ve bu nedenle fiziksel ve kimyasal özellikleri ilave metalin özelliklerine benzer. İlave metal istenen şartlara uygun seçilmemiş olduğundan kaynak metalinin zayıf korozyon direnciden korozyon olayı gerçekleşebilir. Fakat ergime oranı kontrol edilerek gerçekleştirilen bir kaynak işleminde ana metalin kaynak metalindeki oranı

arttırılarak, kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu ana metalin özelliklerine benzer olacak şekilde ayarlanabilir.

Tankta kaynak dikişlerinde gerçekleşen korozyon olayı kaynak işleminde gerçekleşen reaksiyonlar bakımından da açıklanabilir. Kaynak işlemi yüksek akım ve gerilim şiddetleriyle gerçekleştirilirse kaynak bölgesindeki ısı girdisi artar. Isı girdisi kaynak bölgesinin sıcaklığının artmasına ve yanma kayıplarına sebep olabilir. Ana ve ilave metal birbirlerine göre uygun seçilmiş ve uygun ergime oranlarında çalışılmasına rağmen ana ve ilave metalin temel alaşım elemanları krom ve nikelin oksitlenmesi sonucu yapıda korozyon direncini arttıran ve düşük sıcaklıklarda çalışmasına olanak sağlayan ana alaşım elemanlarının kaybı görülebilir. Bu olay neticesinde kaynak metali istenen kimyasal kompozisyonda olmadığından kaynak dikişleri zamanla zayıflamış ve istenen özelliklerini koruyamayarak korozyon gerçekleşmiş olabilir. Isı girdisi yüksek olduğundan dolayı yanma kayıpları göz önüne alınarak ilave metal seçilmesi gereklidir. Fakat yanma kayıpları neticesinde kayıpları karşılama yönünden uygun seçilmemiş olan ilave metal ile kaynak işlemi gerçekleştirildiğinden ,ilave metal kaynak metalinin kayıp alaşımlarını karşılamamış ve elde edilen dikiş istenen kimyasal kompozisyonda elde edilememiştir.

Korozyon olayı koruyucu gazlar ,tozlar ve örtü çeşitleri açısından değerlendirilirse, kaynak işlemi kaynak özellikleri kötü olan metale göre ayarlanmalıdır. Bu işlemde paslanmaz çelik ve alaşımsız çeliğin MAG kaynak yöntemiyle ve koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub>'in kullanıldığı bir kaynak işlemiyle birleştirildiğini farz edilirse, kaynak dikişindeki korozyonlar yanlış koruyucu gaz seçiminden dolayı gerçekleşmiş olabilir. CO<sub>2</sub>'in oksitleyici özelliğinden dolayı kaynak metalindeki alaşım elemanlarının yanma kayıpları artmış olabilir. Bu olay neticesinde kaynak metali kimyasal kompozisyonundan sapmış ve dikişler istenen korozyon direncine sahip olmayabilir.

Kaynak tozları da kimyasal reaksiyonları kontrol edebilecek özellikte olmadığı takdirde ( ortamdaki oksijeni uzaklaştıracak yeterli Mn ve Si içermemesi durumu) kaynak metalindeki reaksiyonlar sonucunda kaynak metali istenen kompozisyondan sapabilir. Ayrıca kaynak işlemi nemli bir elektrotla gerçekleştirildiği takdirde örtüdeki nem kaynak işleminde dissosiyona uğrar ve kaynak metalinde hidrojen artışına sebep olabilir. Yapıdaki hidrojen kaynak metalinin mukavemetini düşürebilir. Bunu da kaynak metalinde iç gerilmeler oluşturarak sağlar. Tankın bir kamyon üstünde monte edildiği düşünülürse ,yolculuklar esnasında kamyonun çukurlara girmesi sonucu oluşan dinamik yükler kaynak metalindeki iç

gerilmelerin yapıda korozyon oluşmasına sebep vermiş olabilir. Bu etkilerden dolayı tankta korozyon gerçekleşmiş olabilir.

Kaynak dikişinde korozyonun bir diğer sebebi de kaynak metalinde gerçekleşen difüzyon olayı olabilir. 250 -900 oC sıcaklığı arasında paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesi görülür ve yapıdaki krom oranı düşer. Yapıdaki krom oranı %12'nin altına düşerse tane içleri ile tane sınırları arasındaki potansiyel farklılık nedeniyle taneler arası korozyon gerçekleşir. Tane sınırları kromca zenginleşir, anot durumuna geçer ve hızlıca çözünür. Bu olay neticesinde de kaynak dikişindeki korozyonun sebebi olabilir. Bu olayın gerçekleşmemesi içinde kaynak işleminden sonra parça hızlıca soğutulmalı, kaynak dikiş kısa boylu dikişlerle arada boşluklar bırakarak düşük ısı girdisi sağlanarak gerçekleştirilmelidir.

Tank örneği incelendiğinde kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu etkileyen bütün faktörler ,bir bütün halinde olup birinin uygun olmaması halinde diğer faktörlerin bu etkiden etkilenip diğer faktörleri tetiklediği görülmektedir. Kaynak işleminden önce kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu istenen değerlerde tutturabilmek için uygun şartlar seçilebilir. Fakat kaynak işlemi esnasında istenmeyen bir durum gerçekleştiğinde kimyasal bileşimi tutturmak için değiştirilebilir etken sadece ısı girdisinin değiştirilmesi olarak görülmektedir. Isı girdisine etki eden temel faktörlerde kaynak akımı ,kaynak gerilimi ve kaynak hızıdır. Bu faktörlerle ana metalin ve ilave metalin ergime oranı kontrol altında tutularak kimyasal kompozisyon düzenlenir.

Bu bölümde ısı girdisinin,ergime oranının ve paso sayısının kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu nasıl etkilediği de teorik olarak diğer etkenlere göre daha kolay açıklanabildiğinden, bu etkenlerin kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu nasıl etkilediği incelenmiştir. Ayrıca kaynak metalinin kimyasal kompozisyonuna etki eden metallerin ısı iletim katsayısı da bu bölümde ele alınarak ,farklı ısı iletim katsayısına sahip metallerin kaynak metalinde bulunma oranları, geliştirilen ısı transferi modeli yardımıyla açıklanacaktır.

#### **4.1 Birim Dikiş Enerjisinin Kaynak Akımı ,Gerilimi ,Hızına Göre Değişimi ve Birim Dikiş Enerjileri Bakımından Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Kaynak işleminde birim dikiş enerjisi (3.3) no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$q = \frac{\eta * 60 * U * I}{VK * 1000} \quad (3.3)$$

q: Birim dikiş enerjisi (kj/cm)  
U: Kaynak gerilimi (V)  
η: Verim katsayısı  
VK: Kaynak hızı (cm/dk)  
I: Kaynak akımı (A)

Bu eşitliğe göre kaynak işleminde ısı girdisi yöntemin verim katsayısına ,kaynak akımına ,gerilime ve kaynak hızına bağlıdır.

Birim dikiş enerjisi yöntemin verim katsayısıyla, kaynak akımı ve gerilimin artmasıyla doğru orantılı olarak artmakta, kaynak akımı ve gerilimin azalmasıyla azalmakta ,kaynak hızının artmasıyla ters orantılı olarak azalmakta ve kaynak hızının azalması sırasında da birim dikiş enerjisi artmaktadır.

Çizelge 4.1 Kaynak yöntemlerinin ortalama çalışma aralıkları

Kaynak yöntemi	Verim Katsayısı (η)	Ortalama Kaynak Hızı (cm/dk)	Ortalama Kaynak Akımı (A)	Ortalama Kaynak Gerilimi (V)
Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı	0,65-085	10-25	40-450	24-40
TIG Kaynağı	0,20-0,80	18-40	12-350	20-60
MIG-MAG Kaynağı	0,60-0,85	60-480	120-625	25-36
Toz altı Kaynağı	0,85-0,99	60-400	300-800	22-38

Çizelge 4.1’de kaynak yöntemlerinin verim katsayılarının,kaynak hızlarının,kaynak gerilimlerinin ,akım değerlerinin değişim aralıkları verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde en büyük değişimlerin kaynak hızında ,kaynak akımında olduğu dikkat çekmektedir. Kaynak geriliminin ve verim katsayısının(yöntemin kendine göre değişimi) değişim aralıkları diğer iki değişkene göre çok sınırlı kalmaktadır. Verim katsayısındaki değişim koruyucu gaz altı kaynak yöntemlerinde koruyucu gazın bölüm 3.4.2.1 ’de anlatıldığı gibi iyonizasyon enerjisi ile alakalı olabilir. Örtülü elektrotla ark kaynağının verim katsayısının değişim nedeni, örtü kalınlığının artması olabilir. Örtü kalınlığı artması sayesinde arkın kararlılığı arttırılmış ve bu sayede verim katsayısı değerleri yükseltilmiş olabilir.

Kaynak gerilimindeki değişim ise kaynak akımı ve kaynak hızındaki değişime göre daha sınırlı bir düzeyde kalmaktadır. Bunun nedeni ise ark karakteristiğinin özelliği ve

insan sağlığıdır. Yüksek gerilim değerleri insan sağlığı açısından tehlikeli olduğundan kaynak işlemi, kaynak makineleri tarafından gerilim şiddeti düşürülüp akım şiddeti artırılarak gerçekleştirilmektedir. Genel bir ifade ile mekanik yöntemlerde 2-4V/100A değerlerinde kalınmaktadır.

#### 4.1.1 Örtülü Elektrotla Ark Kaynağında Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi

Örtülü elektrotla ark kaynağında kaynak gerilimi ve kaynak akımı bölüm 3.2.1.4.2 no'lu bölümde verilmiştir. Bu eşitliler (3.8) ve (3.9) no'lu eşitliklerdir.

$$I = K \cdot d_e \quad (3.8)$$

I: Kaynak Akımı(A)

$$U = 20 + 0,04 \cdot I \quad (3.9)$$

d<sub>e</sub>: Elektrot çekirdek çapı (mm)

K: Elektrot tip ve çapına bağlı düzeltme katsayısı (A/mm)

U: Kaynak gerilimi (V),

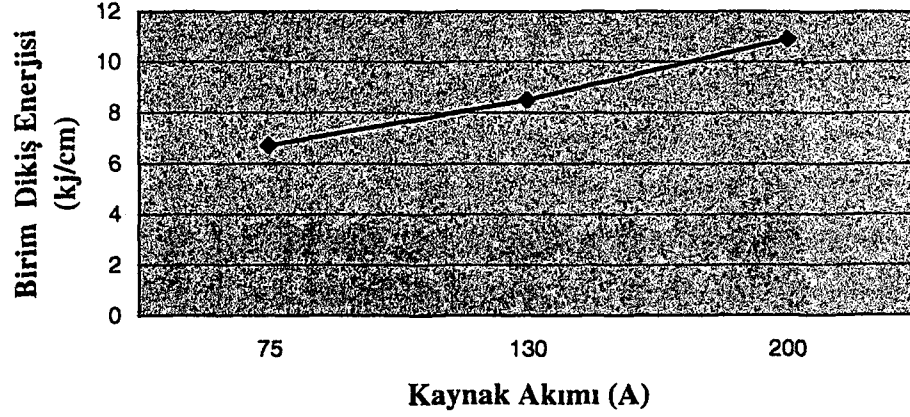
Örtülü elektrotla bir kaynak işlemi çizelge 4.2'deki şartlarda teorik olarak tek pasoda, üç farklı koşulda gerçekleştirilmiştir. Parça kalınlığına göre elektrot çapı belirlenmiş, K düzeltme katsayısı elektrot örtüsü kalınlığına göre seçilmiş, ve diğer değişkenlerde (3.3),(3.8) ve (3.9) no'lu eşitlikler ve çizelge 4.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Örtülü elektrotla ark kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri

Düzeltilme Katsayısı K (A/mm)	Elektrot Çekirdek Çapı d <sub>e</sub> (mm)	Kaynak Akımı I (A)	Kaynak Gerilimi U (V)	Verim Katsayısı	Kaynak Hızı VK (cm/dk)	Birim Dikiş Enerjisi q (kj/cm)	Parça Kalınlığı (mm)
30	2,5	75	23	0,65	10	6,72	2
40	3,25	130	25,2	0,65	15	8,51	3
50	4	200	28	0,65	20	10,92	4,5

Birim dikiş enerjisinin kaynak akımındaki değişime göre değişiminin çizelge 4.3 'te verilen grafikte görülmektedir. Çizelge 4.3'teki grafikte akım şiddetindeki artışa bağlı olarak birim dikiş enerjisinde artmaktadır.

