

**MUHTELİF KAYNAK YÖNTEMLERİNDE  
DOĞRU AKIMLI KAYNAKTA  
KUTUPLANMANIN KAYNAK DİKİŞ FORMUNA  
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Makina Mühendisliği, Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı**

**Duygu DEMİRCİ**

**Kasım, 2010**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**DUYGU DEMİRCİ**, tarafından **Prof. Dr. SÜLEYMAN KARADENİZ** yönetiminde hazırlanan “**MUHTELİF KAYNAK YÖNTEMLERİNDE DOĞRU AKIMLI KAYNAKTA KUTUPLANMANIN KAYNAK DİKİŞ FORMUNA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
PROF. DR. Süleyman KARADENİZ  
.....

Yönetici

.....  
PROF. DR. N. Sefa KURALAY  
.....

Jüri Üyesi

.....  
DOÇ. DR. Mustafa TOPARLI  
.....

Jüri Üyesi

.....  
Prof.Dr. Mustafa SABUNCU  
.....

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜRLER

Örnek alınacak çalışma azmi, disiplini ve isteğine sahip değerli hocam Prof.Dr. Süleyman KARADENİZ'e tez çalıŐmalarımındaki yardımlarından ötürü teŐekkür ederim.

Deney düzeneklerinin hazırlanmasında ve deneylerin yapılmasında gösterdiği yardımlardan dolayı Mak. Tek. Faik SOYSAL'a teŐekkür ederim

Deney numunelerini incelemem esnasında yardımlarını esirgemeyen AraŐ.Gör. Gökçe Mehmet Gencer' e teŐekkür ederim.

Tez çalıŐmalarım esnasında maddi ve manevi desteğini hep hissettiğim babam, annem ve kardeŐime teŐekkürlerimi sunarım.

Duygu DEMİRCİ

**MUHTELİF KAYNAK YÖNTEMLERİNDE DOĞRU AKIMLI KAYNAKTA  
KUTUPLANMANIN KAYNAK DİKİŞ FORMUNA ETKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**ÖZ**

Kaynak işleminde istenilen kaynak dikişinin elde edilmesi için dikkat edilmesi gereken birçok parametre vardır. Bu parametrelerden biri olan kutuplamanın; kaynak dikiş formuna, ana malzemeye olan ısı girdisine, elektrodun erime oranına ve arkın kararlılığına etkileri vardır. Kaynak işlemi öncesi seçilen kutuplama durumunun kaynak dikiş formundaki etkileri kaynak yöntemine göre farklı sonuçlar ortaya çıkarır. Bu çalışmada, doğru akımda erimeyen elektrodlu (TIG) ve eriyen elektrodlu (MIG, Tozaltı) kaynak yöntemlerinde kutup değişiminin kaynak dikiş formuna etkileri incelenmiştir. Yapılan incelemelerde dikiş formunu oluşturan nüfuziyet, kaynak dikiş genişliği ve kaynak dikiş yüksekliği değerleri ters kutuplama ve düz kutuplama durumları için analiz edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Doğru akım, Kutuplama, Kaynak Dikiş Formu, Nüfuziyet

## **INVESTIGATION OF EFFECTS OF POLARITY ON SEAM FORM BY DC WELDING IN DIFFERENT WELDING PROCESSES**

### **ABSTRACT**

In the welding process, to obtain required welding seam many welding variables shall be taken into account. One of these parameters is polarity which has effect on welding seam, heat enters into base metal, electrode melting rate and arc stabilization. Before the beginning of welding process chosen polarity situation effects occur through welding seam in a different way according to the welding processes. In this study the effect of polarity changes of nonconsumable (TIG) and consumable (MIG and SMAW) electrode welding in to welding seam has been investigated at direct current. Related to welding method different results have been occurred due to the effects of polarity changing. In investigations values of penetration, welding seam weight and welding seam height which constitute the welding seam form, has been analysed in straight and reverse polarity situations.

**Keywords:** Direct Current, Polarity, Welding Seam Form, Penetration

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜRLER .....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş .....	1
1.2 Elektrik Arkı .....	1
1.3 Ark Fiziği .....	2
1.4 Plazma.....	9
<b>BÖLÜM İKİ- KAYNAK MAKİNALARI ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM</b>	
<b>ALANLARI .....</b>	<b>10</b>
2.1 Kaynak Makinaları ve Ekipmanları.....	10
2.2 Kaynak Makinalarının Sahip Olması Gereken Özellikler .....	10
2.3 Kullanılan Akım Türüne Göre Kaynak Makinaları.....	12
2.4 Statik Karakteristiklerine Göre Kaynak Makinaları .....	12
2.4.1 Düşey Karakteristikli Kaynak Makinaları .....	12
2.4.2 Yatay Karakteristikli Kaynak Makinaları .....	14
2.4.3 Yükselen Karakteristikli Kaynak Makinaları .....	16
2.5 Yapılarına Göre Kaynak Makinaları .....	17
2.5.1 Dinamik Kaynak Makinaları .....	18
2.5.1.1 Doğru Akım Generatörleri .....	18
2.5.2 Statik Kaynak Makinaları .....	18
2.5.2.1 Transformatörler .....	18
2.5.2.2 Redresörler (Doğrultucu) .....	21
2.5.2.3 Yarı İletken Güç Elemanları (Diyot, Tristör, Transistor) .....	23
2.5.2.3 İnverter Kaynak Makinaları .....	24

**BÖLÜM ÜÇ- KAYNAK DİKİŞ FORMUNU ETKİLEYEN ARK  
KAYNAĞI DEĞİŞKENLERİ ..... 33**

3.1 Ark Kaynağı Değişkenleri.....	33
3.1.1 Kaynak Akım Şiddeti.....	34
3.1.2 Ark Gerilimi (Ark Boyu) .....	36
3.1.3 Kaynak Hızı .....	39
3.1.4 Serbest Tel Uzunluğu.....	41
3.1.5 Elektrod Açısı .....	42
3.1.6 Elektrod Boyut ve Çeşidi .....	44
3.1.7 Koruyucu Gaz .....	45
3.1.8 Kaynak Akım Türü ve Kutuplama.....	46
3.1.8.1 Kutup Değişimi ve Etkileri .....	48
3.1.8.2 Kutuplama Çeşitleri .....	49

**BÖLÜM DÖRT- ARK KAYNAĞI YÖNTEMLERİNDE KUTUP DEĞİŞİMİ  
ve ETKİLERİ ..... 51**

4.1 Giriş .....	51
4.2 TIG Kaynağında Kutuplama Prensibi .....	56
4.2.1 TIG Kaynağında Gazın Nüfuziyete Etkisi.....	62
4.2.2 TIG Kaynağında Elektrod Seçimi ve Kutuplama .....	64
4.2.3 TIG Kaynağında Kaynak Yapılan Metaller ve Kutuplama Çeşidi .....	67
4.3 Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağında Kutuplama Prensibi .....	68
4.3.1 Örtülü Elektrod Kaynağında Elektrot Çeşitleri.....	70
4.4 MIG Kaynağında Kutuplama Prensibi .....	75
4.4.1 MIG Kaynağında Koruyucu Gazlar .....	78
4.4.2 Çeşitli Malzemelerin MIG Kaynağı.....	78
4.5 Tozaltı Kaynağında Kutuplama Prensibi .....	80
4.5.1 Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları .....	83
4.5.2 Kaynak Tozundan İstenen Özellikler.....	84
4.5.3 Tozların Kimyasal Bileşimleri ve Kaynak Metaline Etkileri.....	84

<b>BÖLÜM BEŞ- ARK KAYNAĞINDA DALGA FORMU KONTROL TEKNOLOJİSİNİN KAYNAK DİKİŞ FORMUNA ETKİLERİ .....</b>	<b>86</b>
5.1 Giriş .....	86
5.1.1 Doğru Akımla Kaynakta Dalga Formu .....	86
5.1.2 Alternatif Akımla Kaynakta Dalga Formu.....	87
5.1.3 Alternatif Akımla Kaynakta Değişken Kutuplama Durumu ve Dalga Formunda Çeşitlilik.....	88
5.1.4 Kare Dalga Formu ve Sinüs Dalga Formunun Karşılaştırılması .....	89
5.1.5 Akım Akış Süresi Kontrolü.....	90
5.1.6 Akım Genlik Kontrolü .....	91
5.1.7 Frekans Kontrolü.....	92
5.1.8 Dalga Formu Kontrolünün Etkileri ve Sonuçları .....	93
5.2 TIG Kaynağında Dalga Formu Kontrol Teknolojisi .....	94
5.3 MIG Kaynağında Dalga Formu Kontrol Teknolojisi .....	94
5.4 Tozaltı Kaynağında Dalga Formu Kontrol Teknolojisi .....	96
5.5 Dalga Formu Kontrol Teknolojisinin Kaynak İşleminin Ekonomisine Etkileri	97
<b>BÖLÜM ALTI- DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>98</b>
6.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler .....	98
6.2 TIG Kaynağı ile Yapılan Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Ekipman.....	99
6.3 TIG Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçları .....	101
6.3.1 TIG Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	102
6.4 MIG Kaynağı ile Yapılan Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Ekipman....	105
6.4.1 MIG Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	108
6.5 Tozaltı Kaynağı ile Yapılan Deneylerde Kullanılan Ekipman.....	115
6.5.1 Tozaltı Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	120
<b>BÖLÜM YEDİ-SONUÇLAR.....</b>	<b>126</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>130</b>



# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Giriş

Kaynak işleminde temel amaç kaynak işleminin ekonomik ve kaliteli olmasıdır. Kalitenin iyi olmasına çaba gösterirken aynı zamanda işlemin ekonomik olmasını sağlamak kolay değildir. Bu iki değişkeni kararlı bir dengede tutabilmek için kaynak işlemine etki eden her parametre gözden geçirilmelidir. Seçilen kaynak yöntemine, kaynaklanacak malzemeye, kaynak işleminde kullanılacak ekipmana, kaynak işleminde dikkate alınacak parametrelere göre elde edilecek sonuçlar farklılık gösterir.

Doğru akımda yapılan kaynak işlemlerinde değişkenlerden biri olan kutuplama durumunun kaynak dikiş formuna etkisi de kaynak işleminin kalitesini ve ekonomisini etkiler. Kutuplama durumunun doğru seçilmemesi istenen kaynak dikişinin elde edilememesine yol açar. Erimeyen ve eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde bu değişkenin etkileri iyi bilinmelidir. Kutuplama değişkeninin kaynak dikiş formundaki sonuçlarından önce kaynak işleminde elektrik arkını oluşturan yüklü parçacıklar, bu yüklü parçacıkların oluştuğu kutuplar ve burada meydana gelen elektriksel olaylar incelenmelidir.

### 1.2 Elektrik Arkı

Kaynak işleminin istenilen şartlara uygun gerçekleştirilebilmesi için temel ihtiyaç stabil bir elektrik arkıdır. Elektrik arkıyla ilgili temel kavramlar şu şekilde tanımlanır;

#### Elektrik Gerilimi:

İki nokta arasındaki elektriki gerilim, diğer bir deyişle iki nokta arasındaki potansiyel farkı, bu iki noktada bulunan elektrik yüklü parçacıkların cins ve miktarlarının farkıdır. (Karadeniz, 2008)

İki nokta arasında ne kadar fazla yük farkı varsa, iki nokta arasındaki gerilim, yani potansiyel farkı o kadar büyük olur. İki nokta arasına bir pil, bir akü veya bir generatör gibi bir elektrik üretici bağlanırsa, bu elektrik üretici iki nokta arasında yük farkı oluşturur. Bu yük farkı iki nokta arasında birimi volt ile verilen bir potansiyel farkı (bir gerilim) ve dolayısıyla bu iki nokta arasında bir potansiyel enerji (elektrik gerilimi) oluşturur. (Karadeniz, 2008)

#### Elektrik Akımı:

Bütün akımlar (su, hava, ısı ve elektrik akımları) yüksek potansiyelli bir noktadan diğer düşük potansiyelli bir noktaya partikül transportudur (taşınmasıdır). Bir noktadan diğer noktaya taşınan partiküllerin toplamı bu iki nokta arasında akan akımı oluşturur. Elektrik akımı da yüksek elektrik potansiyelli bir noktadan diğer daha düşük elektrik potansiyelli bir noktaya taşınan elektrik yüklü parçacıkların toplamıdır. Akımların oluşumunda taşınan parçacıkların her biri bir enerjiciktir, dolayısıyla bu partiküllerin bir yerden diğer bir yere taşınması, enerjinin bir noktadan diğer bir noktaya taşınması demektir. (Karadeniz, 2008)

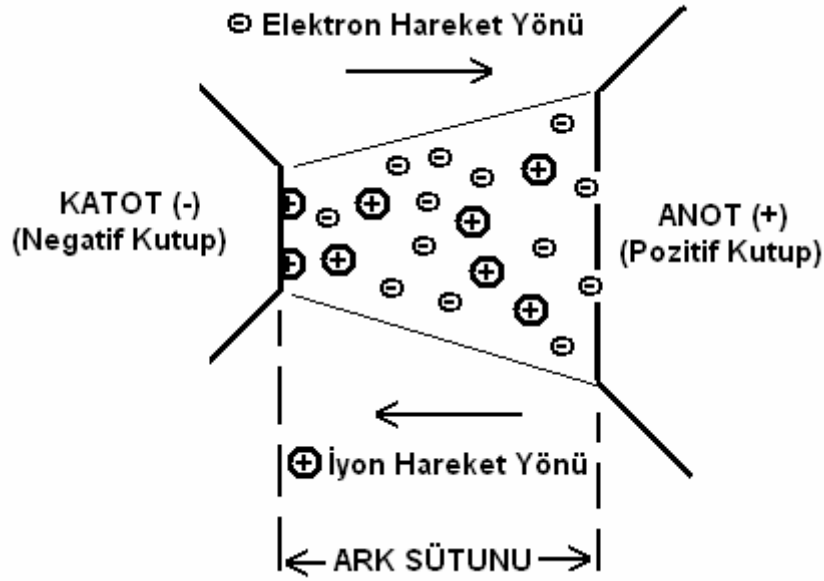
#### Elektrik Arkı:

Bir gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa, belirli şartlar gerçekleştiği takdirde, bu iki plaka arasında bir elektrik boşalması olur ve bu boşalmada bir elektrik akımı akar. Eğer elektrik boşalmasında akan akımın şiddeti 10 Amperden büyük ise elde edilen sistem elektrik arkı adını alır. (Karadeniz, 2008)

### **1.3 Ark Fiziği**

Elektrik arkının oluştuğu ortamdaki gaz normalde yalıtkandır. Ancak gaz iyonize edilirse (plazma konumuna geçirilirse) iletken olur.

Bir elektrik arkında artı (+, pozitif) kutuba anod, eksi (-, negatif) kutuba katod adı verilir. Elektrik arkında bu iki kutup arasındaki gaz iyonize olduktan sonra akım akar ve ark ortaya çıkar. Elektrik akımının elektrik arkını oluşturabilmesi için artı (+) ve eksi (-) yüklü parçacıklarının hareket halinde olması gerekir. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 Ark içinde akımın oluşumu

Anod ve Katod arasında gerçekleşen emisyon ve iyonizasyon işlemleri şu şekildedir;

**Elektrik Alan Emisyonu:** Başlangıçta üretcin negatif kutbunun bağlandığı uçta oluşan elektrik alanı o uçtan (katod: elektrot veya iş parçası olabilir) elektron çıkarır. Bu şekilde gerçekleşen elektron emisyonu alan emisyonudur. (Karadeniz, 2009)

**Çarpışma İyonizasyonu:** Alan emisyonu ile serbest hale gelen elektronlar katodtan generatörün pozitif kutbunun bağlandığı uca (anod) doğru hareket ederler. Negatif yüke sahip elektronlara elektrik alanının etki ettirdiği kuvvet  $\vec{F}_i = -e\vec{E}$  ' dir. Yani  $\vec{E}$  alan şiddeti yönünün tersi yönündedir. Burada  $-e$  bir elektronun yüküdür ve pozitif yön elektrik biliminde kabul edildiği gibi (+) kutuptan (-) kutuba doğru alınmıştır. Negatif kutuptan pozitif kutuba doğru belirli bir ivme ile hızlanan elektronlar elektrod ile iş parçası arasındaki ortamdaki atomlara çarpıp, kinetik enerjilerinin bir kısmını veya tamamını onlara vererek o atomlardan elektron koparırlar (çarpışma yoluyla iyonizasyon), o atomları yüklü parçacık (+ yüklü iyon) haline getirirler. (Karadeniz, 2008)

**Mekanik Emisyon:** Çarpışma iyonizasyonu ile anod-katod arasında eksi yüklü elektronların yanında artı yüklü iyonlar da oluşur. Oluşan tüm elektronlar alan

kuvveti ile anoda doğru, iyonlar ise  $\vec{F}_i = +e.\vec{E}$  kuvveti sonucu katoda doğru hareket ederler. Elektronların anoda, iyonların katoda çarpmaları sonucu bu yüklü parçacıklar çarptıkları kütlelerden mekanik olarak elektron ve iyon çıkarırlar. Mekanik etki ile meydana gelen bu emisyon da mekanik emisyonudur.

Isı Enerjisi Emisyonu: Elektron ve iyonların sahip oldukları kinetik enerjileri ile anod ve katotta çarpmaları sonucu anod ve katotta ısı enerjisi de açığa çıkar. Kinetik enerjileri anod ve katotta ısı enerjisine dönüşür. Bu durumda ısınan anod ve katottan ısı enerjisi ile elektron ve iyon çıkar. Bu şekilde oluşan emisyon da ısı enerjisi emisyonudur.