Çizelge 4.3 Örtülü elektrotla ark kaynağında birim dikiş enerjisinin kaynak akımına göre değişimi



Çizelge 4.2'deki kaynak işlemi parametreleri incelenirse, işlem parametrelerinde kaynak hızı artmasına rağmen birim dikiş enerjisi artmıştır. Teorik olarak bu değişimin tam tersi gerçekleşmelidir. Fakat kaynak akımındaki değişim miktarı kaynak hızındaki değişim miktarından daha fazla olduğundan birim dikiş enerjisi artmıştır.

Dikkat edilirse bölüm 3.2.1.3.6'da anlatılmış olan elektrot çapı arttıkça gerekli olan kaynak akımının arttığı çizelge 4.2'de görülmektedir. Elektrot çapı büyüdükçe buna bağlı olarak gerekli kaynak akımındaki artış görülmektedir.

#### 4.1.2 TIG Kaynak Yönteminde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi

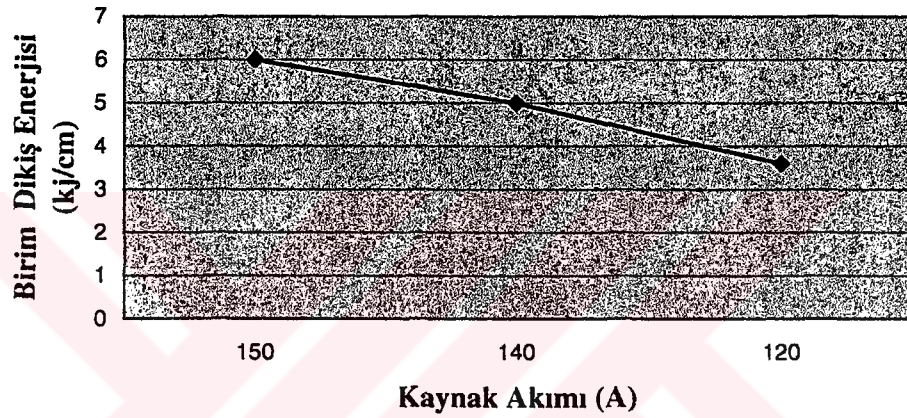
TIG kaynak yöntemi elle gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Kaynak telinin metalsel banyoya gönderilmesi ve kaynak torcunun hareketi kaynakçı tarafından kontrol edilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı oksijen-gaz kaynak yöntemine benzemektedir. Fakat kaynak banyosunun koruyucu bir gaz ile korunmasından dolayı işlem verimi daha yüksektir.

Birim dikiş enerjisinin hesaplanmasında (3.3) no'lu eşitlikten yararlanılmaktadır. Kaynak işlemi üç farklı ark boyuyla aynı parçada gerçekleştirilmiştir. İşlemde  $d=2$  mm çaplı kaynak teli kullanılmış ve tek pasoda işlem gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.4 TIG kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri

Kaynak Teli Çapı d (mm)	Kaynak Akımı I (A)	Kaynak Gerilimi U (V)	Parça kalınlığı (mm)	Kaynak Hızı VK (cm/dk)	Verim Katsayısı	Birim Dikiş Enerjisi q (kJ/cm)
2	150	25	3	15	0,4	6
2	140	30	3	20	0,4	5
2	120	35	3	28	0,4	3,6

Çizelge 4.5 TIG kaynağında birim dikiş enerjisinin kaynak gerilimine göre değişimi



Çizelge 4.5'i incelendiğinde artan kaynak akımına rağmen birim dikiş enerjisi azalmaktadır. Bu sonuç (3.3) 'te verilen birim dikiş enerjisi eşitliğine ters düşmektedir. (3.3) no'lu eşitliğe göre kaynak akımı arttıkça birim dikiş enerjisi de artmalıdır. Burada birim dikiş enerjisinin azalmasının nedeni kaynak işleminde üç farklı ark boyundan yararlanılması ve kaynak hızının artmasıdır. TIG kaynak makineleri alçalan tip statik karakteristiğe sahip makinelerdir. İşlem esnasında ark boyu değiştiği takdirde kaynak akımı gerilim değişimine ters olarak değişir. Ark boyu arttığında gerilim artar fakat kaynak akımı azalır. Hesaplamalarda da ark boyu gittikçe artırılarak kaynak gerilimi yükseltilmiş ve kaynak akımı giderek azalmıştır. Kaynak akımındaki düşüş ark gerilimindeki artıştan büyük olduğundan ve kaynak işleminde hızın artmasından dolayı birim dikiş enerjisi azalmıştır.

#### 4.1.3 Mekanize ve Otomatik Kaynak Yöntemlerinde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi

Mekanik yada otomatik sistemlerde kaynak gerilimi, kaynak akımı ,tel besleme hızı ve kaynak hızı ,tel çapı, bölüm 3.2.1.4.2 no'lu bölümde verilmiş (3.10) no'lu süreklilik

denklemleri ve (3.3) no'lu birim dikiş enerjisi eşitliklerinin birlikte kullanılması sayesinde belirlenir.

$$F_t \cdot V_t = F_k \cdot V_k \quad (3.10)$$

$$q = \frac{\eta \cdot 60 \cdot U \cdot I}{V_k \cdot 1000} \quad (3.3)$$

$F_t$ : Kaynak teli kesit alanı (mm<sup>2</sup>),

$V_t$ : Kaynak teli hızı (cm/dk),

$F_k$ : Kaynak kesit alanı (mm<sup>2</sup>),

$V_k$ : Kaynak hızı (cm/dk).

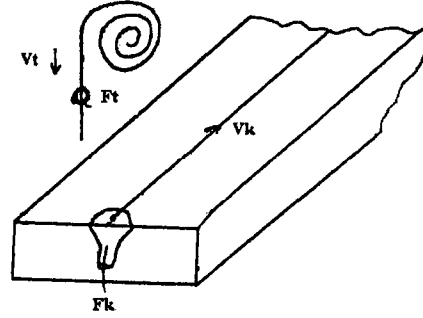
$q$ : Birim dikiş enerjisi (kJ/cm)

$U$ : Kaynak gerilimi (V)

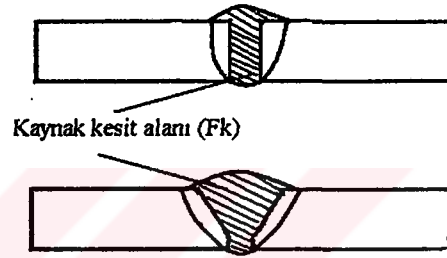
$\eta$ : Verim katsayısı

$V_k$ : Kaynak hızı (cm/dk)

$I$ : Kaynak akımı (A)



Şekil. 3.21 Mekanik yada otomatik sistemlerde süreklilik sistemi ve kaynak kesit alanları



İstenilen özelliklere göre değişkenler belirlenir ve uygun çalışma değerleri hesaplanır.

#### 4.1.3.1 MAG Kaynak Yönteminde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi

MAG kaynak yönteminde birim dikiş enerjisinin hesaplanmasında (3.10) no'lu süreklilik denklemi ve (3.3) no'lu birim dikiş enerjisi eşitliklerinden yararlanılabilir. Bu kaynak işlemi yarı otomatik bir kaynak işlemidir. Bunun nedeni kaynak teli otomatik istenilen hızda besleme ünitesi tarafından kaynak bölgesine gönderilmesine rağmen kaynak hızı kaynakçı tarafından belirlenmektedir.

Kaynak işleminden önce tel çapı, kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı ve kesit derinliği önceden belirlenmiştir. Kaynak işlemi 1,3 mm kalınlığındaki bir saca tek pasoda  $F_t=1,2$  mm çapındaki kaynak teli ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak akımı ve kaynak gerilim değerleri ve kaynakçı tarafından ayarlanan işlemde kaynak teli hızı (3.10) no'lu süreklilik eşitliğiyle hesaplanmıştır ve hesaplanan değerler çizelge 4.6'da görülmektedir.

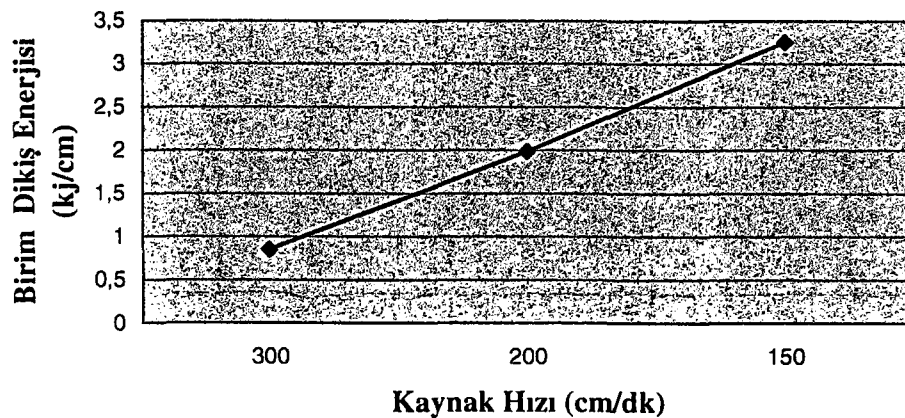
Çizelge 4.6 dikkat çekici husus birim dikiş enerjisinin ( $q$ ) düşük olmasıdır. Bir önceki TIG kaynağıyla gerçekleştirilen deneyde gerçekleştirilen kaynak işlemine nazaran daha yüksek kaynak akımı değerleriyle çalışılmasına rağmen birim dikiş enerjisi daha düşüktür. Çizelge 4.4 ve 4.6 incelenirse bunun nedeninin kaynak işleminin gerçekleştirildiği hızlardan kaynaklandığı görülmektedir. MAG kaynağında kaynak hızı ( $V_k$ ) 150 ile 300 cm/dk arasında değişirken TIG kaynağındaki kaynak hızı ( $V_k$ ) 13 ile 28 cm/dk arasında değişmektedir.

Dikkat çeken bir diğer husus kaynak yapılan saçın inceliğidir. Kaynak hızı artırılarak bölüm 3.2.1.2.6 'da anlatıldığı gibi düşük ısı girdisiyle kaynak yapılan metal delinmeden , kaynak banyosu ufak tutularak kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 4.6 MAG kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri

Kaynak Teli Kesit Alanı $F_t$ (mm <sup>2</sup> )	Kaynak Akımı $I$ (A)	Kaynak Gerilimi $U$ (V)	Kaynak Teli Hızı $V_t$ (cm/dk)	Kesit Alanı $F_k$ (mm <sup>2</sup> )	Kaynak Hızı $V_K$ (cm/dk)	Verim Katsayısı	Birim Dikiş Enerjisi $q$ (kJ/cm)
1,1	200	25	436,3	1,6	300	0,85	0,85
1,1	300	26	290,9	1,6	200	0,85	1,98
1,1	330	29	218,1	1,6	150	0,85	3,25

Çizelge 4.7 MAG kaynağında birim dikiş enerjisinin kaynak hızına göre değişimi



Çizelge 4.7'de azalan kaynak hızına bağlı olarak birim dikiş enerjisindeki artış görülmektedir. Bu değişim bölüm 3.2.1 'de verilmiş (3.3) no'lu eşitliğe ve 3.2.1.2.6'da verilen bilgilere uymaktadır. Eşitlikte kaynak hızı ile birim dikiş enerjisi ters orantılı olarak değişmektedir.