Işın Emisyonu: İyonizasyon ve emisyon olayları anında anod ve katot arasında oluşan ışın enerjisi de anod ve katottan elektron ve iyon çıkarır. Bu yolla gerçekleşen emisyon da ışın emisyonudur.

Başlangıçtan itibaren arka arkaya devreye giren dört emisyon ve çarpışma iyonizasyonu mekanizmalarının oluşturduğu artı (+) ve eksi (-) yüklü parçacıkların hareketi sonucu (elektrik akımı, elektrik yüklü parçacık transportu olduğundan) ortaya çıkan elektrik akımı elektrik arkını oluşturur. (Karadeniz, 2008)

Elektrik arkının kendi kendine yanan bir elektrik boşalması haline gelmesi için iki önemli iyonizasyon ve emisyon olayının gerçekleşmesi gereklidir.

Bunlar;

1. Gaz ortamında çarpışma ile iyonizasyon,
2. Pozitif iyonların katoda gelip çarptıklarında katoddan elektronların çıkması (elektron emisyonu-mekanik emisyon)

Yukarıda anlatılan iyonizasyon ve emisyon olayları elektrik arkının devamlılığını sağlamak için önemlidir. Birde elektrik arkı içerisinde bu olayları gerçekleştiren yüklü parçacıkların katod ve anod arasında oluşturdukları parçacık taşınımı (transferi)

oldukça önemlidir. Bu transfer olayları kutuplarda (anod ve katod) oluşan ısı etkilerinin açıklanmasına yardımcı olur.

Anod ve katotta oluşan ısı etkisinin anlaşılabilmesi için plazma içerisindeki elektronlar ( $q_e = -e$ ) ve iyonların ( $q_i = +e$ ) özelliklerinin (kütleleri, hızları, kinetik enerjileri, serbest yol uzunlukları) ve plazma içerisindeki hareket yönlerinin incelenmesi gerekir.

Serbest Yol Uzunluğu: Serbest yol uzunluğu ( $\lambda$ ) ark (veya bir gaz) içerisinde bir parçacığın diğer bir parçacığa çarpmadan kat edebildiği yoldur. Elektronların kütleleri ile bağlantılı olarak serbest yol uzunlukları iyonlara göre yüksektir.

Bu durum ;  $\lambda_{el} > \lambda_{iyon}$  ifadesi ile gösterilir.

Serbest yol uzunluğu boyunca ilerleyen elektronların kütlelerinin küçük olması sayesinde hızları, herhangi bir partiküle veya anoda çarpmadan önce yüksektir. İyonların bir partiküle ya da katoda çarpmadan önceki hızları ise elektronların hızına göre daha düşüktür.

Kütle: Elektronlar ve iyonlarının kütleleri karşılaştırıldığında, elektronların kütleleri iyonların kütlelerine nazaran çok küçüktür. Bundan dolayı elektronların elektrik alanı içindeki hızı iyonlara göre çok fazladır.

Bu durum şu şekilde gösterilir;  $V^- \gg V^+$  ;  $b^- \gg b^+$  ,  $V = \text{Hız}$ ,  $b = \text{hareketlilik}$ , (-) üst; elektrona ait değeri, (+) üst; iyonla ait değeri gösterir.

Bir elektrona ve bir elektron kaybetmiş iyonla etki eden kuvvet ( $\vec{F}_{el} = -e \cdot \vec{E}$  ,  $\vec{F}_i = +e \cdot \vec{E}$ ) aynıdır ama yönleri terstir. Bu nedenle hızlarda kütlelerle ters orantılı olacaktır. Bunun sonucu anoda ulaşan elektron miktarı, katoda ulaşan iyon miktarına göre çok çok fazladır. Yüklü parçacıkların (iyon, elektron) hareketi de elektrik akımından başka bir şey olmadığından, elektrik arkında akan

akımın hemen hemen hepsi elektronlar yoluyla oluşturulur. İhmal edilebilecek kadar küçük bir kısmı iyonlar yoluyla oluşturulur. Bu nedenle elektrik arkı mekanizmasını incelerken bazı özel durumlar dışında sadece elektronları göz önünde tutup, iyonları ihmal edilebilir.

Kinetik Enerji: Elektronların iyonlara göre serbest yol uzunlukları yüksek olması, kütlelerinin de iyonlara göre küçük olması kinetik enerjilerinin yüksek olmasını sağlar. Kinetik enerji, hızın karesi ile orantılı olduğu için hızın yüksek olması kinetik enerjiyi de artırır.

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot V^2 \quad (m = \text{kütle, } V = \text{hız}) \quad (\text{Kinetik Enerji Formülü})$$

Dolayısıyla elektronların çarpmada çarptıkları kütleyle verdikleri (aktardıkları) enerji, iyonların bir kütleyle çarptıklarında kütleyle aktardıkları enerjiye göre daha büyüktür.

Kaynak arkında elektronlar anoda gidip çarparlar. Çarpma iki şekilde meydana gelebilir, elastik çarpma ya da plastik çarpma olarak. Elektronlar çarpma anında kinetik enerjilerinin bir kısmını anoda veriyorlarsa elastik çarpma, eğer kinetik enerjilerinin tamamını anoda veriyorlarsa plastik çarpma meydana gelir. Çarpışmadaki elastik kısım bu kutuplardan (anod, katod) parçacık koparıken, plastik kısım bu kutuplarda ısıya dönüşür.

Anoda verilen bu enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür ve kaynakta (elektrod veya iç parçasında) ergimeyi sağlar, bir kısmı da anotta elektron, iyon ve nötral atom koparır.

Buradan kopan elektronlara ark içerisinde anoda doğru bir kuvvet ( $\vec{F} = -q \cdot \vec{E}$ ) etkidiği için bunlar anoda geri dönerler, geri dönerken yön değiştirdiklerinden zaman kaybederler, yani anod önünde oyalanırlar.

Bu zaman kaybı sonucu anod önünde elektron toplanması olur. Anodtan çıkan iyonlara etkiyen kuvvet, katoda doğru olduğundan ( $\vec{F} = +q \cdot \vec{E}$ ) iyonlar katoda doğru (anodtan çıktıkları yönde) yollarına devam ederler. Aynı şekilde katoda gelip

çarpan iyonlar çarpmanın elastik veya plastik olmasına göre, enerjilerinin tamamını veya bir kısmını katoda verirler.

Katoda verilen bu enerjinin bir kısmı ısıya dönüşüp kaynakta (elektrot veya iş parçasında) ısınma (örnek; TIG kaynağı) sağlarken, bir kısmı da katodtan elektron, iyon ve atom çıkarır. Buradan çıkan elektronlara etkiyen kuvvet anoda doğru ( $\vec{F} = -q \cdot \vec{E}$ ) olduğundan, bu elektronlar katodtan çıktıkları doğrultuda anoda doğru yollarına devam ederken, katodtan çıkan iyonları etkiyen kuvvet katoda doğru ( $\vec{F} = +q \cdot \vec{E}$ ) olduğundan, katoda geri dönerler ve geri dönüş sırasında yön değiştirdikleri için katod önünde zaman kaybederler (oyalanırlar), dolayısıyla burada elektron birikmesi olur.

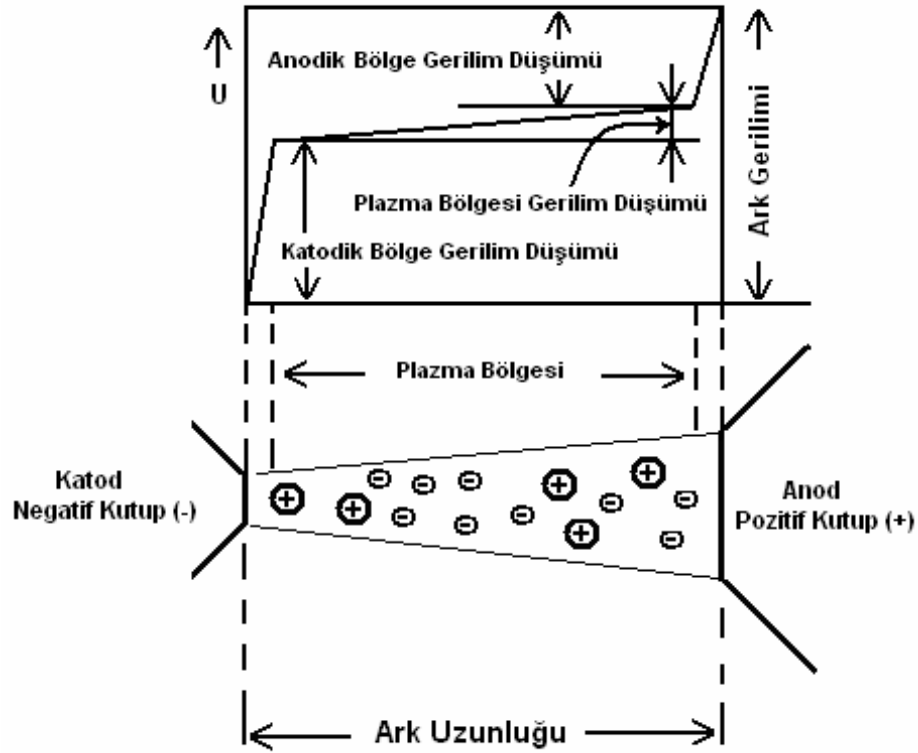
Bir elektrik arkında anod önünde elektronlar, katod önünde iyonların birikmesi bu bölgelerde elektrik şiddetini büyütür. Arkta anoda ulaşmak isteyen elektronlar anod önünde hemcinsleri (elektron bulutu) ile karşılaşır ve hareketleri zorlaşır (hem cinsler birbirini iterler) yollarını uzatırlar, katoda ulaşmak isteyen iyonlar da katod önünde hemcinsleri ile karşılaşır ve hareketleri zorlaşır, yollarını uzatırlar. Yol uzaması da elektrik direncini artırır.

$$\text{Direnç; } (R = \frac{l}{\kappa \cdot S}), \text{ dir.}$$

Burada  $\kappa$ : özgül iletkenlik,  $l$ : akımın aktığı yolun uzunluğu,  $S$ : akımın aktığı kesittir. Direnç artarsa ohm kanuna göre;  $U=I \cdot R$ 'den direncin arttığı bölgede gerilim ( $U$ ) artar ve gerilim artınca da  $E = \frac{U}{l}$ 'dan dolayı elektrik alan şiddeti artar.

Bu sebepten dolayı elektrik arkı elektrik alan şiddetinin yüksek olduğu anodik ve katodik bölge ile plazma bölgesinin oluşturduğu üç bölgeden oluşur.

Bu bölgeler; şekil 1.2'de görülen katod bölgesi, plazma bölgesi ve anod bölgesidir.



Şekil 1.2 Elektrik arkı gerilim düşümleri (Karadeniz, 2008)

Bu bölgelere ait gerilim düşümleri de  $U_K$ ,  $U_P$ ,  $U_A$  ile gösterilir. Bu gerilimlerin toplamı ark gerilimine eşittir.

Bu da;  $U = U_K + U_P + U_A$  eşittir ve  $U_K > U_A$  dir.

Erimeyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde katod bölgesinde ark bir katod lekesi şeklindedir ve kesiti küçüktür. Bunun sebebi de hızları düşük olan iyonların katod önünde birikme miktarlarının fazla oluşu ve taşıdıkları enerji miktarının düşük olmasıdır. Anod bölgesinde ise ark kesiti büyük bir krater oluşu elektronların taşıdığı enerjinin yüksek olmasındandır.

Anoda ulaşmak için anodik bölgeye gelen elektronlar, o bölgedeki yüksek alan şiddeti sebebiyle çok fazla hız ve kinetik enerji kazanırlar ve bu sayede anoda büyük enerji taşıyıp, ısıtmayı ve ergitmeyi sağlarlar. Aynı durumu katoda gelen iyonlar da katod önünde ve üzerinde sergilerler. Anodik ve katodik bölge bu sayede anod ve katodun (elektrod ve iş parçasının) ergimesi sağlayabilir. (Karadeniz, 2009)



Kaynak işleminde elektrod ve iş parçasını ısıtıp ergiten ve kaynağın gerçekleşmesini sağlayan enerjinin hemen hemen tamamı yukarıda anlatıldığı gibi elektrod ve iş parçasına (anod ve katod) çarpan elektron ve iyonların elektrod ve iş parçasına verdikleri kinetik enerjinin ısıya dönüşen kısmıdır.

Elektrod ve iş parçasının ısınmasında ark ışının (ultraviyole ışın) ve arkta iş parçası ve elektrodun ısınmasında ısı iletimi ile geçen enerjinin fonksiyonu yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla ergitme kaynağında ergitmeyi sağlayan ve kaynağın gerçekleşmesini sağlayan elektron ve iyonların kinetik enerjileridir ve kaynak işleminde de bunlar belirleyicidir. (Karadeniz, 2008)

#### 1.4 Plazma

Elektrod ve iş parçası arasında kalan ark sütunu içerisinde oluşan plazma maddenin dördüncü halidir. Plazma, elektron, iyon, nötral atom, foton, uyarılmış atom ve moleküllerin karışımıdır. Ark fiziğinde karşımıza çıkan yüklü parçacıklar plazma içerisinde oluşurlar.

Plazmanın kendine has özellikleri vardır. Bu özellikler şöyledir;

- a) Plazmaya elektrik ve manyetik alanla etki edilebilir,
- b) Plazma, yüksek sıcaklığa (enerji yoğunluğuna) sahip olup, sıcaklığı eksenden radyal yönde dışa doğru hızla azalır,
- c) Plazma, iyi bir elektrik ve ısı iletkenidir,
- d) Plazma, dış ortama karşı elektriki olarak nötrdür,
- e) Plazma, magnetik ve termik olarak dışardan içeri doğru sıkıştırılıp, plazmanın enerji yoğunluğu ve sıcaklığı sınırsız olarak arttırılabilir,
- f) Plazma içerisinde disosyasyon, iyonizasyon ve bu olayların tersi olan rekombinasyon olayları sürekli meydana gelir,
- g) Plazmaya dışardan bir etki olmazsa, plazma silindirsimetrik bir yapıya sahip olur. (Karadeniz, 2008)

## **BÖLÜM İKİ**

### **KAYNAK MAKİNALARI ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI**

#### **2.1 Kaynak Makinaları ve Ekipmanları**

Ark kaynağı metotlarında güç ünitesi kaynak işleminin en önemli ekipmanlarından biridir. Kaynak makinalarının veya akım üreteçlerinin amacı kaynak arkını sürekli oluşturacak gerilim ve şiddette kaynak akımını sağlamaktır.

Elde edilmek istenen kaynak dikiş formuna en uygun kaynak yöntemi ve bu kaynak yöntemine de en uygun güç ünitesi yani kaynak makinası seçilmelidir. Bunun içinde kaynak makinalarının özellikleri iyi bilinmelidir.

#### **2.2 Kaynak Makinalarının Sahip Olması Gereken Özellikler**

Tüm kaynak makinaları, gerek doğru akım generatörleri, gerek trafolar ve gerekse redresörler kaynak anındaki açık devre (boşta çalışma), tutuşma, kısadevre ve damla geçişi gibi devamlı değişen durumlara mümkün olduğu kadar hızlı (ataletsiz) uyabilmelidirler. Diğer bir deyişle kaynak makinaları açık devre, tutuşma, kısadevre, damla geçişi (kısadevre damlası oluşumu) gibi kaynak arkının yanmadığı veya stabil olarak (sabit güçte) yanmadığı, kaynağın sürekliliğini ortadan kaldıran durumlarda zaman kaybetmemeli. Bu durumları mümkün olduğunca hızlı geçerek kaynağın sürekliliğini, dolayısıyla kalitesini yükseltmelidir. Kaynak sırasında ortaya çıkan ve kaynağın sürekliliğini etkileyen bu durumlar, kaynak metoduna bağlı durumlardır.