#### 4.1.3.2 Toz Altı Kaynak Yönteminde Birim Dikiş Enerjisinin Değişimi

Toz altı kaynak yönteminde birim dikiş enerjisinin hesaplanmasında (3.10) no'lu süreklilik denklemi ve (3.2) no'lu birim dikiş enerjisi eşitliklerinden yararlanılmaktadır. Bu kaynak işlemi tam otomatik bir kaynak işlemidir. Bunun nedeni kaynak teli otomatik olarak istenilen hızda besleme ünitesi tarafından kaynak bölgesine gönderilmekte ve aynı zamanda kaynak tabancasını taşıyan kaynak arabası belirlenen hızda ilerlemektedir.

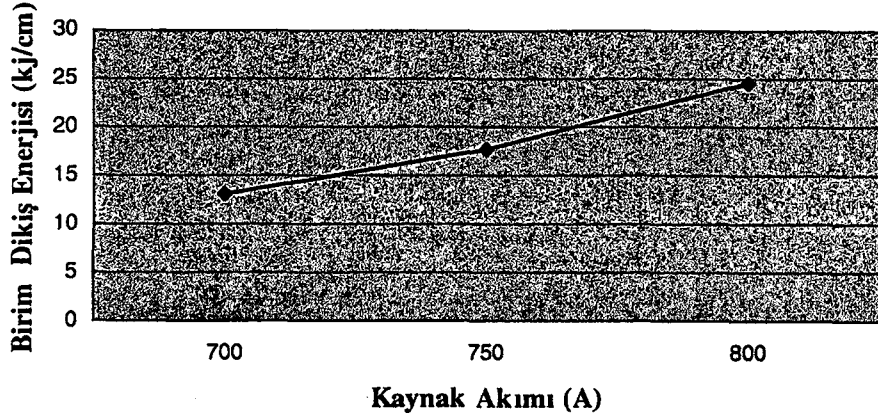
Kaynak işleminden önce tel çapı, kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı ve kesit derinliği önceden belirlenmiştir. Kaynak işlemi 6,3 mm kalınlığındaki çelik bir parçada tek pasoda  $d=4,7$  mm çapındaki kaynak teli ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak akımı ve kaynak gerilim değerleri ve kaynakçı tarafından ayarlanan işlemde kaynak teli hızı (3.10) no'lu süreklilik eşitliğiyle hesaplanmıştır ve hesaplanan değerler çizelge 4.8'de görülmektedir.

Çizelge 4.8 Toz altı kaynağı için çalışma değerleri ve elde edilen birim dikiş enerjileri

Kaynak Teli Kesit Alanı $F_t(\text{mm}^2)$	Kaynak Akımı $I$ (A)	Kaynak Gerilimi $U$ (V)	Kaynak Teli Hızı $V_t$ (cm/dk)	Kesit Alanı $F_k$ (mm <sup>2</sup> )	Kaynak Hızı $V_K$ (cm/dk)	Verim Katsayısı	Birim Dikiş Enerjisi $q$ (kJ/cm)
17,3	700	28	114	26	76	0,85	13,1
17,3	750	29	94	26	63	0,85	17,6
17,3	800	30	75	26	50	0,85	24,5

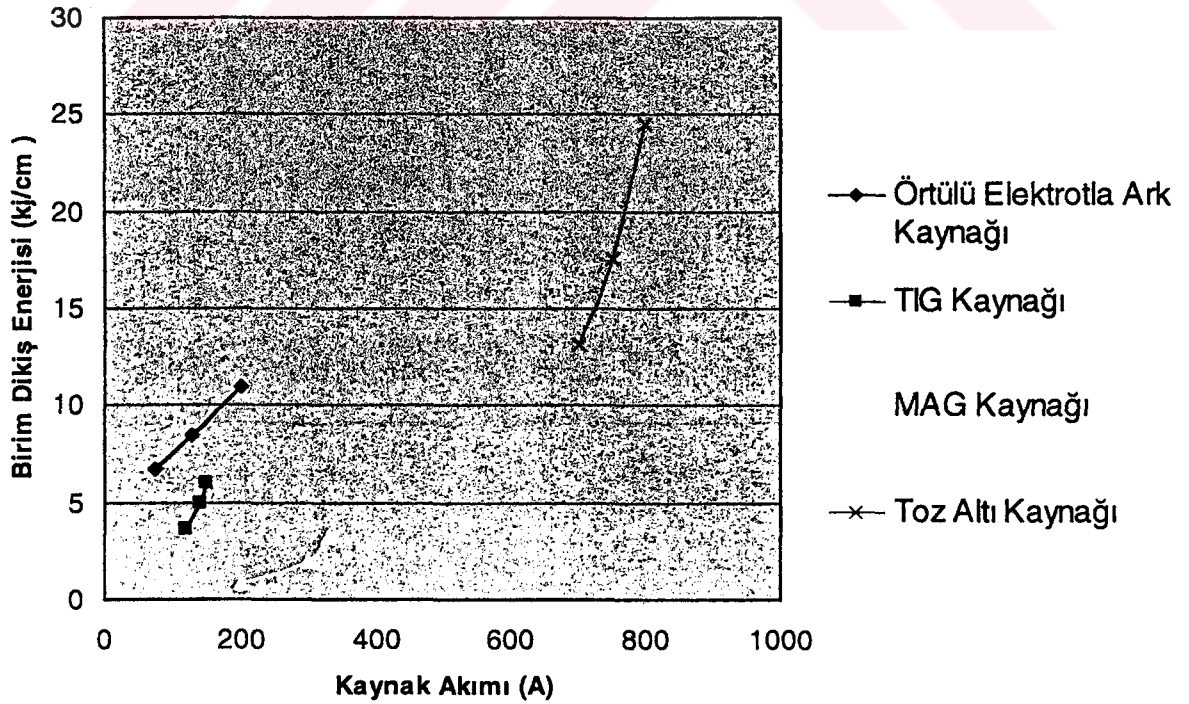
Çizelge 4.8 'de toz altı kaynağındaki yüksek akım şiddetleri görülmektedir. İşlem otomatik olarak gerçekleştirildiğinde yüksek akım değerlerine çıkılabilmektedir. Birim dikiş enerjileri yüksek akım değerlerinde çalışmaktan dolayı yüksektir. Bu kadar birim dikiş enerjisinin yüksek olmasının nedeni kaynak işlemi gerçekleştirilen parçanın kalınlığıdır. Parça kalınlığı arttıkça nüfuziyeti sağlamak için dikiş enerjisi artırılmış ve kaynak hızı düşürülerek birim dikiş enerjisinin artışı yükseltilmiştir. Ayrıca parça kalınlığı fazla olduğundan bölüm 3.2.1.2.1'de verilen (3.6) eşitliğine göre ısının transfer edildiği alan artacağından yüksek birim dikiş enerjisiyle çalışılması uygundur. Çizelge 4.9'daki grafikte de yüksek akım şiddetleri ve yüksek birim dikiş enerjileri arasındaki ilişki görülmektedir.

Çizelge 4.9 Toz altı kaynağında kaynak akımına göre birim dikiş enerjisinin değişimi



#### 4.1.4 Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı ,TIG Kaynağı,MAG Kaynağı,Toz Altı Kaynak Yöntemlerinin Kaynak Akımı Ve Kaynak Hızı Açısından Birim Dikiş Enerjilerinin Karşılaştırılması

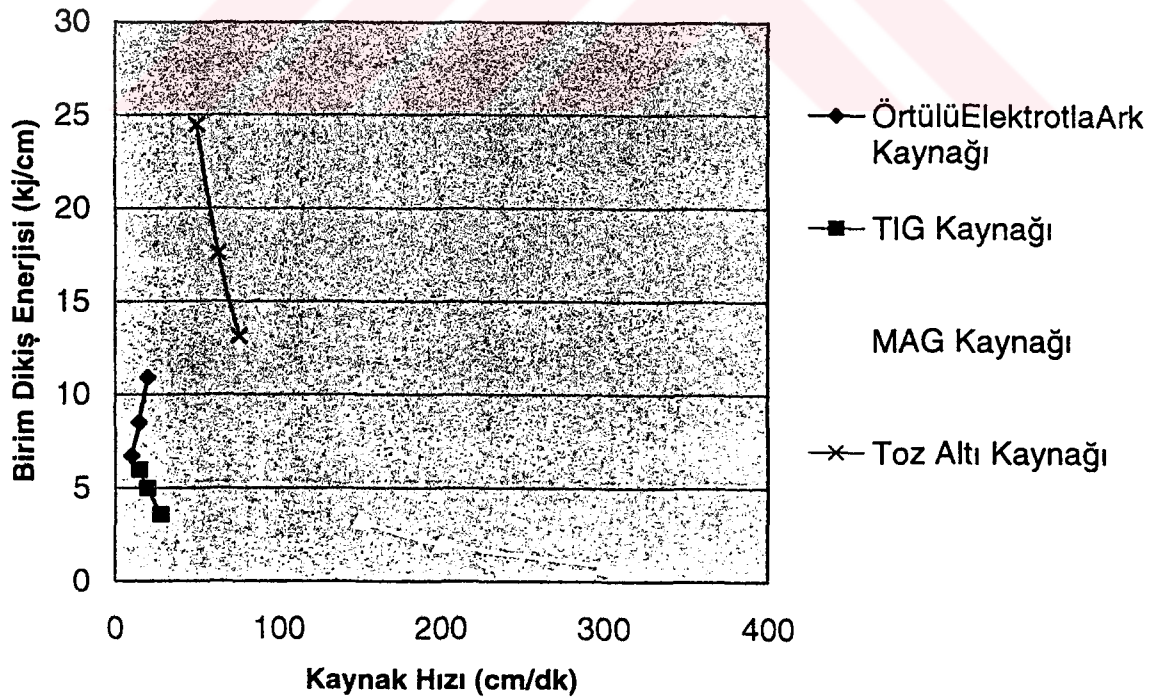
Çizelge 4.10'da Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı, TIG Kaynağı, MAG Kaynağı, Toz Altı Kaynak Yöntemlerinin kaynak akımı ve kaynak hızı açısından birim dikiş enerjilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Çizelge 4.10 Kaynak yöntemlerinin birim dikiş enerjilerinin kaynak akımına göre değişimi

Çizelge 4.10 incelenirse toz altı kaynak yönteminin otomatik bir kaynak yöntemi olmasından dolayı ne kadar yüksek akım şiddetlerinde çalıştığı görülmektedir. Akım şiddetleri 800 A kadar çıkmaktadır. MAG kaynağı da yarı otomatik bir kaynak yöntemi olarak yüksek akım değerlerinde(330 A) çalışabilen diğer bir kaynak yöntemidir.

Örtülü elektrotla ark kaynağı ve TIG kaynağı elle gerçekleştirilen kaynak yöntemleri olduğundan çalıştıkları akım şiddetleri toz altı ve MAG kaynak yöntemlerine göre daha düşüktür. Ayrıca akım şiddetlerindeki düşük değerler birim dikiş enerjilerini de etkilemektedir. Örtülü elektrotla ark kaynağında kaynak hızı biraz daha düşük olduğundan birim dikiş enerjisi daha yüksektir. Birim dikiş enerjisinin yüksek olması daha kalın parçalarda gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde önem kazanmaktadır. İnce saçların kaynağında çizelge 4.10'dan görüldüğü gibi birim dikiş enerjisi düşük yöntemler daha uygundur. MAG kaynak yöntemi yüksek akım değerlerinde çalışmasına rağmen birim dikiş enerjisi düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin çizelge 4.11 verilen grafikte kaynak hızı olduğu görülmektedir. MAG kaynak yönteminin kaynak hızı diğer yöntemlerden çok fazladır. Yüksek kaynak hızlarında çalışmaya izin verdiği için verimi yükseltmektedir.