Bu özellikler, kaynak metoduna bağlı özelliklerdir. Bir kaynak makinasının bir kaynak metoduna uygun olup olmadığı, o kaynak makinasının statik ve dinamik karakteristiklerinden görülebilir. Bunlardan başka her kaynak makinasının herhangi bir metoda bağlı olmadan iyi bir kaynak işlemi (mümkün olduğunca kaliteli ve ucuz) için göstermesi gereken özellikler vardır. (Karadeniz, 2008)

Bu özellikleri şöyle sıralayabiliriz;

1 Bir kaynak makinası mümkün olduğu kadar az boşta çalışma kaybına sahip olmalıdır.

- 2 Kaynak makinasının kazaya karşı emniyeti büyük olmalıdır.
- 3 Kaynak makinasının sargı izolasyonları, kaynak sırasındaki tutuşma ve damla geçişi hallerinde ortaya çıkan dinamik kısadevre akımından harap olmamalıdır.
- 4 Kaynak makinasının statik karakteristiği kullanılan kaynak yöntemine uygun olmalıdır.
- 5 Kaynak makinasının yeterli ayar aralığı olmalıdır.
- 6 Kaynak makinası kaynak yapılacak bölgede yeterli kaynak özelliklerine sahip olmalıdır.
- 7 Kaynak makinalarında kullanım açısından aşağıda belirtilen gerekli özelliklere sahip olmalıdır.
  - a. Kaynak makinasında kaynak akımının kademesiz olarak ayarlanabilme özelliği olmalıdır.
  - b. Kaynak makinaları kolay taşınabilme özelliğine sahip olmalıdırlar.
  - c. Kaynak makinası yüksek akım şiddeti istendiğinde paralel bağlanabilme özelliğine sahip olmalıdır.
  - d. Doğru akım kaynak generatörlerinde kaynak makinaları kıvılcımsız bir çalışma gerçekleştirmelidirler.
  - e. Kaynak makinaları iyi bir havalandırma ve soğutma sistemine sahip olmalıdırlar.
  - f. Kaynak makinasının toz ve yağmur suyuna karşı iyi bir muhafazası olmalıdır.
  - g. Doğru akım kaynak generatörlerinde fırçaların ve kolektörlerin kolay değiştirilebilmesi gerekir.
  - h. Doğru akım kaynak generatörlerinde kuyruk milinden tahrik edilebilme imkanı olmalıdır.
  - i. Doğru akım kaynak makinalarında kolay kutup değiştirilebilme imkanı olmalıdır.
  - j. Kaynak makinalarında her gerilimdeki akıma bağlanabilme imkanı olmalıdır.
  - k. Kaynak makinası sessiz ve gürültüsüz çalışmalıdır.
  - l. Kaynak makinalarının iyi bir servis, tamir ve yedek parça temin imkanı olmalıdır. (Karadeniz, 2008)

### **2.3 Kullanılan Akım Türüne Göre Kaynak Makinaları**

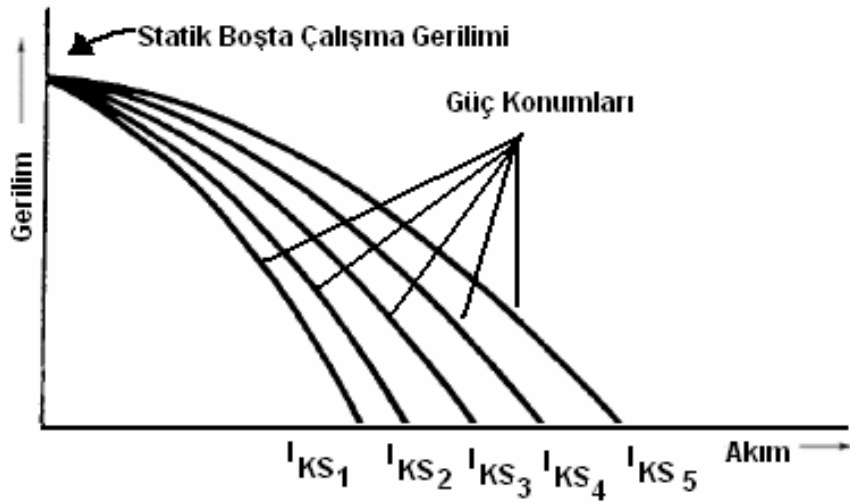
Kaynak makinaları genel olarak akım değerinin zamana bağlı olarak değişmediği doğru akımı, akım değerinin temel akım ile darbe akımı arasında belirli bir frekansta değiştiği darbeli doğru akımı ya da akımın belirli bir periyot içerisinde negatif ve pozitif kutupta bulunduğu alternatif akımı kullanırlar.

### **2.4 Statik Karakteristiklerine Göre Kaynak Makinaları**

Her ark kaynağı yöntemi, kaynak makinasında belirli özellikte (yatay, düşey, yükselen) bir statik karakteristiğin bulunmasını gerektirir. Bu karakteristikler kaynak akım ve geriliminin zamana bağlı olarak yavaş değişmelerinde veya hiç değişme olmadığı durumlarda kaynak makinasının uçları (kutupları) arasındaki gerilim ile yükleme (kaynak) akımı arasındaki bağlantıyı gösterirler. Kaynak makinalarının statik karakteristiklerini gerilim-akım diyagramları olarak göstermek alışıl gelmiştir. Her kaynak makinası statik karakteristik olarak bir eğriler demetine sahiptir. Bu demetteki eğrilerden her biri kaynak makinasının verdiği bir güce karşılık gelir. Statik karakteristiklerine göre kaynak makinaları düşey, yatay ve yükselen karakteristikli kaynak makinaları olarak sınıflandırılırlar. (Karadeniz, 2008)

#### ***2.4.1 Düşey Karakteristikli Kaynak Makinaları***

Düşey karakteristikli kaynak makinalarında kaynak akımı makina üzerinden ayarlanabilmektedir. Bu makinalarda güç ayarı, makine kontrol ünitesinden akım ayarı değiştirilerek yapılır. Akım üzerinden yapılan güç ayar değişikliğinde gerilim fazla değişmez. (Karadeniz, 2008). Şekil 2.1’de düşey karakteristikli bir kaynak makinasına ait eğriler demeti, statik karakteristikler görülmektedir.



Şekil 2.1 Düşey karakteristikli bir makinanın statik karakteristikleri (Karadeniz, 2008)

Akımın sıfır olduğu gerilim değerine  $U_0$  boşta çalışma gerilimi, gerilimin sıfır olduğu akım değerine ( $I_K$ ) de kısa devre akımı denir.

Düşey karakteristikli makineler, kısa devre durumunda statik kısa devre akımını sınırlandıran özelliklerinden dolayı manuel kaynakta kaynak operatörünün kaliteli bir kaynak yapmasını sağlarlar. Bu özellikleri de dikkate alınarak pratikte kullanım oranları yüksektir. (Karadeniz, 2008)

Bu tip makinaların bazı kullanım alanları aşağıdaki gibidir;

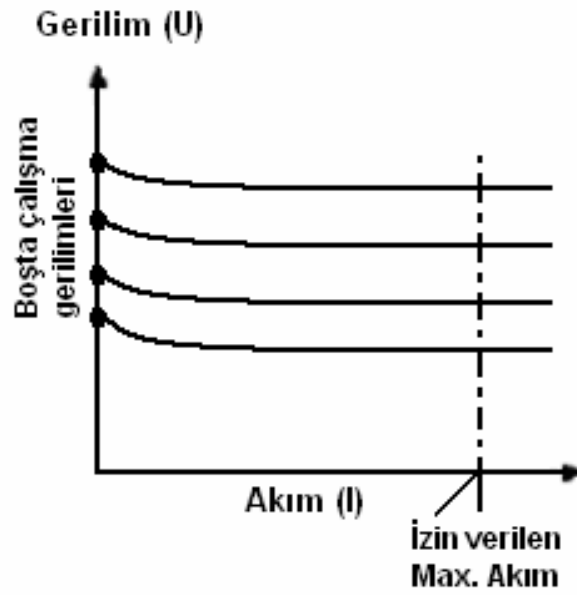
1. Elle yapılan örtülü elektrodla kaynaklar (MMA),
2. Elle veya mekanik şekilde yapılan koruyucu gaz kaynaklar(TIG/ WIG),
3. Yarı ve tam otomatik şekilde tel örgü örtülü elektrodlarla kaynaklar,
4. Karbon elektrodlu ark kaynakları veya kesmeleri,
5. Kalın tellerle ( $\phi \geq 3$  mm) yapılan cüruf altı kaynağı,
6. Plazma kaynağı,
7. Kalın tellerle ( $\phi \geq 3$  mm) yapılan tozaltı kaynağı,
8. Plazma ile kesme.

### 2.4.2 Yatay Karakteristikli Kaynak Makinaları

Kaynak geriliminin kaynak makinası üzerindeki kontrol ünitesinden ayarlanabildiği makinalardır (Şekil 2.2). Düşey karakteristikli makinalardan farklı olarak makina güç ayarı gerilim değişikliği üzerinden yapılır. Bu durumda kaynak akımında fazla bir değişiklik görülmez.

Yatay karakteristikli kaynak makinaların kullanıldığı yerleri şu şekilde sıralayabiliriz;

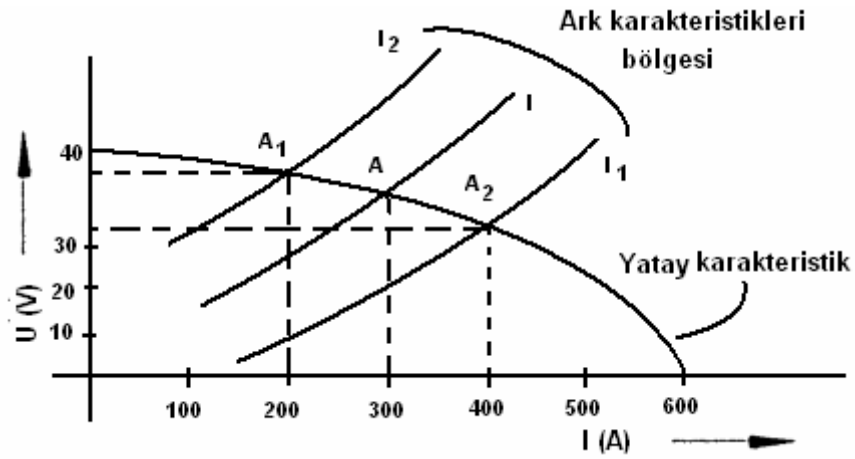
- Eriyen metal elektrodlarla koruyucu gaz kaynağı (MIG ve MAG),
- Küçük kesitli ( $\phi \leq 3$  mm) telle tozaltı kaynağı,
- Küçük kesitli telle cürufaltı kaynağı.



Şekil 2.2 Yatay karakteristikli bir makinanın statik karakteristikleri (Karadeniz, 2008)

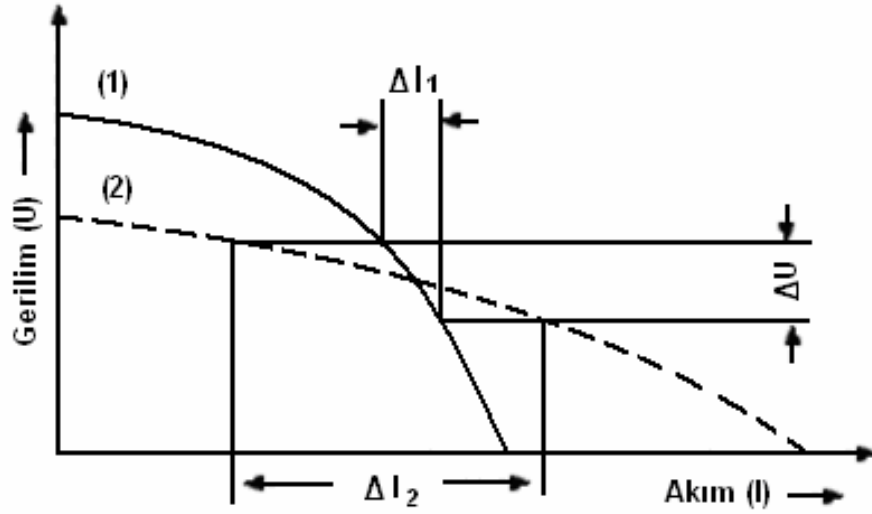
Bir karakteristiğin yatay olup olmadığına şu şekilde karar verilir. Eğer bir makinanın karakteristiğindeki 100 Amperlik bir akım aralığındaki gerilim değişimi 1 ile 7 volt arasında bir değerde ise, o makinanın karakteristiği yatay, daha büyük ise makine karakteristiği düşey olarak isimlendirilir. (Karadeniz, 2008).

Burada makina karakteristiği ile ark karakteristiğinin kesim noktasından görüleceği üzere (Şekil 2.3) küçük gerilim değişimlerine veyahut küçük ark uzunluğu değişimlerine karşılık büyük akım değişimleri ortaya çıkıyor (MIG/ MAG kaynağındaki durum buna örnektir). Bu durum şu neticeyi doğurur; bu tür makinalarla yapılan mekanik veya otomatik kaynak yöntemlerinde kaynak teli önceden tespit edilen bir hızla iletilir ve kaynak teli ark taşıyıcısıdır. Bu kaynak makinası ile kaynakta elektrod teli ark taşıyıcısı olduğu için, kaynağın sıhhatli olması kaynak işleminde ortaya çıkan elektrik arkı bölgesinde cereyan eden olayların değişmemesine, kaynak boyunca aynı kalmasına bağlıdır.



Şekil 2.3 Yatay karakterli makine karakteristiği ve ark karakteristikleri (Karadeniz, 2008) A: Çalışma noktası, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>: Arkın stabil olarak yandığı bölgenin sınır noktaları

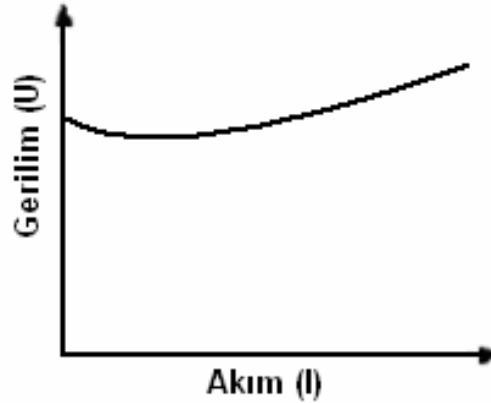
Şekil 2.4' de dikey ve yatay karakteristikli iki kaynak makinasına ait karakteristiklerde bir  $\Delta U$  gerilim değişimindeki (ark boyu değişimi) akım değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre yatay karakteristikli akım değişmesi dikey karakteristiktene göre çok çok büyüktür.



Şekil 2.4 Yatay ve düşey karakteristiklerde ark boyu (gerilimi) değişimindeki akım değişimlerinin karşılaştırılması (Karadeniz, 2008)

### 2.4.3 Yükselen Karakteristikli Kaynak Makinaları

Bu tür kaynak makinalarında akım değeri yükseldikçe gerilim değeri de yükselir. Bu tip kaynak makinaları çok çok özel durumlardaki koruyucu gaz kaynaklarında kullanılır. Kaynaklı imalat dışında ark ile ergitme ocaklarını besleyen üreteçler bu karakterdedirler (Şekil 2.5).

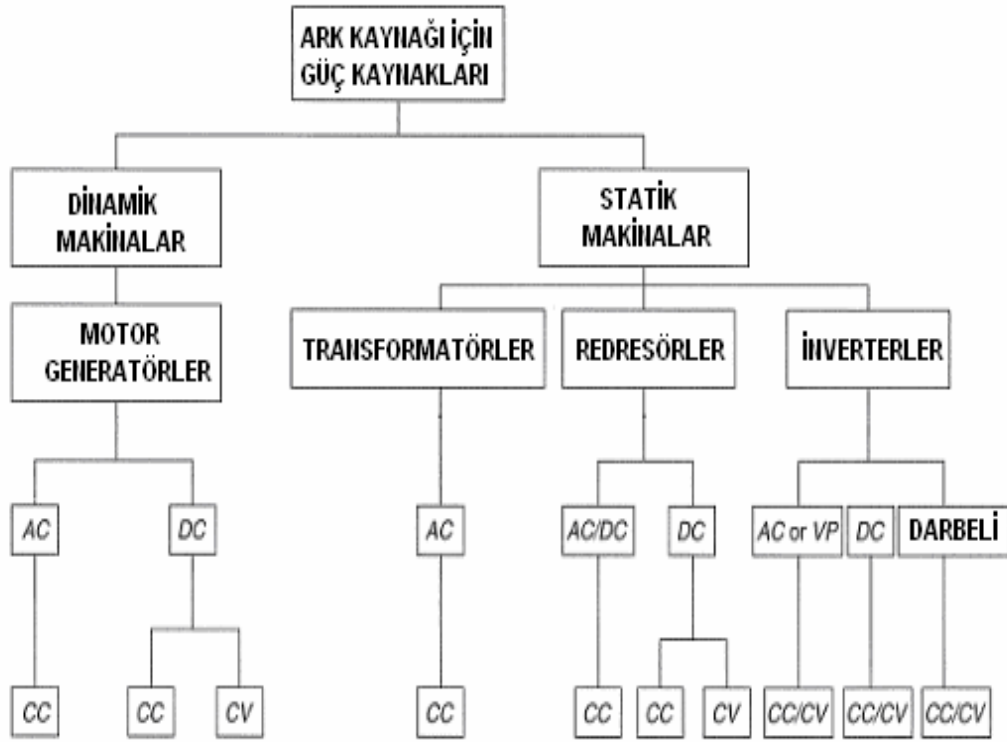


Şekil 2.5 Yükselen karakteristikli bir kaynak makinasının statik karakteristiği (Karadeniz, 2008)



## 2.5 Yapılarına Göre Kaynak Makinaları

Kaynak makinaları sınıflandırılırken öncelikle statik ve dinamik (döner) kaynak makinaları çeşitlerine ayrılırlar. Dinamik (döner) makinalar ark kaynağı için kullanım alanında güç üretirler. Statik kaynak makinalarının ise hareket eden parçaları yoktur ve elektrik hatlarından enerjiyi alıp ark kaynağı için kullanılabilir hale getirirler. Statik kaynak makinalarının da üç ana tipi vardır. Bunlar transformatörler, redresörler ve inverterlerdir. Şekil 2.6' da ark kaynağı için güç kaynaklarının sınıflandırılması verilmiştir.(Cary, 1998)



**DC: DOĞRU AKIM; AC: ALTERNATİF AKIM; CV: SABİT GERİLİM; CC: SABİT AKIM; VP: DEĞİŞKEN GERİLİM**

Şekil 2.6 Ark kaynağı için güç kaynakları sınıflandırması (Cary, 1998)

### **2.5.1 Dinamik Kaynak Makinaları**

#### *2.5.1.1 Doğru Akım Generatörleri*

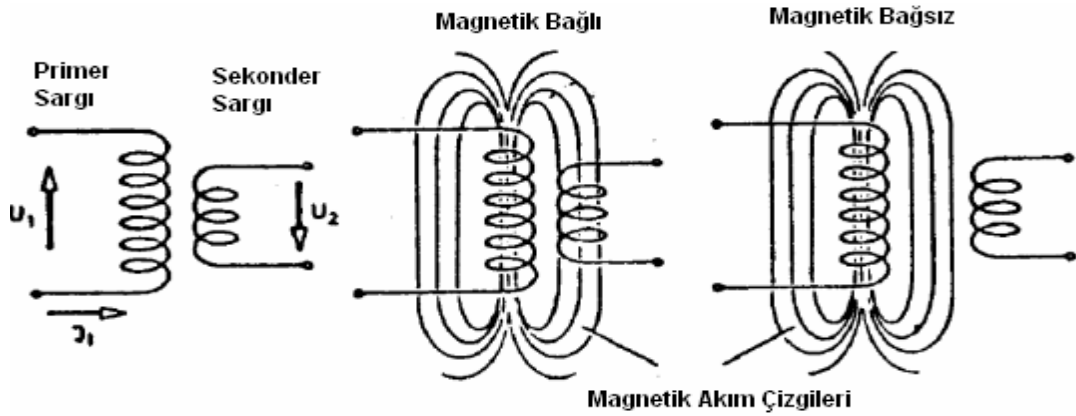
Bir doğru akım generatörü bir tahrik motoru ve bir de generatöründen oluşan bir takımdır. Bu makinaları mekanik enerjiyi elektrik enerjisine (kaynak enerjisine) çevirerek kaynak akımını çalışma yerinde üretilenler. Magnetik alan içinde hareket eden bir iletken bir gerilim endüklenir. Bu, doğru akım generatörlerinin prensibidir. Eğer bu iletken bir kapalı devre teşkil ediyorsa (kapalı elektrik çevrimi içinde bulunuyorsa) bu iletkenden bir akım akar. Genel olarak bir generatörde, bir magnetik alan içinde dönen rotor sarımlarında alternatif bir gerilim indüklenir. Doğru akım generatörlerinde bu alternatif gerilim, kolektör adı verilen mekanik bir doğrultucu sayesinde doğru akım (tek yönlü akım) şekline çevrilir. Kolektör generatörde elde edilen alternatif akımın negatif alternanslarını pozitif çevirir. Bir rotor dönme yönünde arka arkaya gelen birçok sarım vardır. Her bir sarım, bir diğerine nazaran zamana göre kayık bir akım impulsu verir ki bunlar kolektör sayesinde doğrultulur. Bir generatör içinde iki akım çevrimi vardır. Bunlardan biri magnetik alanı (generatörde uyarıyı) yaratan ve kutuplar (N,S) üzerinde bulunan uyarı sarımlarından geçen, uyarı akımı çevrimi; diğeri rotor sarımlarının magnetik alanı kesmesi sonucu, rotor sarımlarından ortaya çıkan ve kolektör tarafından doğrultulup, kaynak akımının aktığı çevrimdir. Tahrik makinasının cinsine göre doğru akım generatörleri; döner alanlı motor (üç fazlı alternatif akım motoru) tahrikli, benzin motoru tahrikli ve dizel motoru vb. ile tahrikli generatörler şeklinde sınıflandırılırlar. (Karadeniz, 2008)

### **2.5.2 Statik Kaynak Makinaları**

#### *2.5.2.1 Transformatörler*

Transformatör akım üretmez, sadece alternatif akım şebekesinden aldığı elektriğin akım ve geriliminin büyüklüğünü ihtiyaç olan değerlere getirir. Trafonun ikinci görevi tüketiciyi şebekeden elektriki olarak ayırmak ve ikisini magnetik olarak bağlamaktır. Transformatörler enerjiyi şebekeden tüketiciye magnetik olarak naklederler, arada bir elektriki bağ (elektrik iletken bağ, galvanik bağ) yoktur. Bu

durum şebeke tarafında oluşan ve tüketici tarafında mahzur oluşturan bazı olayların (bazı parazitler, yıldırım dalgası gibi) tüketici tarafına direk olarak geçişini önler ve onları tüketici tarafa zayıflatarak geçirir. Bu da tüketicinin şebeke tarafında oluşan olaylardan korunmasını sağlar. Bu hizmet örneğin redresör devreleri için vazgeçilmez bir unsurdur. En basit halde trafo komşu iki bobinden oluşur (Şekil 2.7). (Karadeniz, 2008).

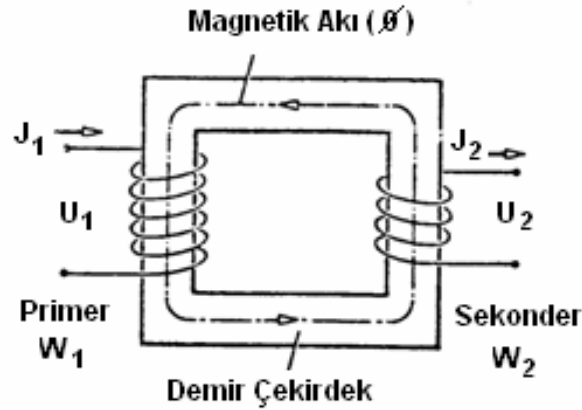


Şekil 2.7 Havalı Transformator Prensibi (Karadeniz, 2008)

Transformatörlerde bobinlerden biri şebekeye bağlı olup buna primer, diğeri de tüketiciye bağlıdır ve buna da sekonder adı verilir. Primer bobinden akan akım sayesinde bobinden şebeke frekansına göre değişen alternatif bir magnetik alan oluşur, ki bu sekonder bobinden de geçer. Böylece indüksiyon kanuna göre sekonderde bir gerilim indüklenir. Zira elektromagnetik indüksiyon kanununa göre değişken magnetik alan içerisindeki bir iletken (bobin) bir gerilim indüklenir. Bu gerilimin değeri  $U = w \cdot N \cdot \Phi$  ile verilir. Burada  $w = 2\pi f$ ,  $f$  = frekans;  $N$  = Bobinin sarım sayısı;  $\Phi$  = Bobinden geçen magnetik akıyı temsil eder.

Bir trafoda bobinler magnetik olarak ne kadar birbirine bağlı ise, yani birinde yaratılan magnetik alandan ne kadarı diğerdenden de geçiyorsa, bobinler magnetik olarak birbirlerine o kadar bağlı demektir ve enerjinin bir taraftan diğere (Primerden sekondere) transferinde o kadar az kaçak akı kaybı olur. Eğer primerde yaratılan magnetik alanın tümü sekonderden geçiyorsa, enerji transferinde kayıp sıfır demektir.

Bobinler konum olarak birbirlerine ne kadar yakınsa magnetik olarak birbirlerine o kadar bağlıdır. Şekil 2.7' de görüldüğü gibi demir çekirdeksiz bir trafoda magnetik alanın büyük bir kısmı kaçak alan (kayıp alan) olarak zayi olur. Güç trafolarında aradaki hava yerine, bobinlerin sarıldığı bir demir çekirdek mevcuttur. Demir, magnetik kuvvet hatlarını havadan çok daha iyi iletir. Yani demirin (ferromagnetik malzemelerin) magnetik iletkenliği hava veya vakuma göre yüksektir. Zira vakum veya havanın permeabilitesi  $\mu= 1$  iken, demirinki cinsine göre  $\mu=200 \dots 2000$  arasında değişir. Bundan dolayı demir çekirdekli trafolarda magnetik akı demir çekirdeği takip ederek sekonder bobinden geçer. Böylece trafonun iki bobini arasında çok sıkı bir magnetik bağ elde edilmiş olur (Şekil 2.8). Normal demir çekirdekte ama döner akımlar meydana gelir ve bunlar kayıplara neden olur. Bunu önlemek için de demir çekirdek yekpare olarak değil birbirlerine karşı boya veya lak ile izole edilmiş, %4 silisyumlu demir sacların paket halinde bağlanmasıyla yapılır. Silisyumlu demir olmasının nedeni, saf demire göre silisyumlu demirin permeabilitesi çok çok yüksek oluşudur. Böylece döner (girdap) akımlarından dolayı olabilecek kayıplar azaltılmış ve dolayısıyla çekirdeğin ısınması çok küçültülmüş olur. Elektrik motor ve generatörlerinde rotor ve stator gövdeleri, aynı nedenlerden dolayı paketlenmiş silisyumlu saclardan yapılır.



Şekil 2.8 Demir çekirdekli trafo prensibi  
(Karadeniz, 2008)

Kaynak trafolarında şebekeden gelen yüksek gerilim ve düşük akımlı alternatif akım, düşük gerilimli yüksek akım şiddetli alternatif kaynağına çevrilir. Bu

sayede şebekeden gelen elektriğin akım ve gerilim değerleri kaynak işlemine uygun hale getirilir. (Karadeniz, 2008)

### 2.5.2.2 Redresörler (Doğrultucu)

Redresör yapısı bakımından transformatörler grubuna girer. Redresör, bir trafo ile sekonder devresinde alternatif akımı doğru akıma çeviren bir doğrultucu köprü takımından oluşur.

Redresörün trafolarının kaynak makinası olarak kullanılan trafolardan farkı, genelde trifaze olmaları ve redresörlerde şebeke akımının trifaze akım olmasıdır. Dolayısıyla redresörlerde şebeke yüklenmesi simetrik olup, bir fazlı kaynak trafolarına göre, bağlı oldukları elektrik şebekesini şebeke yüklenmesi açısından olumsuz etkilemezler. Ayrıca redresörün yukarıda sözü edildiği gibi trafodan farklı olarak, fazladan bir de doğrultucu kısmı vardır. Bütün diğer elemanlar, örneğin düşey karakteristik elde etme elemanları, akım ayar elemanları redresörlerde de aynen mevcuttur. Yalnız transformatörlerdeki tek faz elemanı yerine, burada üç fazlı elemanlar vardır. Transformatör tipi kaynak makinalarındaki üç ayar dışında, redresörlerde tristör ve transistör adı verilen kumandalı diyotlarla yapılan ve güç elektroniği adıyla bilinen dördüncü güç ayar ve kumanda olanağı, dolayısıyla dördüncü tip redresör vardır. (Karadeniz, 2008)

### Redresörlerin Yapısı

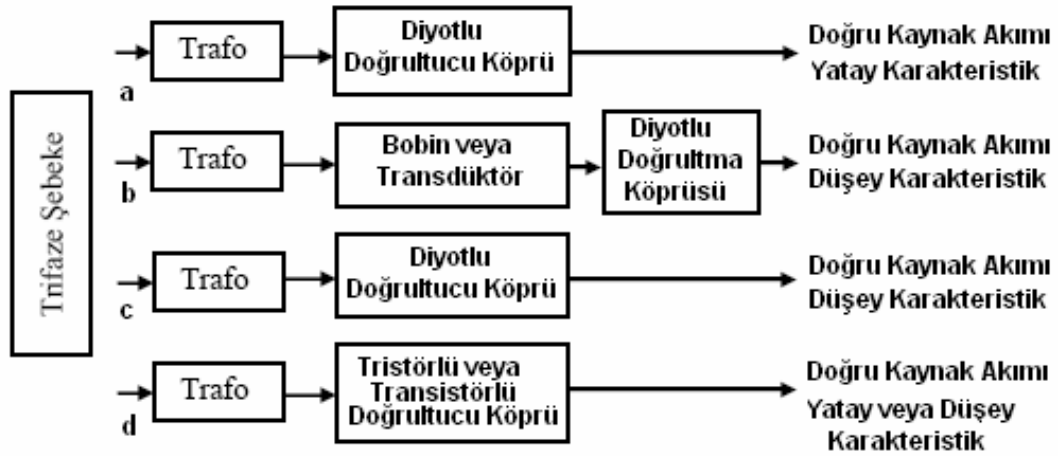
Pratikte inşa edilen redresörler, elde edilen karakteristik şekline göre yatay ve düşey karakteristikli olmak üzere iki tiptir. Yapılarına göre ise redresörler dört grupta toplanır. Şekil 2.9'de bu gruplar blok şemalar halinde verilmiş olup, bunlara ait açıklamalar şu şekildedir;

a) Primer ve sekonder sarım sayıları kademeli olarak değiştirilebilen yatay karakteristikli trafolarla doğrultucu (diyotlu köprü) bağlanarak oluşturulan redresörler. Bu redresörler yatay karakteristiklidir.

b) Yatay karakteristikli trafoya, şok bobini veya transdüktör ve doğrultucu (diyotlu köprü) bağlanarak oluşturulan redresörler. Bu redresörler düşey karakteristiklidir.

c) Kaçak akılı trafoya doğrultucu (diyotlu köprü) bağlanarak oluşturulan redresörler. Bunlar düşey karakteristiklidirler.

d) Yatay karakteristikli trafoya kumandalı diyotlu (tristör veya transistörlü) doğrultucu köprü bağlanarak elde edilen redresörler. Bu redresörlerde karakteristik değiştirme (düşey karakteristik elde etme) ve güç (akım) ayarı, köprüyü oluşturan tristör ve transistörlerle gerçekleştirilir. Bu tür kaynak makinasında kumanda şekline göre istenilen eğimde karakteristik elde edilebilmektedir. Yani karakteristik eğimi ve değiştirilmesi (güç ayarı) tristörün veya transistor ün kumanda ucuna verilen kumanda sinyali ile yapılmaktadır.



Şekil 2.9 Redresörlerin yapıların ait blok şemaları (Karadeniz, 2008)

- Yatay karakteristikli trafo + diyotlu doğrultucu = Yatay karakteristik
- Yatay karakteristikli trafo + bobin veya transdüktör + diyotlu doğrultucu = Düşey karakteristik
- Kaçak akı çekirdekli trafo + diyotlu doğrultucu = Düşey Karakteristik
- Yatay karakteristikli trafo + tristör veya transistörlü doğrultucu = Yatay veya düşey karakteristik

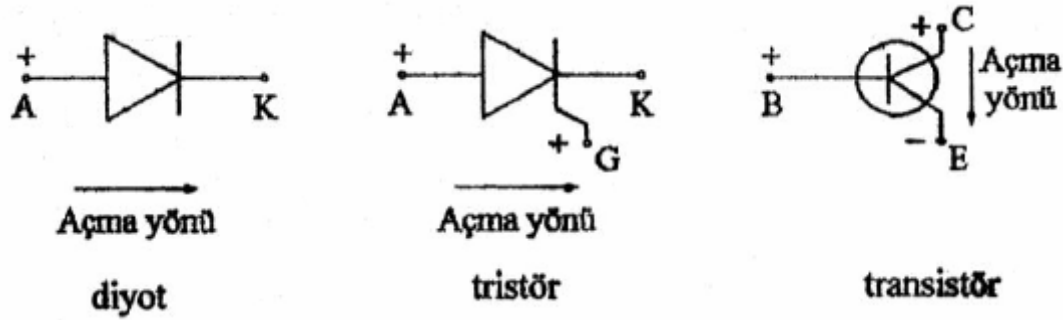
### 2.5.2.3 Yarı İletken Güç Elemanları (Diyot, Tristör, Transistör)

Diyot, tristör ve transistörler her üçü de tek yönlü akım geçiren elemanlardır (diyotlardır) (Şekil 2.10). Bunlardan diyot, içinden geçen akımın kumanda edilemediği, tristör ve transistör ise içinden geçen akımın, bu elemanların kumanda ucu sayesinde kumanda edilebildiği (kumandalı) diyotlardır. Dolayısıyla redresörlerdeki doğrultucu köprü, ister diyotlu ister tristör veya transistörlü olsun doğrultmayı gerçekleştirir. Doğrultma işi, diyot, tristör veya transistöre bağlı değildir köprünün bir bağlantı özelliğidir.

Diyot; pozitif anod-katod (A, K) geriliminde açma yönünde akım geçirir, zıt yönde akım geçirmez.(Şekil 2.10) Diyotlarda akımın başlangıç ve bitim zamanını tayin etmek mümkün değildir. Bu nedenle diyotlu köprüler doğrulttuğu akımın şekil ve miktarını değiştirmez, dolayısıyla gücü değiştirmez, sadece doğrultma işlemi yapar.

Tristör (Şekil 2.10); pozitif anod-katod (A, K) geriliminde tristörün kumanda ucuna (G) da bir pozitif sinyal gelirse anod-katod yönünde akım akar, zıt yönde akım akmaz. Tristörün kumanda ucuna pozitif sinyalin gelmiş olması akımın akmaya başlaması ve devamı için yeterlidir. Kumanda ucundaki sinyal, akım akmaya başladıktan sonra çekilse bile, akım açma yönünde akmaya devam eder. Ta ki şebeke akımının şekli ve formu gereği kendiliğinden sıfır olana kadar. Bu haliyle tristör sadece akımın akmasını başlatabilen ama akımın akışını kesemeyen elektronik bir şalterdir. Sonuç olarak tristörde akımın akmaya başlama anını biz tayin edebiliriz, bitme anına edemeyiz. Buna açıl kumanda adı verilir. Zira zamana bağlı olarak periyodik değişim gösteren akımlarda zaman eksenini açı eksenini olarak alınabilir ve tristöre kumanda anı bir açığa tekabül ettirilebilir. Ayrıca tristörde akımı kontrol ederek makinanın karakteristiğini (karakterini) değiştirmek mümkündür. Tristörler diyotlar gibi akımı sadece bir yönde kesmezler, iki yönde de akımı kesebilirler. Tristörler n- ve p-tipi olmak üzere dört yarı iletkenle oluşurlar. Tristörlerin p- ve n-gate tipleri olarak iki tipi vardır.