Çizelge 4.11 Kaynak yöntemlerinin birim dikiş enerjilerinin kaynak hızına göre değişimi

Toz altı kaynağının birim dikiş enerji 25 kJ/cm kadar çıkmıştır ve bu esnadaki kaynak hızı 60 cm/dk olarak grafikten okunmaktadır. Dikiş enerjisinin yüksekliğinin nedeni kaynak işleminin gerçekleştirildiği parçanın kalınlığıdır. Kaynak işlemi toz altı kaynak işleminde 6,3 mm kalınlığında bir plakaya gerçekleştirilirken, parça kalınlığı MAG kaynağında 1,3mm kalınlığındaki bir saça, TIG kaynağında 2mm kalınlığındaki bir saça ve örtülü elektrotla ark kaynağında 2mm, 3mm, 4,5mm kalınlığındaki metal plakalara gerçekleştirilmiştir.

Sonuçta toz altı kaynak yönteminde ve MAG kaynak yönteminde, yüksek birim dikiş enerjilerine ve kaynak hızlarına kaynak yönteminin otomatik ve yarı otomatik olarak gerçekleştirilmelerinden dolayı ulaşılabilmekte, TIG ve örtülü elektrotla ark kaynağı yönteminde ise daha düşük birim dikiş enerjisi ve kaynak hızlarında işlemler elle kaynakçılar tarafından gerçekleştirilmektedir. Buda bu yöntemlerin verimliliğinin düşük olmasına etki etmektedir.

#### **4.2 Ergime Oranına ve Paso Sayısına Bağlı Olarak Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonunun Değişimi**

Kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu, temel olarak onu oluşturan ana ve ilave metalin kompozisyonundan meydana gelir. Ana metalin ve ilave metalin ergime oranına bağlı olarak kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu belirlenir. Ergime oranı kaynak metalinde bulunan ana metal miktarıdır. Ana metal (z) ve ilave metal (t) ile gösterilirse ergime oranı (3.1) no'lu eşitlikle hesaplanır.

$$E = (z / (z+t)) \quad (3.1)$$

Ergime oranını temel olarak ısı girdisi belirler. Fakat kaynak işleminde kaynak metalinde sorun çıkmaması için kaynak metali kaynak edilecek metallere aynı kompozisyonda olmasına dikkat edilir. Eğer herhangi bir elementin yüzdesi ana metalde yüksek ise ilave metalde az olması istenir. Örnek olarak karbon elementi kaynak metalinde artacak olursa kaynak bölgesinin sertliği artar ve mukavemeti azalır. Fakat yanma kayıplarıyla azalan Si, Mn gibi elementlerde ana metaldeki oranı belli değerlerin altında ise bu değer artırılmak için ilave metal bu elementlerce yüksek yüzdeleri olarak seçilir.

Ergime oranı kaynak işlemi öncesinde istenilen kompozisyona uygun olarak seçilir ve bu ergime oranı için kaynak işlemi şartları tayin edilir. Bir elementin kaynak metalindeki yüzde miktarı,

$$C_k = C_e + E.(C_m - C_e) \quad (4.1)$$

C<sub>k</sub>: İlgili elementin kaynak metalindeki yüzdesi ,

C<sub>e</sub>: İlgili elementin ilave metaldeki yüzdesi,

E: Ana metalin ergime oranı ,

C<sub>m</sub>: İlgili elementin ana metaldeki yüzdesi

(4.1) no'lu eşitlik ile hesaplanır. Alaşımsız çelik ,paslanmaz çelik ve alüminyum metallerinin çeşitli ergime oranlarında kaynak işlemleri gerçekleştirilmiş ve ergime oranına bağlı olarak kaynak işleminden sonra kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu değişimi incelenmiştir.

#### 4.2.1 Ergime Oranına Göre Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonunun Değişimi

Kaynak işlemi için seçilmiş ana ve ilave metallerin kimyasal kompozisyonları çizelge 4.12'de görülmektedir. Kaynak elektrotu ilgili katoloktan ana metale uygun olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.12 Kaynak işleminde kullanılan metallerin kimyasal kompozisyonları

Ana Malzeme Türü	Ana Metalin Kimyasal Kompozisyon	İlave Metalin Türü	İlave Metalin Kimyasal Kompozisyonu
St 37	% 0,17 C % 0,30 Si % 0,3 Mn	E 42 2 Mo C 21	% 0,1 C % 0,5Mn % 0,20 Si % 0,4 Mo

Örtülü elektrotla gerçekleştirilen kaynak işleminde St 37 ana metal ile E 42 2 Mo C 21 ilave metal ile kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. Kimyasal bileşimlerini incelediğinde ana metalde Mo, kaynak elektrotunda da P ve S bulunmamaktadır. Bir diğer hususta iki metalin karbon farkıdır.

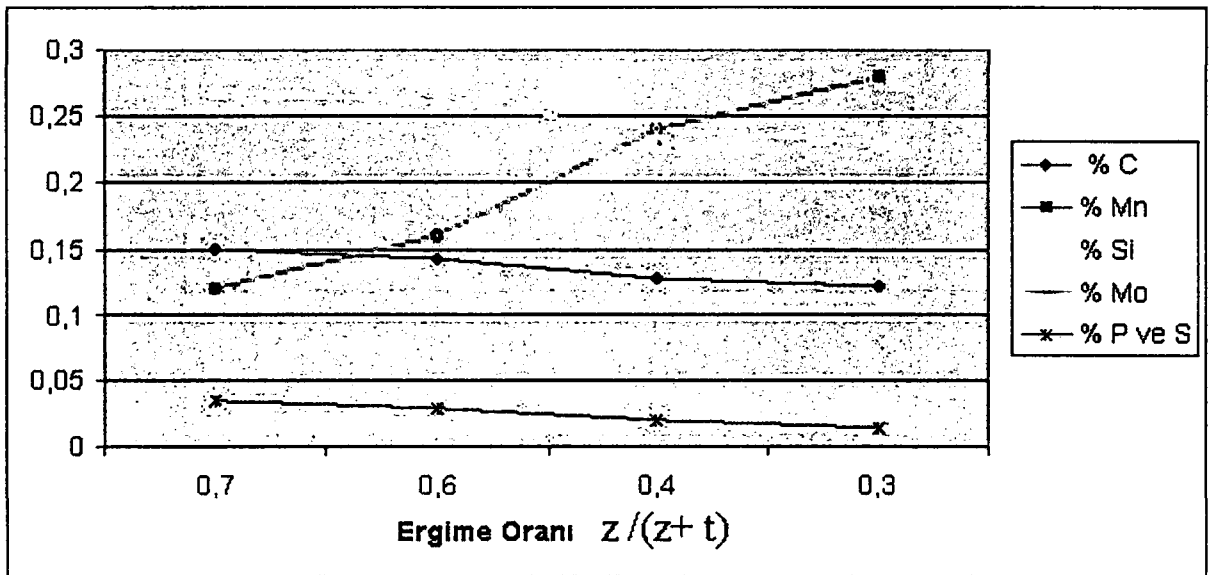
Çizelge 4.13'de ana ve ilave metallerin kimyasal bileşimine göre kaynak metalinin farklı ergime oranlarındaki kimyasal kompozisyonu görülmektedir. Kimyasal kompozisyonların hesaplanmasında (4.1) no'lu eşitlikten yararlanılmıştır. Hesaplamalarda yanma kayıpları ve difüzyon olmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 4.13 Kimyasal kompozisyonların ergime oranına göre değişimi

Kimyasal Kompozisyon	C	Mn	Si	Mo	P	S
Ana Metal	0,17	0,3	0,3	0	0,05	0,05
İlave Metal	0,1	0,5	0,2	0,4	-	-
Kaynak	Metalinin	Ergime	Oranına	Göre	Kompozisyonu	
E=0,7	0,149	0,36	0,27	0,12	0,035	0,035
E=0,6	0,142	0,38	0,26	0,16	0,03	0,03
E=0,4	0,128	0,40	0,24	0,24	0,02	0,02
E=0,3	0,121	0,42	0,23	0,28	0,015	0,015

Kaynak metali ana ve ilave metallerin karışımından oluştuğu için çizelge 4.14'de verilmiş grafiğe bakılırsa ana metalin ergime oranındaki azalmaya göre kaynak metalindeki % Mo ve Mn miktarı artmaktadır. Mn ve Mo'denin kimyasal oranları birbirine çok yakın olduğundan çizelge 4.14'de çakışık olarak görülmektedir. Aynı şekilde ergime oranının azalmasına bağlı olarak kaynak metalinin C, Si miktarının P ve S'tunda kaynak metalinde azaldığı görülmektedir. Bölüm 3.3.2.2 anlatılan kaynak metalinde segragasyonların olmaması için istenen % P ve S <0,025 şartı da kaynak işleminde ana metalin kaynak metalinde 0,4 ve 0,3 ergime oranında bulunduğu kimyasal kompozisyonda sağlanmıştır.

Çizelge 4.14 Ergime oranına göre kaynak metalinin kimyasal bileşiminin değişimi



**4.2.2 Paso Sayısına Göre Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonunun Değişimi**  
Ergime oranının azalması esas olarak çok pasolu olarak gerçekleştirilen bir kaynak işlemi olarak düşünülebilir. Bölüm 3.2.1.2.3’de anlatıldığı gibi paso sayısı arttıkça eritilen ana metal azalmakta ve ilave metal miktarı artmaktadır. 1. pasoda kaynak metali yalnız ilave metal ve ana metalden meydana gelirken ,2.pasoda ilk pasoda oluşan kaynak metali ,ilave metal ve ana metalden oluşmaktadır. Paso sayısı arttıkça kaynak metali, ilave metalin kompozisyonuna yaklaşmaktadır. Paso sayısının kaynak işlemindeki kimyasal kompozisyonun değişimini nasıl etkilediğini TIG kaynak yöntemiyle gerçekleştirilen alüminyumun birleştirilmesi işleminde incelenmiştir.

Çizelge 4.15 Kaynak işleminde kullanılan metallerin kimyasal kompozisyonları

Ana Malzeme Türü	Ana Metalin Kimyasal Kompozisyon	İlave Metalin Türü	İlave Metalin Kimyasal Kompozisyonu
Al Mg 5	% 95 Al % 5 Mg	SG-Al Mg 5	% 94 Al % 5 Mg % 0,1 Si % 0,4 Fe % 0,15 Mn % 0,13 Cr% 0,1 Ti

Bu hesaplamada ana metal Al Mg 5, ilave metal SG-Al Mg 5 seçilmiştir. Ana metalde , Si,Mn ,Cr ,Ti bulunmamaktadır. İlave metalde bu elementlerin bulunmasının nedeni alüminyumun çok çabuk oksitlenmesidir. Bu nedenle yanma kayıplarını önlemek ve alüminyum-oksitin oluşmasını engellemek için bölüm 3.3.2.1.2’de anlatılan deoksidan elementler (Si,Ti,Mn) ilave metalde vardır.

Kaynak işlemi dört pasoda gerçekleştirilmiştir. İlk pasodan itibaren ana metalin ergime oranı azaltılmıştır. Hesaplamalarda yanma kayıpları ve difüzyon olmadığı kabul edilmiştir. Ergime oranları çizelge 4.16’da görülmektedir.

Çizelge 4.16 Ergime oranları

	Ana metal	İlave metal	Kaynak metali
<b>1 .PASO</b>	0,8	0,2	0
<b>2 .PASO</b>	0,6	0,3	0,1
<b>3 .PASO</b>	0,4	0,3	0,3
<b>4 .PASO</b>	0	0,5	0,5

Çizelge 4.16 incelenirse 1. pasoda kaynak metali daha oluşmadığı için kaynak metalinin ergime oranının olmadığını ve 4. pasoda ana metalin hiç ergime oranının olmadığını görülmektedir.

Çizelge 4.17 Kimyasal kompozisyonların paso sayısına göre değişimi

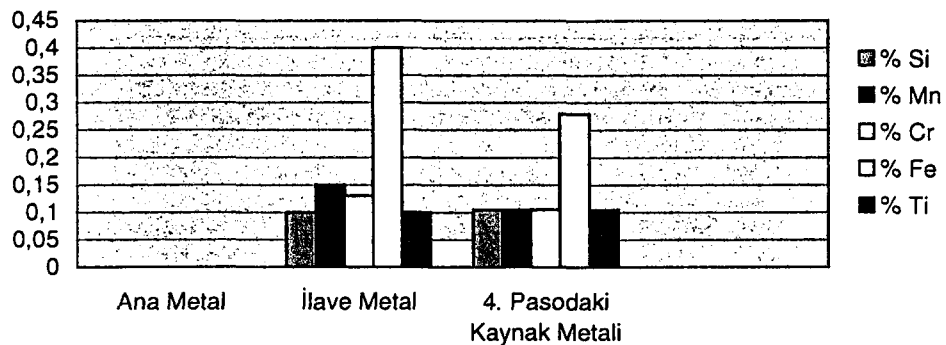
Kaynak Metalinin Kompozisyonu	Al	Mg	Si	Mn	Cr	Fe	Ti
1 .PASO	94,8	5	0,02	0,03	0,026	0,08	0,02
2 .PASO	94,68	5	0,047	0,048	0,0476	0,128	0,047
3 .PASO	94,604	5	0,0591	0,0594	0,05928	0,1584	0,0591
4 .PASO	94,3	5	0,10455	0,1047	0,10464	0,2792	0,10455

Çizelge 4.17’de kaynak metalinin her paso sonundaki kimyasal kompozisyonunun değişimi görülmektedir. İlerleyen pasolarda çekilen her pasonun kimyasal bileşiminin kendisinden sonra çekilen pasoların kimyasal bileşimine etkilediği görülmektedir.

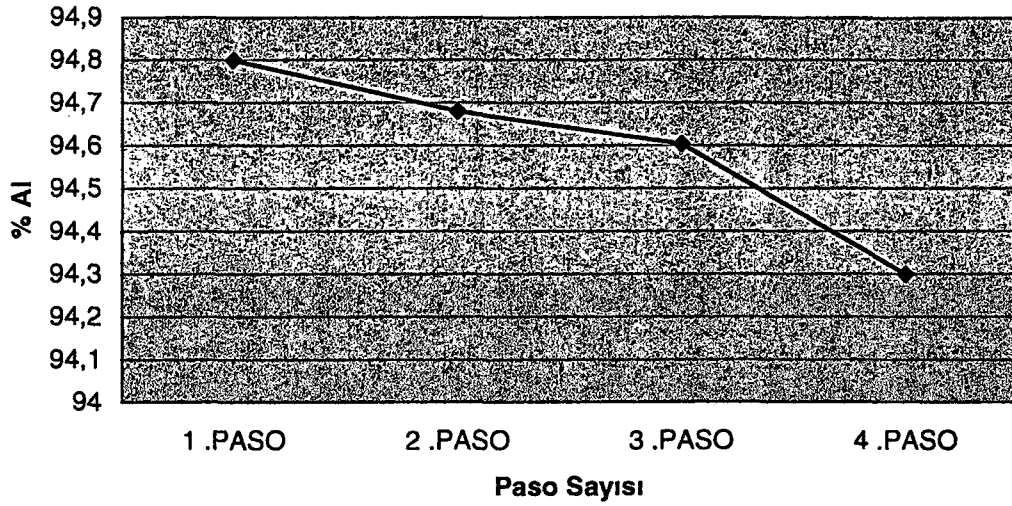
Çizelge 4.18 Ana metal ilave metalin ve son pasodaki kaynak metalinin kimyasal kompozisyonlarının karşılaştırılması

Kimyasal Kompozisyon	Al	Mg	Si	Mn	Cr	Fe	Ti
Ana Metal	95	5	0	0	0	0	0
İlave Metal	94	5	0,1	0,15	0,13	0,4	0,1
4.Pasodaki Kaynak Metali	94,3	5	0,104	0,104	0,104	0,27	0,104

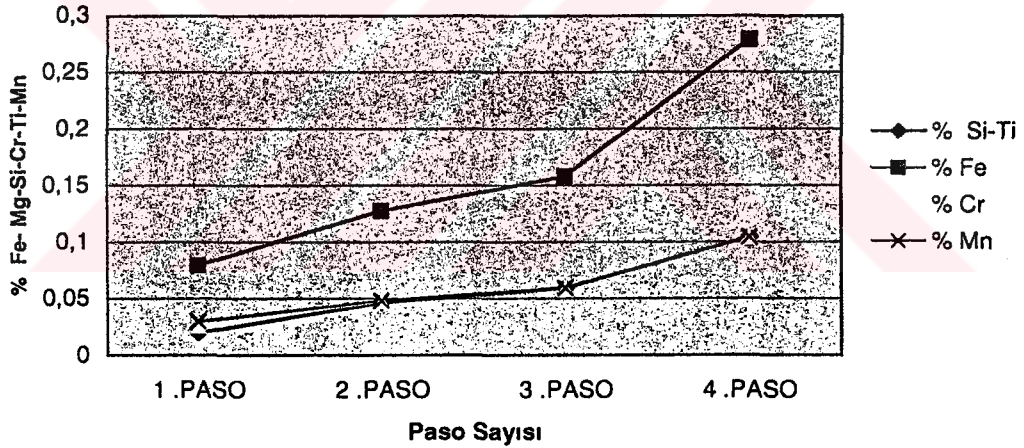
Çizelge 4.19 Ana metal ilave metalin ve son pasodaki kaynak metalinin kimyasal kompozisyonlarının karşılaştırılması



Çizelge 4.20 % Alüminyum Miktarının Paso Sayına Göre Değişimi



Çizelge 4.21 % Fe- Si-Mg-Cr-Ti-Mn Paso Sayına Göre Değişimi



Çizelge 4.18'de ilave metalin ,ana metalin ve 4. pasoda elde edilen kaynak metalinin kimyasal kompozisyonları karşılaştırılarak verilmektedir. Çekilen her pasoda kaynak metalinin kimyasal bileşiminin bölüm 3.2.1.2.3'te belirtildiği gibi ilave metalin kompozisyonuna yaklaştığı görülmektedir. Al miktarının ilave metalde az olmasında dolayı zamanla % Al azalmakta ve Si,Mn ,Cr ,Ti ana metalde bulunmadığından zamanla ilave metalden kaynak metaline geçmekte ve kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunda bulunmaktadır. Çizelge 4.19'deki grafikte ana metalde Si,Mn ,Cr ,Fe ve Ti bulunmadığında ana metalde görülmemektedirler fakat çizelge 4.21 'de paso sayısı arttıkça miktarlarındaki değişim görülmektedir.

### 4.3 Malzeme Isı İletim Katsayısının Kaynak Metalinin Kimyasal Kompozisyonuna Etkisi

Çizelge 4.22'de hesaplamalarda kullanılan ana metallerin fiziksel özellikleri görülmektedir.

Çizelge 4.22 Kaynak işleminde kullanılan metallerin fiziksel özellikleri

Malzeme Türü	Özgül Isı Değeri (cal/g. °C)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Isı İletim Katsayısı (cal/cm.°C)	Bir gramını eritmek için gerekli olan enerji (kj)
St 37	0,126	1490	0,12	0,775
X 7 Cr Ni 18 8	0,12	1420	0,035	0,703
Al Mg 5	0,245	605	0,28	0,600

Bilindiği gibi bir gram metali eritmek için gerekli olan ısı miktarı

$$Q_e = m_m \cdot c_m \cdot \Delta T_m \quad (3.7)$$

$Q_e$ : Metali eritmek için gerekli olan enerji (kj),

$m_m$ : eritilecek metal kütlesi (g),

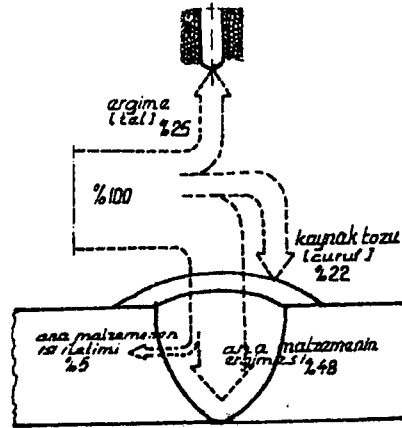
$c_m$ : Metalin özısı katsayısı (kj/g.°C),

$\Delta T_m$ : Metalin ergime sıcaklığı ile ortam arasındaki sıcaklık farkı (°C)

eşitliği ile hesaplanır. Çizelge 4.22 incelendiğinde bir gramlarını eritmek için gerekli olan enerji miktarları hemen hemen aynıdır. Bunun nedeni alüminyumun özısı değerinin çelik alaşımlarının yaklaşık iki katı olması ve ergime sıcaklığının çelik alaşımlarının yarısı olmasıdır. Bu nedenle bu iki faktör birbirinin dengeleyerek gerekli ısı miktarının aynı olmasını sağlamaktadır.

Burada dikkat çeken diğer bir husus paslanmaz çeliğin ısı iletim katsayısıdır. Paslanmaz çeliğin ısı iletim katsayısı alaşımsız çeliğin ısı iletim katsayısının yaklaşık üçte biri, alüminyumun ise sekize biridir. Buda aynı kaynak işlemi koşullarında, bir paslanmaz çelik ile alaşımsız çelik kaynak edilirken, ısı iletim katsayısı büyük olan alaşımsız çelikten iletimle ısı kaçış miktarı paslanmaz çeliğin üç katı olmaktadır. Bu nedenle aynı ergime oranında ergimeleri için alaşımsız çelik üç kat daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacaktır.