Transistör (şekil 2.10) pozitif kolektör-emiter (C, E) geriliminde transistorün baz (B) ucuna da bir pozitif sinyal gelirse kolektör-emiter yönünde akım akar. Baz ucundaki sinyal bu uçta durduğu müddetçe kolektör-emiter akımı akar, sinyali baz ucundan çekersek bu akım da kesilir. Sonuçta transistorün baz ucuna vereceğimiz sinyal yardımıyla transistor den akan akımın hem başlangıç ve hem de bitim anını tayin edebiliriz. Bu haliyle transistör tam bir elektronik şalterdir.



Şekil 2.10 Diyot, tristör ve transistör prensip ve çalışma şekilleri (Karadeniz, 2008)

### 2.5.2.3 İnverter Kaynak Makinaları

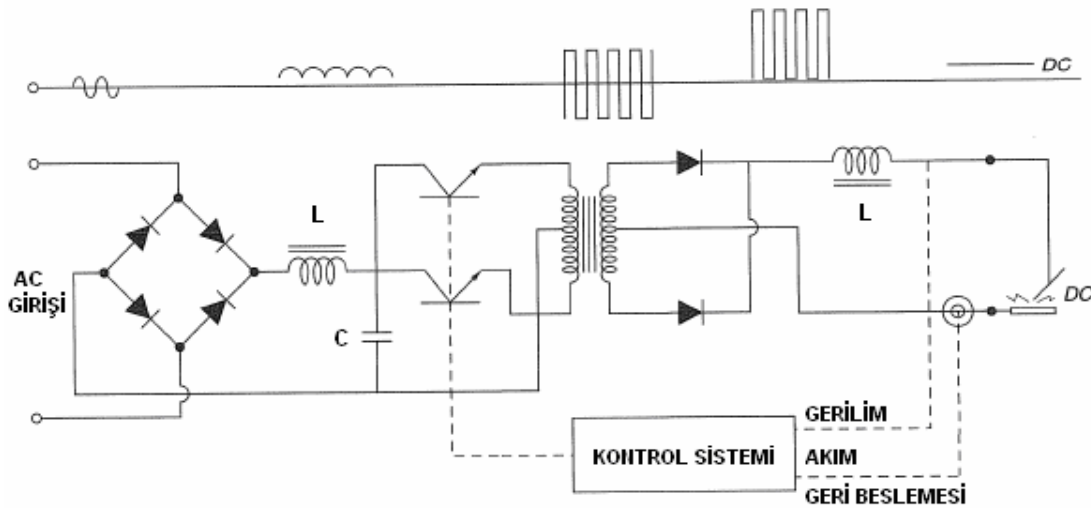
Alışılmış kaynak akım üreteçlerinde, normal elektrik devresinden çekilen alternatif akım doğrudan bir transformatöre girer, burada akımın frekansı değişmez sadece gerilimi ve akımı ayarlanıp, doğrultucuda doğrultulur ve filtre edilerek kaynak için gerekli koşullarda sabit değerli doğru akım elde edilir. Burada kontrol devreleri, çıkış akımından aldıkları sinyalleri giriş kontrol sinyalleri (akım üreticinin ayar değerleri) ile karşılaştırarak redresör çıkışını ayarlarlar. (Karadeniz 2008)

İnverter tip kaynak makinalarında ise durum farklıdır. Bir inverter, kelime anlamı ile bir dönüştürücü olup, temelde, bir yüksek hızlı açma-kapama cihazıdır. İnverterler doğru akımı alternatif akıma dönüştürürler.

İnverterlerde şebekeden çekilen alternatif akım önce bir diyotlu doğrultma köprüsüne verilir ve köprüde doğru akım haline dönüştürülür, bu akım chooper (dönüştürücü, inverter) adı verilen bir dönüştürücüde yüksek frekanslı alternatif akıma dönüştürülür. Bu akımın frekansı kaynakta kullanılan inverterlerde genelde 20000 Hz mertebesindedir. Bu yüksek frekanslı alternatif akım trafoya verilerek,



akım ve gerilimi kaynak işleme uygun hale getirilerek, bir doğrultucu köprüde doğrultulup, filtreden geçirilerek darbeli doğru akım elde edilir (Şekil 2.11). Bu makinanın verdiği akım saniyedeki darbe adedi, darbe yüksekliği, şekli ve süresi makinanın üzerinden ayarlanabilmektedir. (Karadeniz, 2008)



Şekil 2.11 Sabit değerli akım veren, primerden transistör kontrollü inverter güç kaynağı (Cary, 1998)

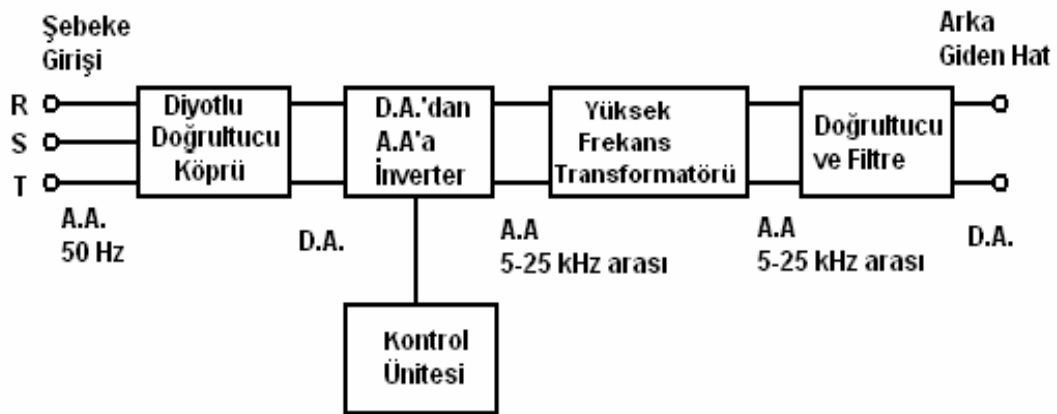
C: Gerilim dalgalılığını yok eden kondansatör, L: Ani akım değişimlerini yok eden şok bobini

Bu sayede örneğin eriyen elektrotlu gazaltı kaynağı olan MIG/ MAG kaynağında her darbeye bir damla oluşturulduğu gibi, damlanın büyüklüğüne de etki edilebilmektedir. Yani saniyede oluşan damla adedi ve büyüklüğüne, damlalara hükmedilebilmektedir. Ayrıca çıkış büyüklükleri makine üzerinden ayarlanan referans büyüklüklerle bir geri besleme (feed back) sayesinde saniyede 20.000 defa karşılaştırılarak, çıkış büyüklerinin istenen referans büyüklükler ile farkı varsa bu fark, çok hızlı olarak yok edilmektedir. Yani inverterde 20.000 Hz gibi fevkalade hızlı bir kontrol ve kumanda sistemi vardır. Bu yüksek kontrol ve kumanda hızı ideal bir kaynak işlemi demektir. (Karadeniz, 2008)

### İnverter Kaynak Makinalarının Genel Yapıları

İnverter tipi bir kaynak makinasında üç fazlı, 50 Hz frekanslı, 380V faz arası, 220V faz nötr gerilimli alternatif akım, bir diyotlu köprü ile doğru akıma çevrilir. Burada elde edilen doğru akım inverter yardımıyla, yüksek frekanslı alternatif akıma

dönüştürülüp, bu yüksek frekanslı alternatif akım çok hafif, küçük ebatta ve yüksek verimli bir transformatöre verilir. Bu transformatör, gerilim ve akımı kaynak arkı için gerekli olan değerlere ayarlar ve bu gerilim ve akım daha sonra bir redresör vasıtasıyla doğru akım çıkışı verecek şekilde doğrultulur. Çıkıştaki gerilim ve akım dalgalanmalarını düzeltmek (yok etmek) için son redresöre bir de filtre ilave edilir (Şekil 2.12). İnverterlerin bu şekilde kullanılması çok küçük kaynak güç ünitelerinin yapılabilmesine imkan verir. İnverter tipi kaynak makinalarında güç (akım) ayarı normal transistörlü kaynak makinalarında olduğu gibi inverteri (dönüştürücü) oluşturan transistör üzerinden yapılır.



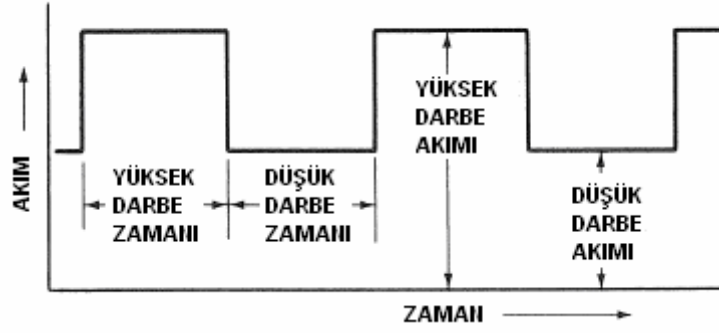
Şekil 2.12 İnverter tipi kaynak makinası blok şeması (Karadeniz, 2008)

İnverter sistemler MIG/ MAG kaynağı için kullanılan tek düğmeli setlerin gelişmesinde bir anahtar görevi görmüşlerdir. Belkide kaynak güç ünitelerinin tasarımındaki bu gelişmelerin en belirgin tarafı, kontrol cihazlarında gelen bilgilerle, arkta hızlı (saniyenin yirmi binde biri zamanda) bir düzeltme yapılabilmesidir. Bu durum, kaynakta yalnız büyük bir ark kararlılığı ve tekrarlanabilirliği sağlamaz, aynı zamanda geleneksel ünitelerde çıkış karakteristiklerine göre yapılan ayarlamaların (kumandanın) da yeni tasarımlarda artık önemini kaybettiği anlamına gelir. İnverterlerde sabit akım veya sabit gerilimli çalışma şekilleri (karakteristikler), elektronik devreleri uygun bir şekilde kontrol edecek yöntemin seçilmesiyle simüle edilebilir. (Karadeniz, 2008)

İnverterlerin sabit (değeri değişmeyen) akımlı ve darbeleri doğru akım olanları vardır. Darbeleri doğru akım veren inverterlerin düşük darbe frekanslı (saniyede 1-5 Hz) olanları ve 20.000 Hz' e kadar yüksek darbe frekanslı olanları çift darbeleri (double pulse) olanları mevcuttur. Düşük darbe frekanslı olanlarda darbe, düşey tavan kaynağı gibi zor kaynak pozisyonlarında kaynak banyosunun büyüyüp aşağı akmasını önlemeye yarar. Örneğin darbeleri TIG kaynağında, her darbede bir kısım malzeme eritilip, arkasından katılarak kaynak banyosunun büyüyüp akmasının önüne geçilmiş olur.

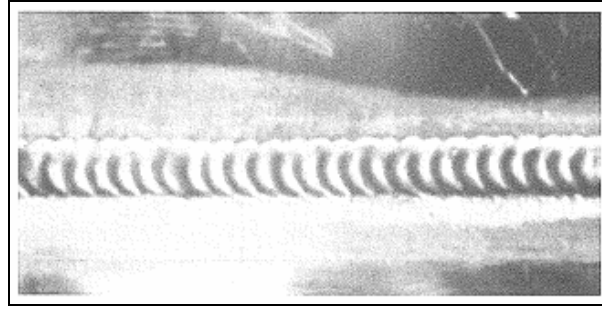
İyi bir nüfuziyetin, buna karşın parçaya ısı girdisinin sınırlı olması istenen durumlarda darbeleri doğru akım yöntemi uygulanır. Darbeleri doğru akım ile alternatif akım farklıdır; darbeleri doğru akımda seçilen akım şiddeti önceden saptanmış iki değer arasında, arzu edilen bir frekansta değişmektedir (Şekil 2.13).

Bu sistemin üstünlüğü eriyen tel elektrodan ergiyen damlaların kaynak banyosuna geçişinin temel ve darbe akım şiddetine göre iki farklı hızla gerçekleşmesidir. Darbe akımı (tepe akımı) sırasında, kaynak metali hızlı bir biçimde ergir ve kaynak banyosuna spreysel ark biçiminde taşınır. Bunu takip eden temel akım (düşük darbe akımı) periyodunda ise elektrod ucunun ergimesi azalır ve gerekirse hiç ergimemesi sağlanır ve kaynak banyosuna da ısı girdisi azalır ve bu sırada banyo kısmen katılaşmaya başlar. Temel akım şiddeti arkın sönmeyeceği bir değerde tutulduğundan arkın yeniden tutuşturulması sorunu da ortadan kalkar. Bu şekilde bir ark ile her pozisyonda kaynak yapmak kolaylaşmış olur. Güç elektroniği yardımı ile frekans, temel akım şiddeti, darbe akım şiddeti ile bunların süreleri birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir. (Karadeniz, 2008)



Şekil 2.12 Darbeli doğru akım, akım-zaman grafiği (Cary, 1998)

Şekil 2.13 ince metal üzerinde darbeli akım kaynağı ile yapılmış bir kaynak dikişini gösterir. Değerler optimum kaynak koşullarını sağlayacak şekilde kaynakçı tarafından ayarlanabilir.



Şekil 2.13 İnce malzeme üzerinde darbeli akım kaynağı (Cary, 1998)

Darbeli doğru akımın TIG kaynağında kullanılması ile ortaya çıkan avantajları şu şekilde sıralayabiliriz;

1. İnce saçlar, kaynak ağızları kötü hazırlanmış olsa bile asgari distorsiyonla kaynak yapılır.
2. Kalın saçların zor kaynak pozisyonlarına kolaylıkla uygulanabilir. Esas akım süresindeki soğuma fazı, kaynak banyosunun zor pozisyonlardaki akmasını önler.
3. Boru kaynaklarında, borular arasındaki aralık toleransları kenar kaymaları dolayısıyla değişse bile, kök pasosunun kaynağı rahatlıkla yapılabilir.
4. Farklı kalınlıklardaki parçaların birbirleriyle kaynağında, bir zorluk söz konusu değildir.

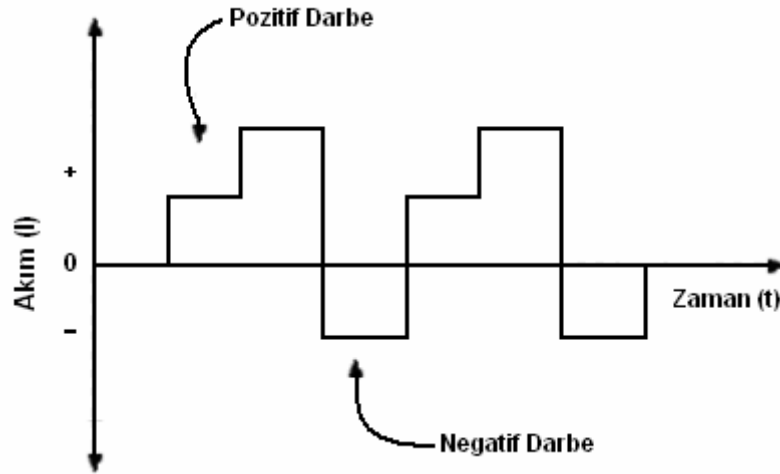
5. Küçük parçaların kaynak dikişlerinin sonlarında oluşan ısı yoğunlaşması, bu usulle önlenmiş olur.

6. Kaynak yerindeki ısı miktarının ayarlanabilmesi; kaynak banyosuna hakimiyeti daha kolay sağladığından kötü birleştirme şekillerinde parçalar arasındaki köprü kurabilme imkanını sağlar.