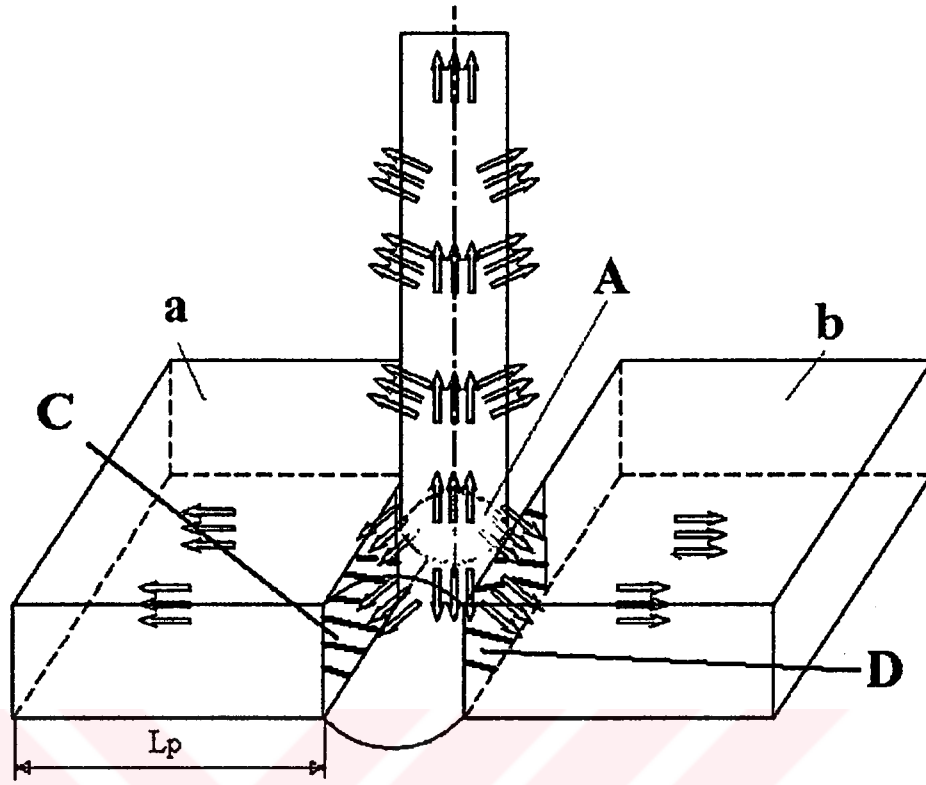
### 4.3.1 Kaynak İşlemi İçin Isı Transferi Modeli ve Toz Altı Kaynağındaki Uygulaması



Şekil 4.1 Toz altı kaynağında enerjinin dağılımı

Bu kısımda alaşımsız çelik ile paslanmaz çeliğin kaynak işlemini incelenmiştir. Şekil 4.1' de toz altı kaynak yöntemiyle gerçekleştirilen kaynak işleminde elde edilen enerjinin ilave metali eritmek için % 25'i, ana metali eritmede kullanılan enerjinin de % 48 olduğu görülmektedir. İşlemde ana malzeme olarak farklı iki metal kullanıldığı için ısı kaçıışı ana metalden farklı şartlarda gerçekleşecektir. Burada dikkat edilecek nokta kaynak makinesinden gelen elektrik enerjisinin, ana malzemeleri eritmek ve ana malzemelerden kaçan ısı miktarı olarak toplam enerjinin % 53 olduğudur. Bu ergime verimi çok yüksektir. Kaynak yöntemleri içinde verim katsayısı en yüksek olan kaynak yöntemi toz altı kaynağıdır. Bunun nedeni kaynak işleminin koruyucu bir toz altında gerçekleşmesidir. İşlem esnasında taşınımla havaya ısı enerjisi transfer edilmemekte boyu kısa olduğu için iletimle ısı transferi çok küçük olmakta, ışınlı enerji kayıpları gerçekleşmemekte ve sıçrama kayıpları oluşmamaktadır.

Yüksek verim nedeniyle toz altı kaynağı için şekil 4.2'de görülen ısı transferi modeli geliştirilmiştir. İşlemlerde kaynak telini eritmede kullanılan enerji miktarı ve tozu eritmede kullanılan enerji miktarları hesaplamalara katılmamıştır.



Şekil 4.2 Kaynak işlemi için ısı transferi modeli

Teorik olarak elde edilen enerjinin % 53'ü ana metale transfer edilmekte ve yukarıdaki şekil 4.1 'deki enerji dağılımı kabulüne göre bu enerjinin % 48'i ana metali ergitmede kullanılmaktadır. Şekil 4.2'de ise ana metalde gerçekleşen ısı transferi işlemi görülmektedir. Dikkat edilirse ısı transferi metalsel banyo içersine şekil.4.2'de A ile gösterilmiş sarı bölgeden (A), kaynak teli çapından gerçekleşmektedir. Isı kaçıışı da ana metallerde şekil 4.2'de görülen C ve D ile gösterilen parçanın kaynak ağzı bölgelerinden gerçekleşir. Bu modelde birim zamanda kaçan ısının kaynak ağzı bölgelerinden kaçtığı ve kaçan ısının sabit kabul edilmiştir. Ayrıca birim zaman kaynak dikişlerinden kaçan enerjinin sabit olmasından dolayı, kaçamayan enerji ana metalleri ergitmede kullanılmış ve kaynak metalinde ısı yükselmesine sebep olmadığı kabulü yapılmıştır. Ana metallere kaçan ısının tek boyutlu ısı transferi ile kaçtığı kabulü yapılmıştır. Kaynak işlemi esnasında birim dikiş enerjisiyle cm 'ye verilen enerji hesaplanabildiğinden hesaplamalarda ısının kaçtığı alan, parça kalınlığı ile 1 cm'lik kaynak dikişinden gerçekleştiği kabul edilmiştir.

İşlemden önce 6,3 mm kalınlığındaki  $L_p=5$  cm olan bir plakada  $d=4,7$  mm çapındaki telle tek pasoda gerçekleşmektedir. Isının transfer edildiği alan 1 cm kaynak dikişi boyunda

$1 * 0,63 = 0,63 \text{ cm}^2$  'dir.

Ayrıca işlemde kullanılan şekil 4.2' de a ile gösterilmiş St 37 ile b harfiyle gösterilmiş X 7 Cr Ni 18 8 paslanmaz çeliğin birim zamanda ergime oranları 1:3 oranında kabul edilmiştir. Çünkü paslanmaz çeliğin ısı iletim katsayısı alaşımsız çeliğin üçte biri olduğu için paslanmaz çelikten ısı kaçıışı üçte biri oranında daha azdır ve yukarıda yapılan ergime modeli kabulüne göre paslanmaz çeliği eritme kullanılan enerji alaşımsız çelikte kullanılanın üç katıdır. Bu kabulün bir nedeni bir gramlarını eritmek için gerekli enerji miktarlarının çizelge 4.22'de gösterildiği gibi birbirlerine çok yakın olmasıdır.

Çizelge 4.23 Toz altı kaynak yöntemi için kaynak işleminde kullanılan metallere birim zamanda kaçan ısı miktarları

Malzeme Türü	Dikiş Sıcaklığı (°C)	Isı İletim Katsayısı (cal/cm. °C)	Isının transfer edildiği alan (cm <sup>2</sup> )	1 cm'lik kaynak dikişinden ana metale kaçan ısı miktarı (kj)
St 37	1000	0,12	0,63	0,062
X 7 Cr Ni 18 8	1000	0,035	0,63	0,018

Çizelge 4.23'te ana metallere birim zamanda kaçan ısılar görülmektedir. Çalışma şartlarına göre elde edilen enerji (3.3) no'lu eşitlikle hesaplanmış ve Şekil 4.1'deki enerji dağılımı kabulüne göre çizelge 4.24'teki şekilde enerji miktarları paylaştırılmıştır.

Çizelge 4.24 Toz altı kaynak yöntemi için kaynak işleminde değerleri ve birim zamanda ana metali eriten ve ana metal üzerinden kaçan enerji miktarları

Ortalama Kaynak Hızı (cm/dk)	Ortalama Kaynak Akımı (A)	Ortalama Kaynak Gerilimi (V)	Elde edilen enerji (kj/cm) (B)	Kabule Göre Ana Malzemeden Kaçan Isı Miktarı (kj/cm) (X)	Ana Metali Ergiten Enerji (kj) (Y)	1 cm'lik Kaynak Dikişinden Ana Metallere Kaçan Isı Miktarı (kj) (Z)
76	700	28	15,47	0,77	7,42	0,08

Kaynak işlemi esnasında ana metalden şekil 4.1'deki kabule göre kaçan ısı miktarı X, ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarına Y ve şekil 4.2'deki ısı transferi modeline göre birim zamanda ana malzemelerden kaçan ısı miktarına Z denilirse ;

$$X - Z = M$$

kadar daha enerji ana metale transfer edilmez ve modele göre bu artan enerji ergitmede kullanılır. Bunun nedeni birim zamanında ana metallere kaçan ısı miktarının sabit olmasıdır. Burada (M) kaynak metalinde hapis olan enerjidir. Bu durumda M kadar enerji fazlası ortaya çıkar.

$$X - Z = M$$

$$0,77 - 0,08 = 0,69 \text{ kJ} = M$$

İlk durumda 7,42 kJ enerji ile çizelge 4.20 'deki değerlere göre 2,40 gr alaşımsız çelik ve 7,91 gr paslanmaz çelik eritilebilir. Fakat (M) enerji fazlası da ergitme işleminde kullanılırsa

$$Y + M = E$$

$$7,42 + 0,69 = 8,11 \text{ kJ} = E$$

olur. Bu durumda ısı iletim katsayıları oranlarına ters orantılı olarak enerji paylaştırılırsa yeni durumda 8,11 kJ enerji ile çizelge 4.20 'deki değerlere göre 8,65 gr paslanmaz çelik, 2,63 gr da alaşımsız çelik eritilir.

Yapılan verim kabulünü incelenirse, şekil 4.1'deki enerji dağılımına göre ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarı % 48 'dir. Şekil 4.2'deki ısı transferi modeline göre ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarı

$$\frac{(Y+M)}{B} * 100 = \frac{8,11}{15,47} * 100 = \% 52$$

dir. Isı transferi modeli ile enerji dağılımı arasındaki fark %4' dir. Bu fark küçük bir farktır ve model şekil 4.1'deki enerji dağılımına uygun bir sonuç vermiştir.

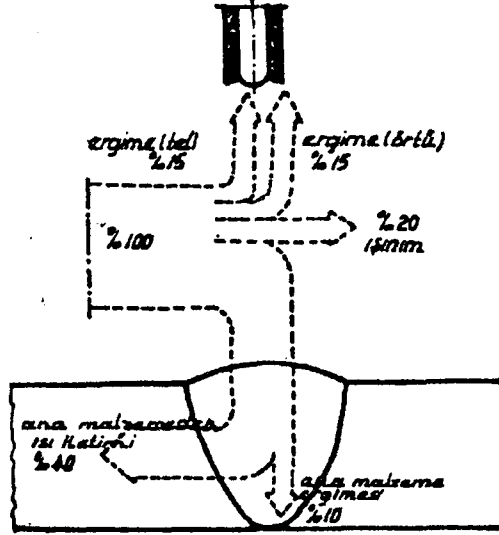
Şekil 4.1'deki enerji dağılımına uygun olarak toz altı kaynağı için enerji dağılımını bir eşitlikle ifade edilmiştir.

$$Q = Q_i + Q_c + Q_a + Q_{ai} \quad (4.3)$$

Bu eşitlikte

- Q: Kaynak makinesinin verdiği enerji ,  $Q = (60 \cdot V \cdot I \cdot L_k) / (1000 \cdot V_k)$  (kj)  
 V: Kaynak gerilimi, (V)  
 I: Kaynak akımı, (A)  
 V<sub>k</sub>: Kaynak hızı (cm/dk)  
 L<sub>k</sub>: Toplam kaynak dikişi uzunluğu (cm)
- Q<sub>c</sub>: Tozu ergitmede kullanılan enerji, (kj)
- Q<sub>i</sub>: Kaynak telini ergitmede kullanılan enerji (kj)
- Q<sub>a</sub>: Ana metali ergitmede kullanılan enerji  $Q_a = m_a \cdot c_a \cdot \Delta T$  (kj)  
 m<sub>a</sub> : Ergitilen ana metalin kütlesi (g)  
 c<sub>a</sub> : Ana metalin öz ısı katsayısı (kj/g.°C)  
 ΔT : Sıcaklık farkı (°C)
- Q<sub>ai</sub>: Ana metalden iletimle kaybedilen enerji miktarı  $Q_{ai} = (k_{ai} \cdot A_T \cdot \Delta T) / L_p$  (kj)  
 k<sub>ai</sub> : Ana metalin ısı iletim katsayısı (kj/cm.°C)  
 A<sub>T</sub>: Isının transfer edildiği toplam yüzey (Kaynak ağzı alanı) (cm<sup>2</sup>)  
 ΔT: Sıcaklık farkı (°C)  
 L<sub>p</sub> : Isının transfer edildiği yüzey doğrultusundaki parça boyu (cm)

### 4.3.2 Isı Transferi Modelinin Örtülü Elektrotla Ark Kaynağına Uygulaması



Şekil 4.3 Örtülü elektrotla ark kaynağında enerjinin dağılımı

Şekil 4.3'te örtülü elektrotla ark kaynağındaki enerji dağılımları görülmektedir. Elde edilen enerjinin sadece % 10'u ana metalleri eritmede kullanılmaktadır. Ana metallerden kaçan ısı miktarı da elde edilen enerjinin % 40'dır.