7. Kurşun gibi, erime derecesi düşük metallerin el ile tavan kaynaklarının yapılması imkan dahilinde girer.

8. Kaynak metalindeki kristalizasyon işlemine uygun bir etki yapar. Böylece çatlama olasılığına sahip alaşımlı çeliklerin, bu olasılığı azaltılmış olur. (Anık, 1991)

Daha hassas kaynak yöntemlerine olan ihtiyaç devam etmektedir. Otomobil gövdelerindeki alüminyum da dahil olmak üzere son derece ince malzemeleri kaynak yapmak için özel bir istek vardır. Bu istek “İkiz inverter kaynak makinesi” olarak bilinen 2 inverter kullanan güç ünitesini ortaya çıkardı. Son derece yüksek frekanslarda değişken polariteli (kutuplu) kaynak sağlar. Bu makinenin çıkış dalga şekli Şekil 2.14’de gösterilmiştir. (Cary, 1998)

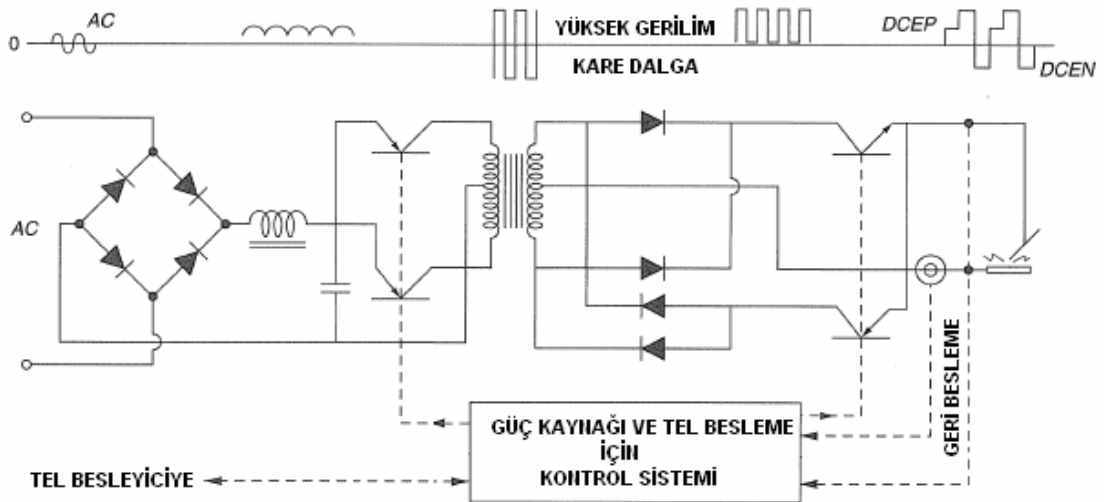


Şekil 2.14 İkiz inverter kaynak makinasında elde edilen değişken kutuplu darbeli dalga şekli (Cary,1998)

Negatif darbe zaman periyodunun uzunluğu ve genlik miktarı nüfuziyeti değiştirmek için artırılıp azaltılabilir. Bu durum et kalınlığı ince alüminyum parçalarda kaynak yaparken gereklidir. Bu sisteme darbeli alternatif akım kaynağı

denir. Mikroişlemci uygun darbe-dalga kontrolünü sağlamak için yapay zeka kullanır. (Cary, 1998)

Özellikle alüminyum kaynağı için olan bu ihtiyaç ikiz inverter sistemi olarak bilinen yeni darbeli MIG/ MAG kaynağının güç ünitesinin geliştirilmesine giden yolu açmıştır. Normal inverter güç ünitesinin ana trafonun primer tarafında bir inverter vardır. İkiz inverterin polarite anahtarlaması için sekonder tarafta ikinci bir inverter vardır. Bu makina değişken polarite çıkışı sağlar ve elektrot polaritesini değiştirerek penetrasyonu kontrol eder. Pozitiften negatife geçip sonra tekrar geri dönerek, terslik oranını ve polarite akımını kontrol ederek polarite çıkışını değiştirir. Şekil 2.15’de ikiz inverter makinesinin basitleştirilmiş devre diyagramı gösterilmiştir. (Cary, 1998)



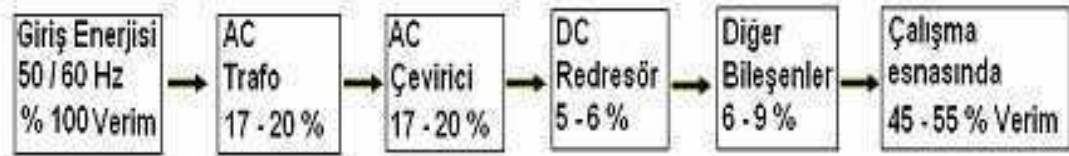
Şekil 2.15 İkiz inverter güç ünitesinin basitleştirilmiş devre diyagramı. AC: Alternatif akım, DCEN: Doğru akım elektrod negatif, DCEP: Doğru akım elektrod pozitif

### İnverter Tip Kaynak Makinalarının Özellikleri

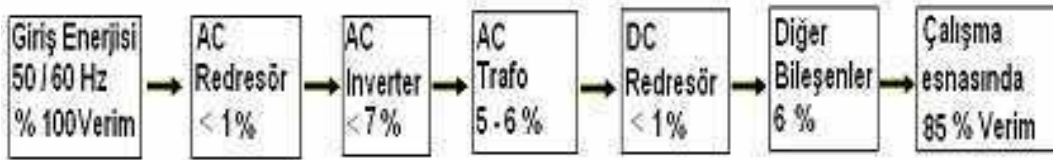
Kaynak teknolojisindeki en son gelişmelerden bir tanesi, hatta en önemlisi inverter türü akım üreteçlerinin kaynaklı imalatta uygulamaya girmiş olmasıdır. İnverterler daha önceleri uçak endüstrisinde, güç kaynağı uygulamalarında ve kontrol devrelerinde doğru akım üretiminde kullanılmaya başlanmış ve kazanılan deneyimler

bunların kaynaklı imalatta da güç kaynağı olarak kullanılmasına olanak vermiştir. (Karadeniz 2008)

İnverterlerin en önemli üstünlüğü kaynak arkının kararlılığının, performansının ve kontrol kabiliyetinin yüksek olmasıdır. İnverter tip güç ünitesinin elektriksel verimliliğini geleneksel güç kaynaklarının verimliliği ile karşılaştırılması şekil 2.16 ve şekil.2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.16 Geleneksel güç kaynaklarında verim (ASM, 1993)



Şekil 2.17 İnverter tip güç kaynaklarında verim (ASM, 1993)

Tablo 2.1’de geleneksel güç kaynakları ile inverter tip güç kaynakları bazı özellikleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1 Geleneksel güç kaynakları ile inverter tip güç kaynaklarının özelliklerinin karşılaştırılması (Praveen ve diğerleri, 2005)

Karşılaştırılacak Özellikler	Güç Kaynağı Çeşidi	
	Geleneksel	İnverter
Güç Tüketimi	Yüksek	Düşük
Elektriksel verimliliği	Zayıf	İyi
Ebat	Büyük	Küçük
Ağırlık	Yüksek	Düşük
Kullanım Alanı	Araştırmalarda	Yoğun kullanımda
Frekans	Düşük	Yüksek
Çalışma maliyeti (üretim giderleri, iş gücü giderleri)	Yüksek	Düşük
Malzeme giderleri	Yüksek	Düşük
Dizayn	Basit	Kompleks
Metal transfer modu kontrolü	Zayıf	İyi
Ark stabilitesi	Düşük	Yüksek

İnverter güç üniteleri daha hassas kontrole, farklı dalga şekillerine, darbe mekanizmalarına ve frekanslara izin verir. Ayrıca yarı otomatik ve otomatik uygulamalarda mükemmel çalışma, kontrollü nüfuziyet, gelişmiş kaynak dikiş formu ve azalmış sıçrama sağlar. İnverterler dijital olarak kontrol edilen mikroişlemciler ile geleceğin güç üniteleri olacaklardır. (Cary, 1998)



## **BÖLÜM ÜÇ**

### **KAYNAK DİKİŞ FORMUNU ETKİLEYEN ARK KAYNAĞI DEĞİŞKENLERİ**

#### **3.1 Ark Kaynağı Değişkenleri**

Kaynak parametreleri kaynak işleminin ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli etmenlerdir. Bu değişkenlerin seçilmesinde kaynak yapılacak malzemenin çeşidi ve kalınlığı, kaynak geometrisi, kaynak pozisyonu ve kaynaklı birleştirmeden beklenen mekanik özellikler dikkate alınarak seçilirler. (Tülbentçi, 1990)

Bu parametrelerin uygun seçimi, kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özellikte kaynak bağlantısı elde edebilme olasılığını artırır.

Eriyen elektrodlu ve erimeyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde en önemli ar kaynağı değişkenleri; akım, gerilim, kaynak hızı, kaynak akım türü, kutuplama, elektrod türü, elektrod çapı, koruyucu gaz türü, elektrodun ya da torcun konumunu belirleyen çalışma, hareket açıları ve serbest tel elektrod uzunluğudur.

Bu değişkenlerden elektrod türü, koruyucu gaz türü ve kaynak akım türünü kaynak esnasında değiştirmek mümkün değildir. Bu değişkenlerin kaynak işlemi başlamadan önce seçilmesi gereklidir.

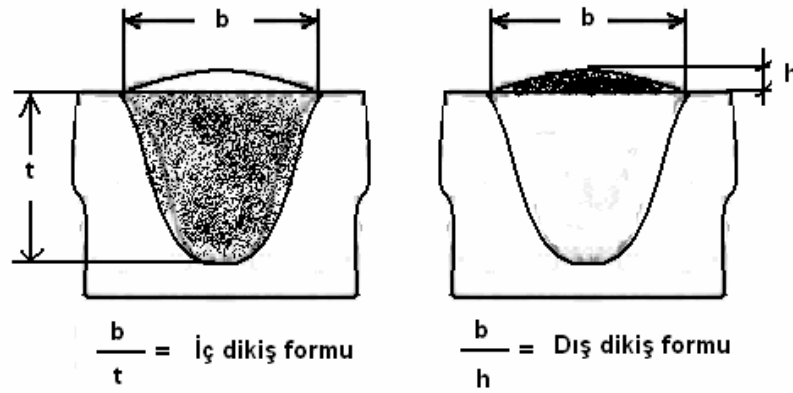
Kaynak akımı, gerilimi ve hızı kaynak dikiş formunu, kaynak dikiş formunun nüfuziyet derinliğine, genişliğine ve yüksekliğine etki ederek kontrol eder. Ayrıca bu değişkenler birikme oranına, ark kararlılığına ve sıçrama seviyesine de etki ederler. Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, gerektiğinde işlemi daha etkin bir biçimde kontrol altına alabilmek için ayarlanabilirler. (Tülbentçi, 1990)

### 3.1.1 Kaynak Akım Şiddeti

Kaynak dikiş formuna etki eden değişkenlerden en önemlisi kaynak akım şiddetidir.

TIG kaynağında; akım şiddeti diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, her şeyden önce nüfuziyet derinliğini etkiler. Ayarlanan akım şiddeti bu nedenle kaynak edilen parça kalınlığına uygun olmalıdır. (Anık ve Vural, 1991)

Tozaltı kaynağında da akım şiddeti dikişin formu üzerine en büyük etkisi olan faktörlerden birisidir. Akım şiddeti arttıkça iç dikiş formu  $b/t$  değişmekte, bu oran küçülmekte yani nüfuziyet artmaktadır (Şekil 3.1). Bu sebepten ötürü akım şiddeti kaynak edilen parça kalınlığına uygun olarak tespit edilmelidir, aksi halde ( $t$ ) nüfuziyet parça kalınlığından daha büyük olur, parça delinir. Çok ufak olduğunda da iyi bir birleşme meydana gelmez. (Anık ve Tülbentçi, 1991)



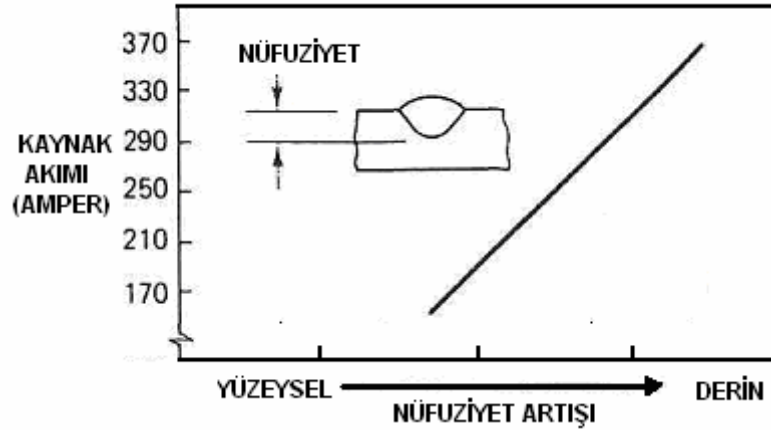
Şekil 3.1 İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi (b=dikiş genişliği, t=nüfuziyet, h=dikiş yüksekliği) (Anık ve Tülbentçi, 1991)

Örtülü elektrot ile kaynak işleminde de kaynak akımı şiddetinin etkisi benzerdir. Her çaptaki elektrod için kaynak akım şiddeti belirli bir ayar aralığına sahiptir; bu aralık içinde uygun değer seçilmesinde elektrod örtü tip ve kalınlığı, kaynak pozisyonu ile kaynak ağız biçimi en önemli etkenlerdir. Kaynak akım şiddetinin artması, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile eriyen metal miktarının artmasına buda dikişin nüfuziyetinin artmasına neden olur. Akım şiddetinin aşırı yükselmesi

sıçramanın çoğalmasına, yanma oluklarının oluşumuna ve düzgün olmayan bir kaynak dikişi elde edilmesine neden olur ve ayrıca dikişte çatlaklar ortaya çıkabilir. Örtülü elektrod ile kaynak esnasında; akım şiddetinin fazla yükseltilmesi özellikle ince örtülü elektrodalarda, elektrodun ısınıp kızarması ve örtünün ark bölgesine gelmeden yanmasına neden olur. (Anık ve diğerleri, 1991)

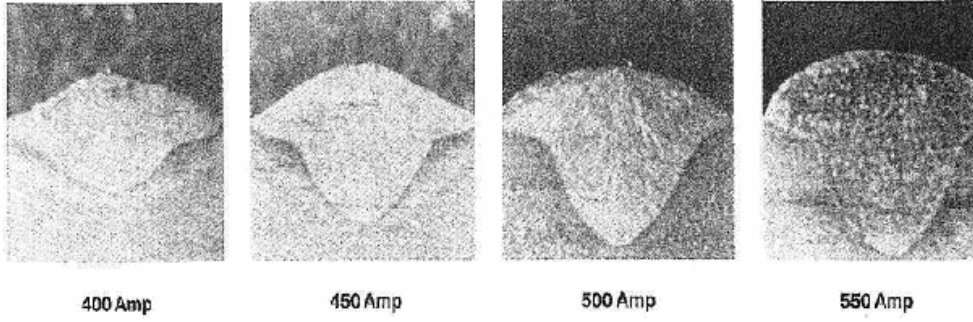
MIG/ MAG kaynağında bütün diğer kaynak parametreleri sabit tutulduğu zaman artan akım şiddeti ile kaynak dikiş genişliğinin, yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının arttığı görülür. Kaynak akım şiddetinin azalması da, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile eriyen metal miktarının azalmasına ve kaynak dikiş nüfuziyetinin azalmasına neden olur. Çok düşük akım şiddetlerinde esas metalde erime oluşmaz ve kaynak metali esas metal ile yeterli bir birleşme yapamaz.

Ark kaynak yöntemlerinde kaynak akımı ile nüfuziyet arasında doğrusal bir ilişki vardır (Şekil 3.2) ve akım arttıkça nüfuziyette artmaktadır.



Şekil 3.2 Kaynak akımının kaynak dikiş nüfuziyetine etkisi (Cary, 1998)

Nüfuziyet değiştirilmek istendiğinde kaynak akımı öncelikli değiştirilebilecek değişkendir. Şekil 3.3 de kaynak akımı ve nüfuziyet ile ilgili deneysel bir çalışma görülmektedir. Şekilde örtülü elektrot kaynağı ile kaynaklanmış parçaların kesitleri görülmektedir. Kaynak parametreleri; elektrot çapı 2,4 mm, gerilim 29 V, kutuplama elektrod pozitif ve hareket hızı 510 mm/dak'dır (20 in./dak). (Cary, 1998)



Şekil 3.3 Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak akımının nüfuziyet üzerine etkisi (Cary, 1998)

### 3.1.2 Ark Gerilimi (*Ark Boyu*)

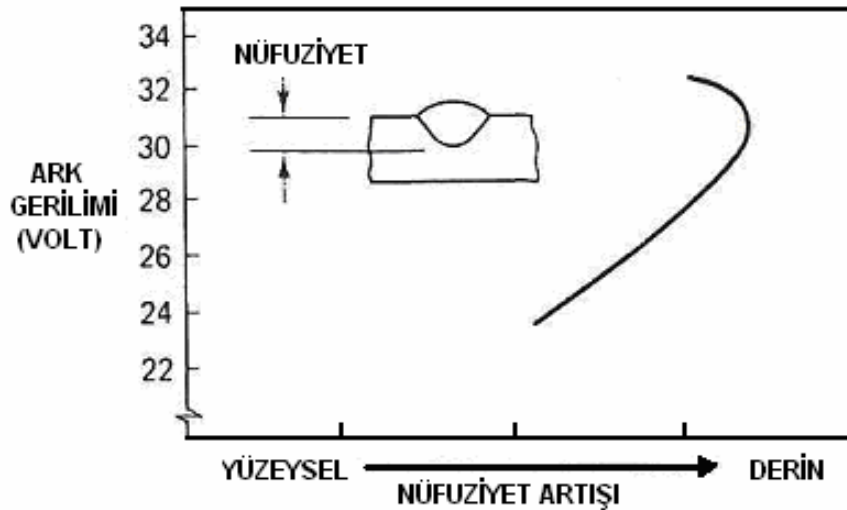
Ark boyu kaynak esnasında erimiş kaynak banyosunun yüzeyi ile elektrodun ucu arasındaki uzaklıktır ve ark gerilimini belirleyen etmendir. Ark geriliminin ark kaynağı yöntemlerindeki etkileri ise şöyledir;

TIG kaynağında ark gerilimi, arkın tam bir gaz örtüsü ile korunmasının mümkün olduğu kadar kısa olması için, daima çok düşük olmalıdır. Bu nedenle dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değil. Yine de ark geriliminin yükseltilmesi yani ark boyunun arttırılması halinde, dikiş genişliği artar. (Anık ve Vural, 1991)

Örtülü elektrot ile ark kaynağında dikiş form ve kalitesi bakımından en önemli parametrelerden birisi ark boyu dolayısı ile ark gerilimidir. Bu kaynak yönteminde ark boyu kaynakçı tarafından ayarlandığından ve sabit tutulduğundan bu konuda kaynakçının el becerisi çok önemlidir. Ark boyunun uzaması, yani ark geriliminin artması geniş ve yaygın bir kaynak dikişinin ortaya çıkmasına neden olur ve ark üfleme tehlikesi artar; ark boyunun daha fazla artması düzgün olmayan, çok az nüfuziyetli kaynak dikişine ve aşırı sıçramaya neden olur. Ayrıca kaynak banyosu örtünün yanması sonucu oluşan koruyucu gaz tarafından havanın olumsuz etkilerinden korunamaz ve ark enerjisinin büyük bir kısmı etrafa yayılır. (Anık ve diğerleri, 1991)

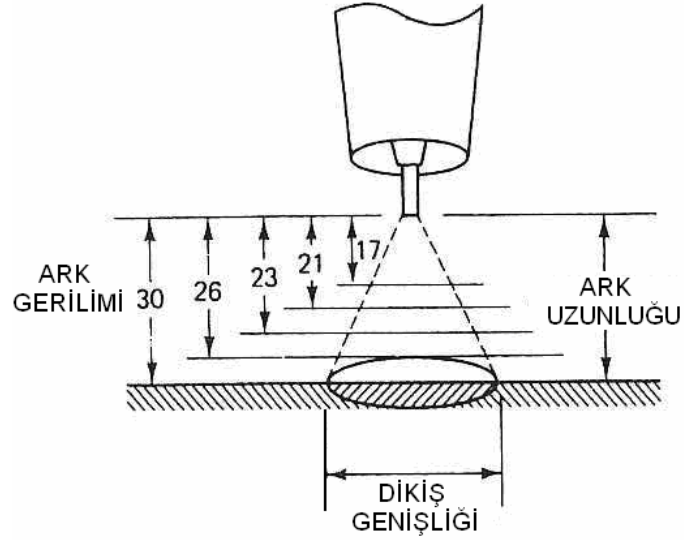
Tozaltı kaynağında gerilimin değişmesi ile arkın boyuda değişir. Ark boyunun artması ile arkın arkın parça üzerinde kapladığı alan da artar; bu ise kaynak dikişinin genişliğini arttırır.(Anık ve Tülbentçi, 1991)

MIG/ MAG kaynağında da ark boyu kaynak esnasında erimiş kaynak banyosunun yüzeyi ile elektrod telinin ucu arasındaki mesafedir ve ark gerilimini belirleyen etmendir. Ark geriliminin artması geniş bir kaynak dikişinin elde edilmesini sağlar. Ancak ark geriliminin artışı nüfuziyeti belirli bir değere kadar artırır bu değerden sonra ise nüfuziyette azalma gözlenir. Bu sebepten ark gerilimi nüfuziyet kontrolü için iyi bir değişken değildir (Şekil 3.4). (Cary, 1998)



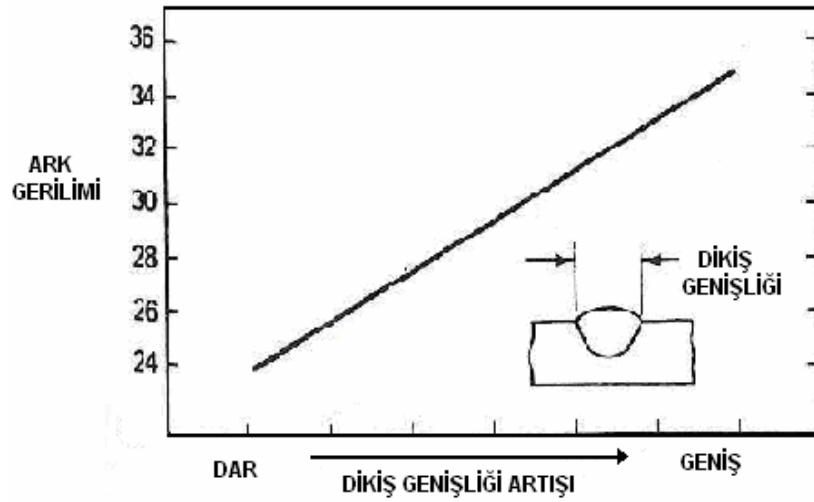
Şekil 3.4 MIG/ MAG kaynağında ark geriliminin nüfuziyete etkisi

MIG/ MAG kaynağında yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısıyla bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı şişkin (konveks) kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı derecede küçük ark gerilimi ise kaynak dikişinde poroziteye sebep olur. (Tülbentçi, 1990)



Şekil 3.5 Eriyen elektrodlu ark kaynağında ark geriliminin dikiş genişliğine etkisi (Cary, 1998)

Eriyen elektrodlu ark kaynağında ark gerilimi ile dikiş genişliği arasındaki ilişkinin grafiksel ifadesi şekil 3.6' daki gibidir.



Şekil 3.6 Eriyen elektrodlu ark kaynağında ark geriliminin dikiş genişliğine etkisi (Cary, 1998)

Ark boyunun fazla artması düzgün olmayan, kaynak dikişinde çok az nüfuziyete ve aşırı sıçramaya (eriyen elektrodlu ark kaynağında) neden olur. Ayrıca kaynak banyosu koruyucu atmosfer tarafından korunamaz ve havanın olumsuz etkileri kaynak dikişini etkiler.

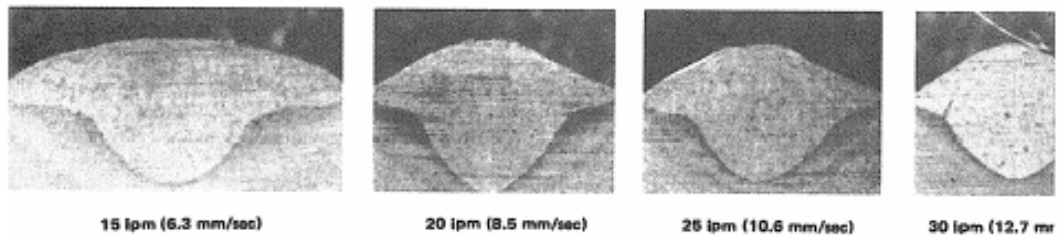
### 3.1.3 Kaynak Hızı

Kaynak hızı kaynak işlemi esnasında iş parçası ya da elektrodun zamana bağlı olan hareketidir. Kaynak hızı yarı otomatik ya da manuel yöntemlerde kaynak operatörü tarafından, tam otomatik yöntemlerde ise hız ayar üniteleri tarafından ayarlanır. (Cary, 1998) Ark kaynak yöntemlerine göre kaynak hızının etkisi şu şekildedir;

TIG kaynağı yönteminde ark gerilimi gibi kaynak hızı da; diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu kadar (derecede) dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Kaynak sırasındaki şartlara göre ayarlanır ve aynı değerde tutulur. Bu sayede esas metal yeterli derecede erir ve katılaşma sırasında eş ölçülü bir dikiş oluşur. Kaynak hızının arttırılması, birleşme hatalarına, düşürülmesi ise dikişin genişlemesine ve istenmeyen aşırı ısı girdisine yol açar. (Anık ve Tülbentçi, 1991)

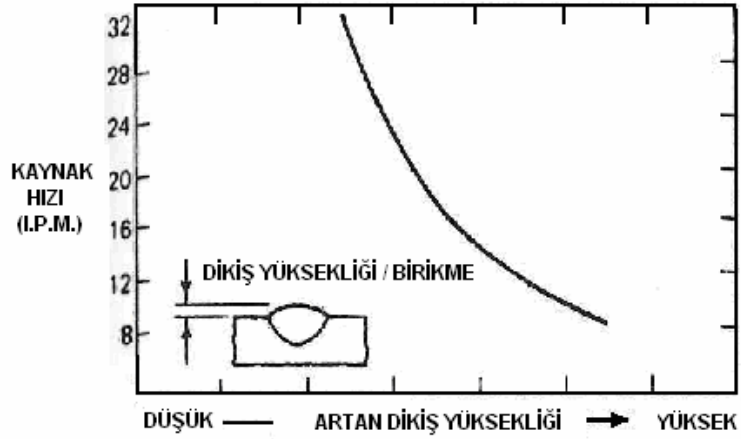
Toz altı ark kaynağında, kaynak hızı bir diğer yönden toz sarfiyatına da tesir eden faktörler arasındadır; hızın düşmesi ile toz sarfiyatı da artar. Kaynak hızının artması dikişleri daha dikkatli olarak kaynak edilmesini gerektirir. Yüksek hızlarda dikişte gözenekler ve dikiş kenarlarında çentik hataları meydana gelmektedir. (Anık ve Tülbentçi, 1991)

Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak hızı kaynakçı tarafından ayarlanır ve sabit tutulur; hızın sabitliği kaynakçının el becerisine bağlıdır. Kaynak hızının artması, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile kaynak dikişinin genişliğinin azalmasına ve optimum bir değere kadar nüfuziyetin artmasına neden olur; bu hız değeri aşıldıktan sonra nüfuziyet azalmaya başlar (Şekil 3.7). (Anık ve diğerleri, 1991)



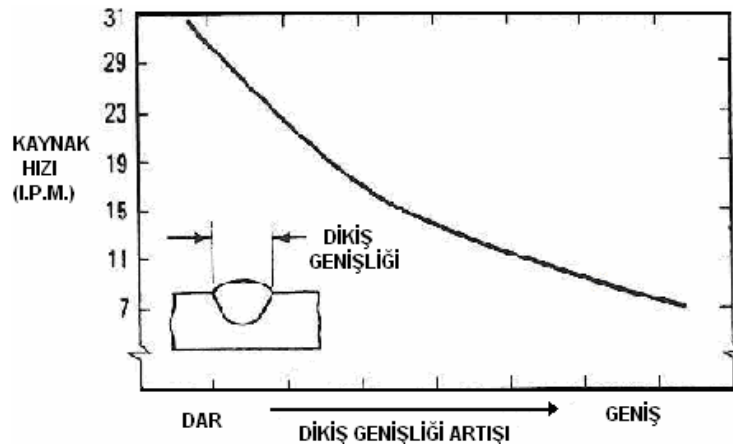
Şekil 3.7 Örtülü elektrod kaynağında kaynak hızının kaynak nüfuziyetine etkisi (Cary, 1998)

Eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde düşük kaynak hızında kaynak dikiş hacmi artar. Bu durum kaynak dikiş yüksekliğine de yansır ve daha yüksek bir kaynak dikişi elde edilir. Ancak yüksek kaynak hızında daha az birikme oluşacağından kaynak dikiş yüksekliği azalır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde kaynak hızının dikiş yüksekliğine etkisi

Kaynak hızının aşırı artması çok küçük kesitli ve kenarları düzgün olmayan bir kaynak dikişinin ortaya çıkmasına neden olur. Kaynak hızı ile kaynak dikiş genişliği arasındaki ilişkide ters orantılı şekil 3.9’ daki gibidir. Kaynak hızı artarken dikiş genişliği azalır. Kaynak hızı esas kontrol değişkeni olarak düşünülmemelidir. Çünkü endüstriyel uygulamalarda ekonomik sebeplerden dolayı kaynak hızının izin verilen aralık içinde en hızlı değeri tercih edilir. (Tülbentçi, 1990)



Şekil 3.9 Eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde kaynak hızının dikiş genişliğine etkisi (Cary, 1998)

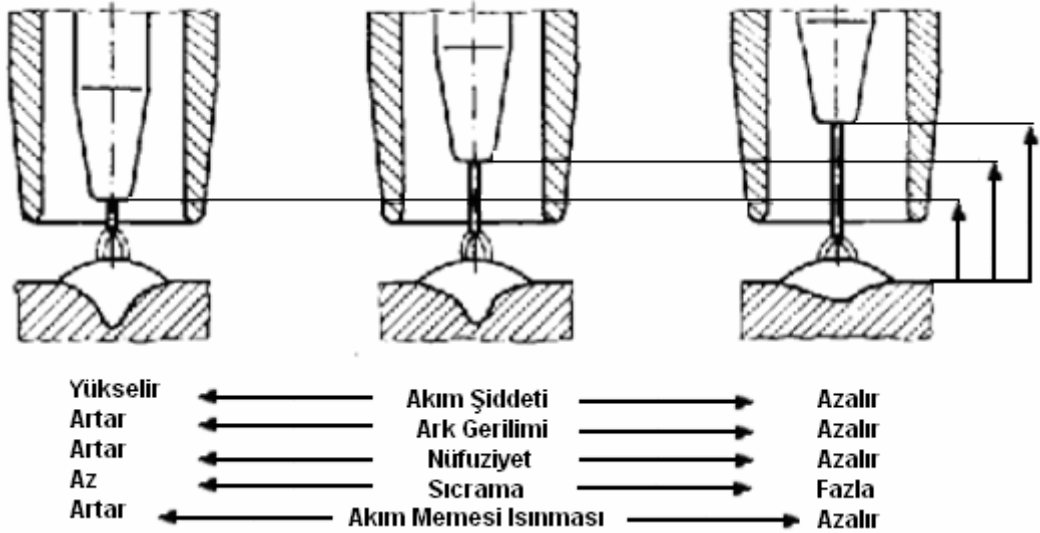


### 3.1.4 Serbest Tel Uzunluğu

Eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinden MIG/ MAG ve tozaltı kaynağında önemli olan bir diğer değişken serbest tel uzunluğudur. Serbest tel uzunluğu torç içindeki akım memesinin en uç noktası ile tel elektrodun uç kısmı arasındaki mesafe olarak tarif edilir. Bu boyun uzaması sonucu elektrodun elektrik direnci artar ve elektrodun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükselir ve dolayısı ile de elektrodun uç noktasını eritebilmek için gerekli akım şiddetinde azalma ortaya çıkar. (Tülbentçi, 1990)

Serbest tel uzunluğunun artmasıyla özellikle nüfuziyetin azaldığı ve dikiş yüksekliğinin de arttığı bariz olarak görülmektedir. (Şekil 3.10) Nüfuziyetin azalması ve yığılan metal miktarının artması doldurma kaynağı için uygun ise de, birleştirme kaynağında arzu edilmez.

Bu mesafe büyüdükçe telin dışarıda kalan kısmı da artar. Tecrübelerle göre akım memesi ile iş parçası arasındaki mesafenin kısalmasıyla daha kararlı ve sabit bir arkin elde edildiğini göstermiştir. (Anık ve Vural, 1991)

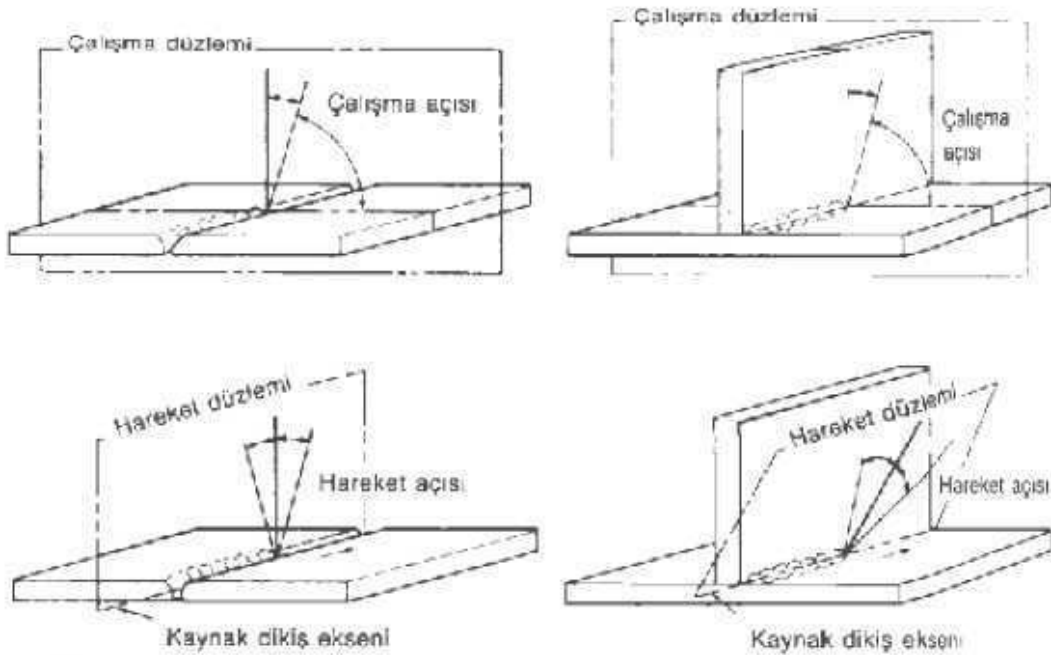


Şekil 3.10 Serbest tel uzunluğunun MIG/ MAG kaynağındaki değişkenlere etkisi

### 3.1.5 Elektrod Açısı

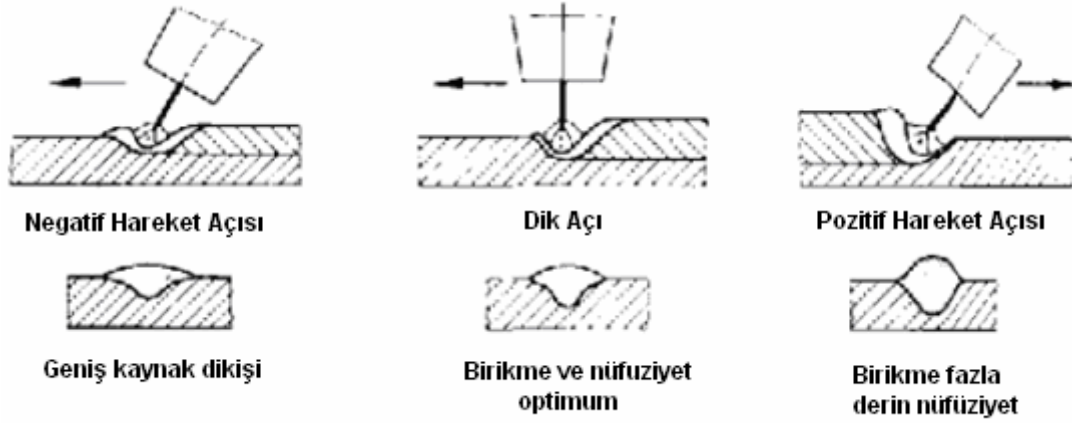
Kaynak elektrodunun iş parçasına göre konumu, kaynak dikişinin biçimini etkileyen değişkenlerden biridir. Kaynak doğrultusuna dik düzleme çalışma düzlemi ve bu düzlem üzerinde elektrodun iz düşümü ile kaynak yapılan parçanın üst yüzü arasındaki açığa çalışma açısı denir. Kaynak doğrultusu ve elektrodun geçen düzleme de hareket düzlemi adı verilir. Elektrodun bu düzlemde bulunan ve kaynak doğrultusuna dik olan doğru ile yaptığı açı da hareket açısı olarak tanımlanır (Şekil 3.11).