İşlemden önce 4,5 mm kalınlığındaki  $L_p=5$  cm olan bir plakada  $d=4$  mm çapındaki elektrotla tek pasoda gerçekleştirilmektedir. İşlemden önce  $K$  düzeltme katsayısı 50 alınmıştır. Isının transfer edildiği alan 1 cm kaynak dikişi boyunda

$$1 * 0,63 = 0,63 \text{ cm}^2 \text{ 'dir.}$$

Çizelge 4.25 Örtülü Elektrotla ark kaynağı yöntemi için kaynak işleminde kullanılan metallerden birim zamanda kaçan ısı miktarları

Malzeme Türü	Dikiş Sıcaklığı (°C)	Isı İletim Katsayısı (cal/cm. °C)	Isının transfer edildiği alan (cm <sup>2</sup> )	1 cm'lik kaynak dikişinden ana metale kaçan ısı miktarı (kj)
St 37	1000	0,12	0,45	0,044
X 7 Cr Ni 18 8	1000	0,035	0,45	0,012

Çizelge 4.25'te ana metallerden birim zamanda kaçan ısılar görülmektedir. Çalışma şartlarına göre elde edilen enerji (3.3) no'lu eşitlikle hesaplanmış ve Şekil 4.3'deki

enerji dağılımı kabulüne göre çizelge 4.26'daki şekilde enerji miktarları paylaştırılmıştır.

Çizelge 4.26 Örtülü Elektrotla ark kaynağı yöntemi için kaynak işleminde değerleri ve birim zamanda ana metali ergiten ve ana metal üzerinden kaçan enerji miktarları

Ortalama Kaynak Hızı (cm/dk)	Ortalama Kaynak Akımı (A)	Ortalama Kaynak Gerilimi (V)	Elde edilen enerji (kj/cm) (B)	Kabule Göre Ana Malzemeden Kaçan Isı Miktarı (kj/cm) (X)	Ana Metali Ergiten Enerji (kj) (Y)	1 cm'lik Kaynak Dışıinden Ana Metallere Kaçan Isı Miktarı (kj) (Z)
20	200	28	16,8	6,72	1,68	0,056

Kaynak işlemi esnasında ana metalden şekil 4.3'deki kabule göre kaçan ısı miktarı X, ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarına Y ve şekil 4.2'deki ısı transferi modeline göre birim zamanda ana malzemelerden kaçan ısı miktarına Z denilirse ;

$$X - Z = M$$

kadar daha enerji ana metale transfer edilmez ve modele göre bu artan enerji ergitmede kullanılır. Bunun nedeni birim zamanında ana metallere kaçan ısı miktarının sabit olmasıdır. Burada (M) kaynak metalinde hapis olan enerjidir. Bu durumda M kadar enerji fazlası ortaya çıkar.

$$X - Z = M$$

$$6,72 - 0,056 = 6,66 \text{ kj} = M$$

Fakat (M) enerji fazlası da ergitme işleminde kullanılırsa

$$Y + M = E$$

$$1,68 + 6,66 = 8,34 \text{ kj} = E$$

olur.

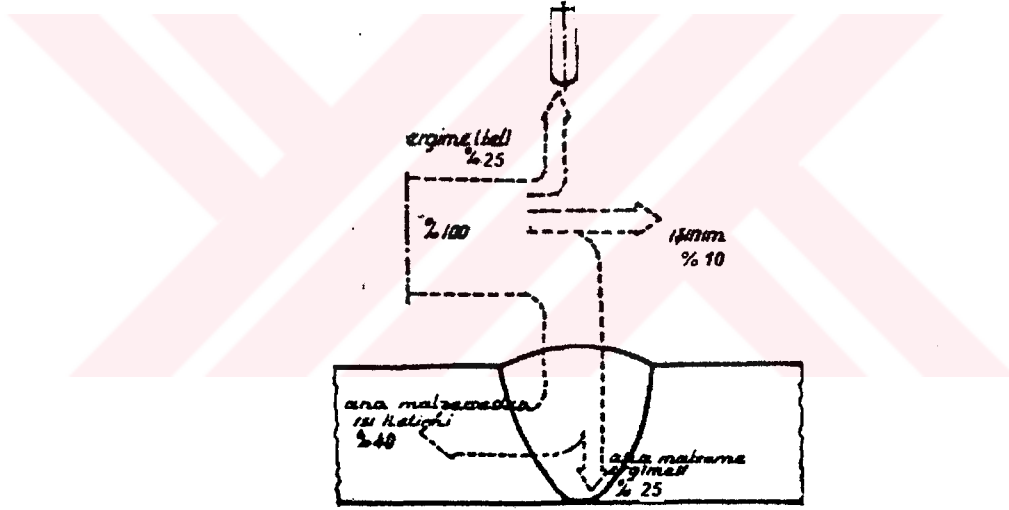
Yapılan verim kabulünü incelenirse, şekil 4.3'deki enerji dağılımına göre ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarı % 10 'dur. Şekil 4.2'deki ısı transferi modeline göre

ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarı

$$\frac{(Y+M)}{B} * 100 = \frac{8,34}{16,8} * 100 = \% 49$$

dur. Isı transferi modeli ile enerji dağılımı arasındaki fark % 39 dir. Bu fark çok fazladır. Şekil 4.3'teki enerji dağılımı kabulünde sıçrama kayıpları, kaynak metalinden havaya taşınımıyla ısı transferinin gerçekleşmesi, elektrot boyunun uzun olmasından dolayı iletimle ısı kaçışının artması gibi işlem koşulları dikkate alınmadığından şekil 4.2'deki ısı transferi modeli örtülü elektrotla ark kaynağına uygulanamaz.

#### 4.3.3 Isı Transferi Modelinin MIG Kaynağına Uygulaması



şekil 4.4 MIG kaynağında enerjinin dağılımı

Şekil 4.4'te MIG kaynağındaki enerji dağılımları görülmektedir. Elde edilen enerjinin sadece % 25'i ana metalleri ergitmede kullanılmaktadır. Ana metallerden kaçan ısı miktarı da elde edilen enerjinin % 40'dır.

İşlemden 1,3 mm kalınlığındaki  $L_p=20$  cm olan bir plakada  $d=1,2$  mm çapındaki elektrotla tek pasoda gerçekleşmektedir. Isının transfer edildiği alan 1 cm kaynak dikişi boyunda

$$1 * 0,63 = 0,63 \text{ cm}^2 \text{ 'dir.}$$

Çizelge 4.27 MIG kaynak yöntemi için kaynak işleminde kullanılan metallere birim zamanda kaçan ısı miktarları

Malzeme Türü	Dikiş Sıcaklığı (°C)	Isı İletim Katsayısı (cal/cm. °C)	Isının transfer edildiği alan (cm <sup>2</sup> )	1 cm'lik kaynak dikişinden ana metale kaçan ısı miktarı (kj)
St 37	1000	0,12	0,13	0,003
X 7 Cr Ni 18 8	1000	0,035	0,13	0,001

Çizelge 4.27'de ana metallere birim zamanda kaçan ısılar görülmektedir. Çalışma şartlarına göre elde edilen enerji (3.3) no'lu eşitlikle hesaplanmış ve Şekil 4.4'deki enerji dağılımı kabulüne göre çizelge 4.28'deki şekilde enerji miktarları paylaştırılmıştır.

Çizelge 4.28 MIG kaynak yöntemi için kaynak işleminde değerleri ve birim zamanda ana metali ergiten ve ana metal üzerinden kaçan enerji miktarları

Ortalama Kaynak Hızı (cm/dk)	Ortalama Kaynak Akımı (A)	Ortalama Kaynak Gerilimi (V)	Elde edilen enerji (kj/cm) (B)	Kabule Göre Ana Malzemeden Kaçan Isı Miktarı (kj/cm) (X)	Ana Metali Ergiten Enerji (kj) (Y)	1 cm'lik Kaynak Dikişinden Ana Metallere Kaçan Isı Miktarı (kj) (Z)
300	200	25	1	0,4	0,25	0,004

Kaynak işlemi esnasında ana metalden şekil 4.4'deki kabule göre kaçan ısı miktarı X, ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarına Y ve şekil 4.2'deki ısı transferi modeline göre birim zamanda ana malzemelerden kaçan ısı miktarına Z denilirse ;

$$X - Z = M$$

kadar daha enerji ana metale transfer edilmez ve modele göre bu artan enerji ergitmede kullanılır. Bunun nedeni birim zamanında ana metallere kaçan ısı miktarının sabit olmasıdır. Burada (M) kaynak metalinde hapis olan enerjidir. Bu durumda M kadar enerji fazlası ortaya çıkar.

$$X - Z = M$$

$$0,4-0,004 = 0,396 \text{ kj} = M$$

Fakat (M) enerji fazlası da ergitme işleminde kullanılırsa

$$Y + M = E$$

$$0,25 + 0,396 = 0,646 \text{ kj} = E$$

olur.

Yapılan verim kabulünü incelenirse, şekil 4.4'deki enerji dağılımına göre ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarı % 10 'dur. Şekil 4.2'deki ısı transferi modeline göre ana metali ergitmede kullanılan enerji miktarı

$$\frac{(Y+M)}{B} * 100 = \frac{0,646}{1} * 100 = \% 64$$

dür. Isı transferi modeli ile enerji dağılımı arasındaki fark % 39 dur. Şekil 4.4'teki enerji dağılımı kabulünde sıçrama kayıpları, kaynak metalinden havaya taşınım ile ısı transferinin gerçekleşmesi gibi işlem koşulları dikkate alınmadığından şekil 4.2'deki ısı transferi modeli MIG kaynağına uygulanamaz.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan literatür araştırması ve teorik ve deneysel çalışmalara göre yapılan hesaplamaların sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Kaynak metalinin kimyasal bileşimine etki eden bir çok faktör vardır. Bunlar ana başlıklarıyla

- Ana ve ilave metalin kimyasal kompozisyonu,
- Ana ve ilave metalin ergime oranı ,
- Kaynak işlemi esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ,
- Koruyucu gazlar ve tozların kimyasal bileşimi ,
- Kaynak metalinde meydana gelen difüzyon olayı
- Yöntem ve parametrelere bağlı diğer kayıplardır.

Ana ve ilave metalin kimyasal kompozisyonunun kaynak metalinin kimyasal bileşimini etkileyen temel faktör olduğu görülmüştür. Çünkü ana ve ilave metalin kimyasal kompozisyonunun karışımından kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu oluşmaktadır.

Ana ve ilave metalin ergime oranı da kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunun belirleyen ikinci etkendir. Ana ve ilave metalin karışımında hangi oranda bulunacaklarını tespit ederek kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu belirlenmektedir.. Ergime oranına etki eden faktörde ısı girdisidir. Isı girdisi kaynak yöntemine ,kaynak işleminin gerçekleştiriliş şartlarına ,kaynak akımına, kaynak gerilimine, kaynak işleminde kullanılan yanıcı gazların ısıl değerlerine, koruyucu gazların özelliklerine ve ana malzemelerin fiziksel özelliklerine göre değişmektedir.

Kaynak işlemi esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlarda kaynak metalinin ve ilave metalin içerdikleri elementlerin birbirleri olan reaksiyonlarından ve sisteme giren ısı girdisiyle reaksiyonların artış göstermesinden(yanma kayıplarının artması) dolayı kimyasal bileşime etki ettiği görülmüştür.

Kullanılan Koruyucu Gazlar , Tozlar ve Elektrot Örtüsü Türleri de kaynak metalinin kimyasal bileşimine etki etmektedirler. Koruyucu gazlar sistemin ısı girdisini ısı iletim katsayıları ile ve kaynak metalindeki elementlerle reaksiyona girerek etkilerini göstermektedir. Kaynak tozları ve elektrot örtüleri de kaynak metalindeki kimyasal

reaksiyonları kontrol ederek, yanma kayıplarını karşılayarak kaynak metalinin alaşımlama işlemlerini gerçekleştirmektedir.

Difüzyon olayı da kaynak metalinin kimyasal kompozisyonuna ,ana metal ile kaynak metali arasındaki konsantrasyon farkından ve ortamda bulunana gazların kaynak metaline karışmasından dolayı etki ettiği görülmüştür. Difüzyon olayı neticesinde kaynak metalinin kompozisyonu değişmekte ve istenmeyen elementlerin kaynak metaline karışması veya bazı elementlerin miktarlarının azalması sonucu kaynak metalinin mekanik özellikleri değişmektedir.

Kaynak işlemi esnasında bu etkenlerden kimyasal kompozisyonu ayarlarken kontrol edebilen faktör ana ve ilave metallerin ergime oranıdır. Ana ve ilave metalin ergime oranına etki eden faktörde ısı girdisidir.

Ergitme esaslı kaynak uygulamalarında ısı girdisine etki eden temel olarak kontrol edilebilen ve deneysel çalışmalarda çıkarılmış randıman dikkate alınarak değişimleri ayarlanabilen üç temel değer vardır. Üç temel değişkenle ana metal ile ilave metalin ergime oranlarını kontrol edebilir. Bunlar ergime verimine etkileri açısından etki derecelerine göre çoktan aza doğru sırasıyla ,

- Kaynak Akımı,
- Kaynak Hızı,
- Kaynak Gerilimidir.

Bu değişkenlerden ergime oranına etki eden en önemli faktör Kaynak Akımıdır. Bunun nedeni kaynak akımı değerinin değişim aralığının diğer değerlerden çok daha geniş olmasıdır. Kaynak Gerilimi ve Kaynak Hızının değişim aralığı Kaynak Akımına göre daha az olduğundan kaynak metalinin kimyasal bileşimine etki eden en ikinci ve üçüncü önemli faktörlerdir.

Bu nedenle bölüm 4.1.1'de gerçekleştirilen örtülü elektrotla kaynak işleminde artan kaynak akımı şiddetine bağlı olarak birim dikiş enerjinin artışı ve kaynak akımının değişim aralığının kaynak hızının değişim aralığından fazla olmasından dolayı birim dikiş enerjisi artmıştır. Bölüm 4.1.1 'de elektrot çapı artışına bağlı olarak kaynak işlemindeki gerekli akım şiddetinin artışı ve elektrot örtü kalınlığına bağlı olarak sistemin verim katsayısının yükseldiği bölüm 3.2.1.3.6'da tel çapı hakkında verilen bilgilere uymaktadır. Bölüm

4.1.3.1'de MAG kaynağıyla gerçekleştirilen kaynak işleminde yüksek akım şiddetleriyle ve yüksek kaynak hızlarında çalışılarak ince saçların kaynak işleminin düşük ısı girdiyle gerçekleştirildiği hesaplanmıştır. Bölüm 4.1.3.2'de Toz altı kaynağıyla gerçekleştirilen işlemde kalın plakaların yüksek ısı girdiyle kaynak işleminin gerçekleştirildiği ve işlemde yüksek ısı girdisine rağmen düşük kaynak hızlarıyla kalın parçalarda nüfuziyet artışı sağlanmıştır. Bölüm 4.1.4'de kaynak yöntemlerinin karşılaştırmasında birim dikiş enerjilerinin, kaynak hızlarının ve akım şiddetlerinin mekanize ve otomatik kaynak yöntemlerinde elle gerçekleştirilen kaynak yöntemlerine nazaran daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bölüm 4.2.1'de ergime oranı değiştirilerek kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunun değişimi incelenmiş ve ergime oranı azaldıkça kaynak metalinin kompozisyonunun ilave metale yaklaştığı hesaplanmıştır. Bölüm 4.2.2'de kaynak işleminin paso sayısı artırılarak zamanla kaynak metali kompozisyonunun, ana, ilave ve bir önceki kaynak metalinin kompozisyonundan etkilendiği incelenmiştir. Ayrıca bölüm 4.2.2'de gerçekleştirilen kaynak işleminde alüminyumun oksitlenmesinden dolayı oluşabilecek oksitleri engellemek için seçilen ilave metalin kimyasal bakımdan deoksidan malzemeleri ihtiva ettiği görülmüştür.

Bu araştırmada malzemelerin ısı iletim katsayılarının ergime oranına nasıl etki ettiği de araştırılmıştır. Bunun nedeni paslanmaz çelik ile alaşımsız çeliğin ısı iletim katsayıları oranının 1:3 olmasıdır. Bu nedenle bir ısı transferi modeli geliştirilmiştir (Bölüm 4.3.1).Kaynak metalindeki ısı transferi için geliştirilen bu modelin özellikleri Toz Altı Kaynak yönteminin gerçekleştiği işlem koşullarına çok benzemektedir. Çünkü toz altında elde edilen enerjinin tamamından yararlanılmaktadır. Yapılan kabuller sonucu ana metali ergitmede kullanılan enerji ve şekil 4.1'de verilen ana metali ergitmede kullanılan enerji birbirine çok yakın çıkmıştır. Aynı model örtülü elektrotla ark kaynağına ve MIG kaynak yöntemine de uygulanmış fakat bu yöntemlerde kaynak metalinden havaya taşınım ısı transferinin gerçekleşmesi, ışınlı enerji kaybının olması, elektrot boyunun uzun olmasından dolayı iletimle ısı kaçışının artması ve sıçrama kayıplarından dolayı işlem koşulları toz altı kaynağındaki gibi olmadığından sonuçlar modelle uyuşmamıştır.

Yapılan çalışmalardan çıkarılacak bir diğer sonuçta,kaynak metalinde ısı iletim katsayısı küçük olan metalin, kaynak metalinde bulunma oranının daha fazla olacağıdır. Bunun nedeni ısı kaçışının farklı olmasıdır. Bu nedenle kaynak işleminden önce ısı iletim katsayıları oranına ters orantılı olarak ana metallerin kimyasal kompozisyonunda bulunma oranları pratik olarak hesaplanabilir.

## KAYNAKLAR

Gültekin, Nurullah (1991), Kaynak Tekniği , Yıldız Teknik Üniversitesi ,İstanbul.

Gültekin, Nurullah (2003), Kaynak Metalurijisi ve Problemleri Lisansüstü Dersi Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi ,İstanbul

Akdoğan,Ayşegül,(2003) Korozyon ve Korozyondan Korunma Lisansüstü Dersi Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi ,İstanbul

Babalık, Fatih C.(2000), Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri Cilt 1,Uludağ Üniversitesi, Bursa

Demirci,A.Haşim(2004),Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayanesi,Alfa Kitabevi, İstanbul.

Onaran ,Kaşif ( 2000) ,Malzeme Bilimi ,Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

Seferian , Daniel ( 1959) , Kaynak Tekniği-Metalurijisi- Muayenesi, Çeviren : Sağışman, Muzaffer, Anık, Selahaddin ve Erten,Sami, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Boggerud ,A.( 1966), Kaynak Metalurijisi, Çeviren :Anık , Selahaddin , Tülbentci ,Kutsal, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Anık ,Selahaddin,( 1969), Kaynak Tekniği Cilt I , İstanbul Teknik Üniversitesi.

Anık ,Selahaddin,( 1972), Kaynak Tekniği Cilt II, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Anık ,Selahaddin,( 1973), Kaynak Tekniği Cilt III , İstanbul Teknik Üniversitesi.

Anık ,Selahaddin , Anık ,E.S., Vural, Murat, ( 2000) , 1000 Soruda Kaynak Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Oğuz ,Burhan (1988) , Sert Lehimleme, Oerlikon Yayınları , İstanbul.

Oğuz ,Burhan (1989) , Ark Kaynağı, Oerlikon Yayınları , İstanbul.

Serfiçeli,Y.S.,(2003), Kaynak Teknolojisi,Ankara.

Cary, Howard B., (1980), Modern Welding Technology ( Second Edition),Welding Technology Hobart Brothers Company , America.

Leonard P. Connor, R. L. O'Brien ( 1987-1991) ,Welding handbook , Miami, FL : American Welding Society.

Kou, Sindo, (1987),Welding metallurgy , Wiley, New York.

Henry,O.H.,Claussen,G.E,(1940), Welding metallurgy , American welding society, New York.

Dixon, Ray, Liby,Alan L., Olson ,D.L. (1990), Welding Theory and Practise, Amsterdam North Holland.

Chandel,R.S.,Seow,H.P.,Cheong,F.L.,(1997), 'Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds', Journal of Materials Processing Technology ,72 :124-128

Bracarense,A.Q.ve Liu,S. (1993), 'Chemical Composition Variations İn Shielded Metal Arc Welds', Welding Journal, Çeviren : Batıgün, Caner , Mühendis ve Makina –Kaynak Özel Sayısı 2.

Tusek ,Janez (2000), 'Mathematical modeling of melting rate in twin wire welding ', Journal of Materials Processing Technology 100: 250 – 256 .

Darwisih,S.M., Tamimi, A.AL., Habdan , S.AL., (1996), 'A Knowledge for Welding Process Selection ', Journal Of Machning Tools Manufacturing ,09890- 6955 1007-1023.

Suban , M.,Tusek ,J., Uran , U.,(2001) , 'Use of Hydrogen in Welding Engineering in Former Times And Today' , Journal of Materials Processing Technology ,119 :193-198

Suban , M.,Tusek ,J.,(2001) , 'Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used', Journal of Materials Processing Technology ,119 :185-192

Tusek ,J., Suban,M.,(2003) , 'High productivity multiple – wire submerged arc welding and cladding with metal powder additions, Journal of Materials Processing Technology ,133 :207-213

Yi, Xiaolin, Shan,Ping , Hu,Shengsun , Luo,Zhen, (2002), 'A numerical model of wire melting rate in CO2 gas –shielded welding', Material Desingn, 23 : 501-504.

D.S. Nagesh, G.L. Datta,(2002), 'Prediction of weld bead geometry and penetration in shielded metal-arc welding using artificial neural networks', Journal of Materials Processing Technology, 123:303-312

Lu,L.,Lai,M.O.,Zhang,S.,(1997), 'Diffusion mechanical alloying ', Journal of Materials Processing Technology, 67:100-104

Gülsöz , Alper (1998),Bazık ve Rutil örtülü çubuk elektrotlarda örtünün ergime özelliklerine etkisi, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı,Celal Bayar Üniversitesi Manisa .

Polat,Nurullah (1997),Spiral kaynaklı boru imalinde tandem toz altı kaynak yönteminin ve özlü elektrotların kullanılması,Y.Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Dolutaş,Hacı (2005),Oerlikon Firması Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı Eğitimi Ders Notları, İstanbul.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi 23.05. 1979

Doğum Yeri İstanbul

Lise 1993 -1997 Orhan Cemal Fersoy Süper Lisesi

Lisans 1998 - 2002 Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002- 2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Müh. Ana Bilim Dalı, İmal Usulleri Programı