Örtülü elektrod kaynağında da elektrodun iş parçasına nazaran açısal konumu kaynak dikişinin kalitesini büyük çapta etkiler; cüruf kalıntıları, tek taraflı yanma oluşu, dikişin asimetrikliği hep yanlış açıların neden olduğu kaynak hatalarıdır. Hareket açısının pozitif yönde (elektrodun ucu kaynak yönüne ters olması durumu) büyümesi dikiş yüksekliğinin artmasına ve nüfuziyetin azalmasına sebep olur. Çalışma açısının küçülmesi tek yanda yanma oluşunun oluşmasına ve kök pasolarda cüruf kalıntısına ve soğuk kalmış bölgelerin ortaya çıkmasına neden olur. (Tülbentçi, 1990)



Şekil 3.11 Hareket düzlemi, hareket açısının, çalışma düzlemi, çalışma açısı, şekilsel gösterilişi (Tülbentçi, 1990)

MIG/ MAG kaynağında elektrodun konumuna göre açılar şu şekildedir; elektrodun ucu kaynak yönünde olursa bu açı negatif hareket açısı tam tersi yönde olursa pozitif hareket açısı olarak gösterilir (Şekil 3.12)



Şekil 3.12 MIG/ MAG Kaynağında pozitif ve negatif hareket açısının kaynak dikiş formuna etkisi (Tülbentçi, 1990)

MIG/ MAG kaynağında torcun kaynak yapılan iş parçasına tam dik olarak tutulması halinde sağ veya sol kaynak arasında sonuç yönünden bir fark görülemez, buna karşın kaynak torcu  $30^\circ$ 'ye kadar bir hareket açısı ile tutulduğu zaman sol ve sağ kaynağın dikiş biçimi üzerine olan etkisi açık bir şekilde görülür. Hareket açısı  $30^\circ$ 'yi aşmadığı sürece, bu açı, kaynağın, kaynakçı tarafından kontrolüne yardımcı olur; kaynak operatörü kaynak banyosunu ve elektrod ucunun erimesini rahatlıkla görebildiği için dikişin kalitesi yükselir.

Buna karşın bu değer aşıldığında nüfuziyet azalır ve dikiş incelir, bu durumda kaynak hızının artırılması gerekir, aksi halde sıvı metal kaynak banyosunun önüne doğru ilerler ve dikişte gözenek ve kalıntı oluşumu olasılığı artar; eğimin fazlaşması diğer yönden koruyucu gaz akımını da etkilediğinden, gazın koruma etkinliği azalır. Sağa kaynak (pozitif hareket açısı) ile daha dar, daha yüksek ve daha derin nüfuziyetli dikiş elde edilir, ark daha stabildir ve sıçrama daha azdır; sağa kaynak daha ziyade çeliklerin kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. (Tülbentçi, 1990)

### 3.1.6 Elektrod Boyut ve Çeşidi

Elektrot, akımın iş parçasına taşınmasında önemli rol oynar. Kaynak işleminin eriyen elektrotlu ya da erimeyen elektrotlu olmasına bağlı olarak elektrotların bileşimleri ve kaynak dikiş formu üzerine etkileri farklıdır. Genel olarak elektrod türü seçimi kaynaklanacak malzemenin türü, kalınlığı, geometrisi, bulunduğu ortam, kaynağın uygulama biçimine göre belirlenir.

Örtülü elektrod ile ark kaynağında elektrod örtüsünün karakterinin kaynak dikişinin nüfuziyeti, biçimi ve elektrodun erime gücü üzerine ihmal edilmez etkisi vardır. Örneğin selülozik örtülü elektrodların nüfuziyetleri diğerlerine nazaran daha derindir; erime gücü, demir tozlu elektrodlarda daha yüksektir, ayrıca örtüsünde yüksek miktarda demir tozu içeren elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile yüklenebilirler ve erime süreleri kısadır. Dikişin biçimi de elektrod örtü karakterinin etkisi altındadır; demir tozu içeren elektrodlar daha yaygın ve geniş dikişler elde edilir, demir tozlu veya potasyum bileşikleri içeren rutil örtülü elektrodların nüfuziyetleri zayıftır; bazik ve rutil karakterli elektrodlar ise orta derecede orta derece nüfuziyetli dikişler verir. (Anık ve diğerleri, 1991)

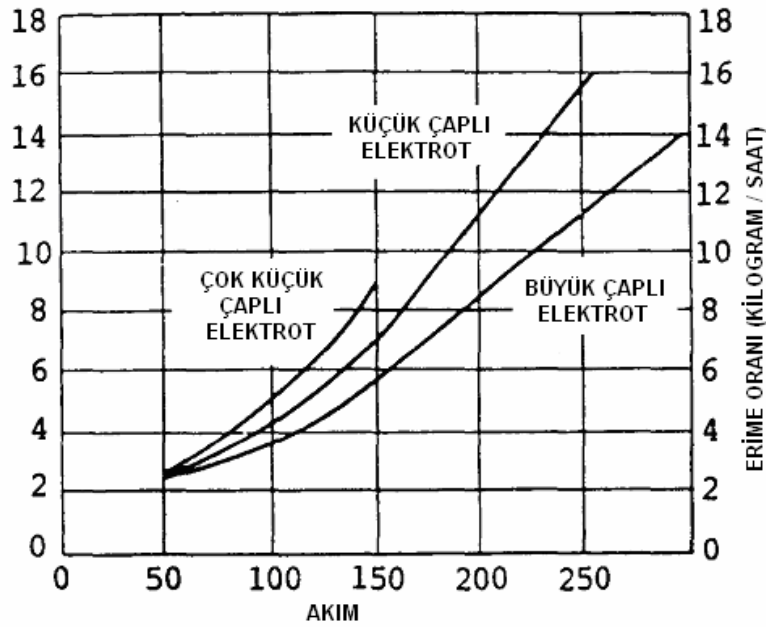
TIG kaynağı yönteminde kutuplama durumuna bağlı olarak elektrodun yüklenebileceği akım şiddeti değeri de değişir. TIG kaynağı düz kutuplamada (elektrod negatif) elektrod çapı artarken elektrodun yüklenebileceği akım şiddeti de artar. Ancak ters kutuplamada (elektrod pozitif) elektrod çapının artması yükleneceği akım şiddetini düz kutuplamada olduğu kadar arttırmaz (Tablo 3.1). (Karadeniz, 2008)

Tablo 3.1 TIG kaynağında kutuplamaya bağlı olarak elektrod çap ve akım yüklenebilirliği değerleri (Karadeniz, 2008)

Elektrod Çapı (mm)	Doğru Akım	
	Düz Kutuplama (Elektrod Negatif)	Ters Kutuplama (Elektrod Pozitif)
1.0	< 80	
1.6	60-150	< 20
2.4	130-240	< 30
3.2	220-330	20-50
4.0	300-480	40-70
4.8	400-550	60-90

MIG/ MAG kaynağında da elektrodun bileşimi ve çapı yüklenebileceği akım şiddeti değerini belirler. Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirler. Büyük çaplı elektrodlar yüksek akım şiddeti ile kullanıldıklarından kalın parçalara uygulanır ve bu şekilde hem kaynak ağzında gereken tam erime sağlandığı gibi toplam kaynak süresi de kısalmır.

Ancak küçük çaplı elektrotlarda büyük çaplı elektrotlara göre daha düşük akım şiddetleri kullanılsa da küçük çaplı elektrottaki akım yoğunluğu daha yüksektir (Şekil 3.13). Bu da kaynak dikiş nüfuziyetinin derinleşmesini sağlar. Büyük çaplı elektrotlarla daha geniş damlalar kaynak banyosuna düşer ve bu da daha geniş kaynak dikişinin oluşmasını sağlar. (Tülbentçi, 1991)



Şekil 3.13 MIG/ MAG kaynağında elektrot çapının akım yüklenebilirliğine ve erime oranına etkisi (Tülbentçi, 1991)

### 3.1.7 Koruyucu Gaz

Koruyucu gaz türünün kaynak esnasında kaynak metalinin arktaki transfer şekline, kaynak dikiş formuna ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır. Kaynak işlemlerinde çeşitli türlerde gazlar kullanılır ve her gazın oluşturduğu erime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyet birbirlerinden farklıdır.

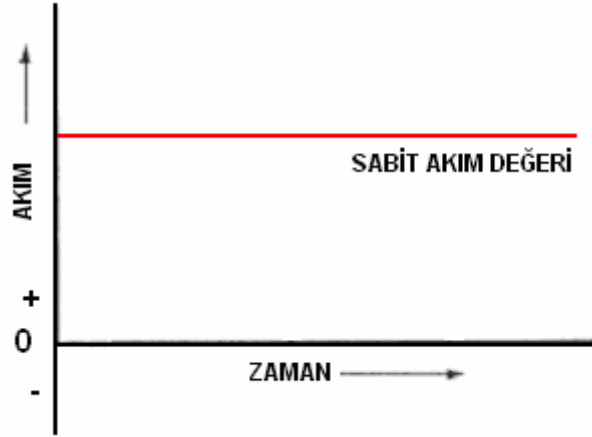
TIG kaynağında genellikle asal gazlar kullanılır. Bu gazlar argon, helyum ve argon-helyum karışımlarıdır. İyonizasyon potansiyellerinin oluşturdukları koruyucu gaz atmosferine ve arkın enerjisine büyük etkisi vardır. Bu etkilerde dikkate alındığında yapılan deneylerde helyum gazının kullanıldığı durumlarda daha derin nüfuziyet elde edildiği görülmüştür. Argon gazı ise helyuma göre daha az bir erime gücü oluşturur ve nüfuziyette düşük olur. (Anık ve Vural, 1991)

MIG/ MAG kaynağında ise (metallerin kaynağında) saf karbondioksit, argon ve oksijen gazları çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanılırlar. Herhangi başka bir karışım gazı kullanılmadan saf karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddeti için en büyük erime gücü, en derin nüfuziyet elde edilir. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oluşan yüksek ısı girdisi dolayısı ile aynı akım şiddeti için daha yüksek hızlarda kaynak yapmak mümkün olabilmektedir. Argon ve argon-oksijen karışımı gazlar, kaynak esnasında karbondioksitin tam bir karşıtı özellik gösterirler; bu gazlar ile en düşük erime gücü, en az nüfuziyet ve birikme oranı en yüksek kaynak dikişi elde edilir. Argon-oksijen karışımı gazlar aynı zamanda en az duman ve en az sıçrama oluşturan bir kaynak işlemi sağlarlar. Argon-karbondioksit karışımı gazlar ise nüfuziyet bakımından karbondioksit ve argon-oksijen karışımı arasında bir özellik gösterirler. Hafif metallerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, argon, helyum ve argon-helyum karışımlarıdır. Bu durumda argon en az nüfuziyeti ve en düşük erime gücünü, en dar dikişi veren gazdır. Helyum ve argon karışımlarına nazaran daha ucuz olan argon aynı zamanda en az sıçrama oluşturan gazdır. Helyum en derin nüfuziyeti, daha yüksek bir erime gücü, geniş ve konveks bir kaynak dikişi oluşumunu sağlar. Helyumun kullanılması halinde aynı ark boyu için ark gerilimi daha yüksektir ve kaynak esnasında koruyucu gaz sarfiyatı argona nazaran daha fazladır. (Tülbentçi, 1990)

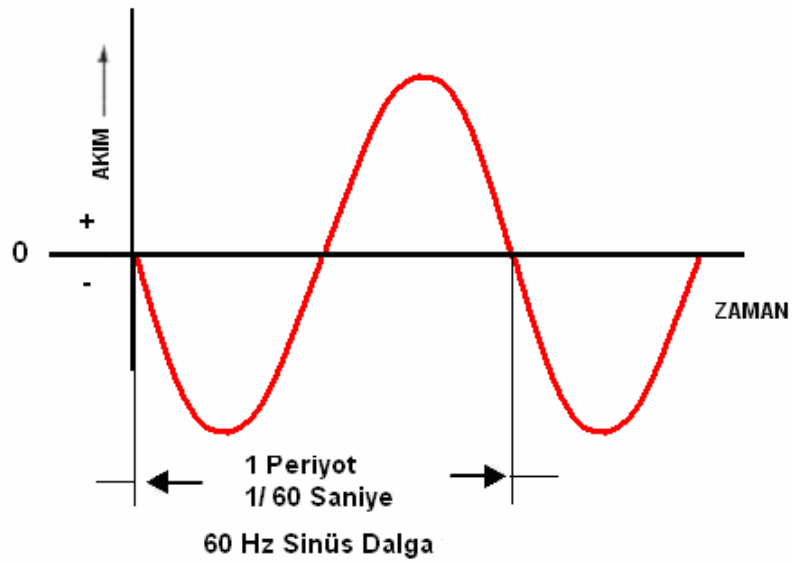
### ***3.1.8 Kaynak Akım Türü ve Kutuplama***

Kaynak işleminden önce seçilen ve işlem sırasında değiştirilemeyen sabit değişken olan ve üretici (kaynak makinası) tarafından sağlanan kaynak akımının çeşidi doğru akım ile alternatif akım olmak üzere iki çeşittir. Stabil bir kaynak

akımının tercih edildiği durumlarda doğru akım (Şekil 3.14) kullanılırken, doğru akımla istenilen kaynak dikişi elde edilemediği durumlarda ise alternatif akım (Şekil 3.15) kaynak akımı olarak kullanılır. (ASM, 1993)



Şekil 3.14 Doğru akımda akım-zaman grafiği  
(ASM, 1993)



Şekil 3.15 Alternatif akımda akım-zaman grafiği (Sinüs Dalga  
Formu, değişken akım) (ASM, 1993)

Kutuplama da kaynak akım çeşidi gibi sabit bir değişkendir ve kaynak akım çeşidi kutuplamada yapılacak değişiklikleri de etkiler. Doğru akımlı kaynak makinalarında kutup değiştirme özelliği kullanılabiliyorken, alternatif akımlı kaynak makinalarında

kutuplama durumu alternatif akımın doğal özelliği olan sabit bir kutupta değil belirli bir periyotta her iki kutupta da olduğundan kutup değiştirme özelliği kullanılamamaktadır. (Cary, 1998)

Ancak günümüz dalga formu kontrol teknolojisinin kullanıldığı alternatif akımlı kaynak makinalarında kutuplama durumu kullanıcının gireceği parametrelerle ayarlanabilmektedir.

Kutup değişimi kaynak prosesinde kaynak dikiş şeklini ve nüfuziyeti etkileyen önemli bir faktördür. Kutup seçimi kaynak yapılacak malzemeye ve kaynak yöntemine göre farklılık gösterir.

### *3.1.8.1 Kutup Değişimi ve Etkileri*

Kutuplama terimi kaynak torcunun ya da iş parçasının bir doğru akım ünitesinin kutuplarına elektriksel olarak bağlanmasını tanımlamak için kullanılır. (Eryürek, 2004)

Anodun iş parçasına, katodun elektroda ya da anodun elektroda katodun ise iş parçasına bağlanması durumunda farklı kutuplama durumları ve etkileri ortaya çıkmaktadır. Kutuplama durumu ile ortaya çıkan etkiler kaynak dikişinde nüfuziyet, dikiş genişliği ve birikme oranlarını değiştirmektedir. İstenilen nüfuziyet ve birikme oranlarına ulaşabilmek ve kaliteli bir kaynak dikişi elde edebilmek için kutup değişikliği yapılmaktadır.

Kutuplamanın seçimi, yani elektrodun pozitif veya negatif kutba bağlanışı; arkın kararlılığı (stabilitesi), elektrod erime hızı, erimiş metalin elektrodta kaynak banyosuna geçişi ve esas metal yüzeyinden oksitlerin uzaklaştırılması gibi bir dizi faktör göz önüne alınarak gerçekleştirilir. (Anık, 1991)

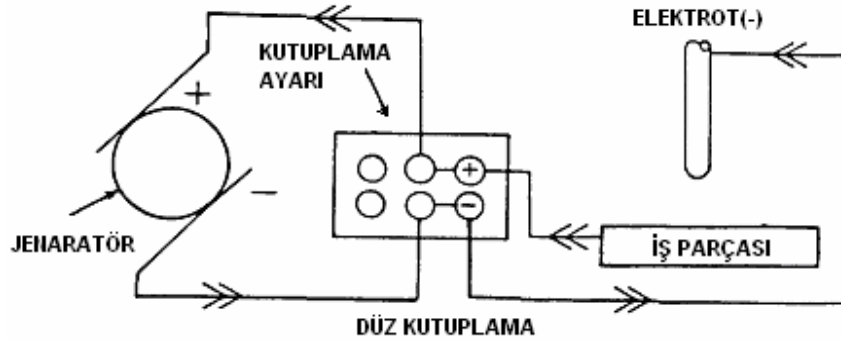


### 3.1.8.2 Kutuplama Çeşitleri

Kaynak işleminde elektrot (ya da ilave metal) ve ana malzemenin erimesi ile istenilen bir birleştirme oluşabilmesi için kutuplama şekli önemli bir seçimdir. Kutuplamanın oluşturduğu etkiler kullanılan malzeme ve kaynak yöntemine göre çeşitlilik gösterir.

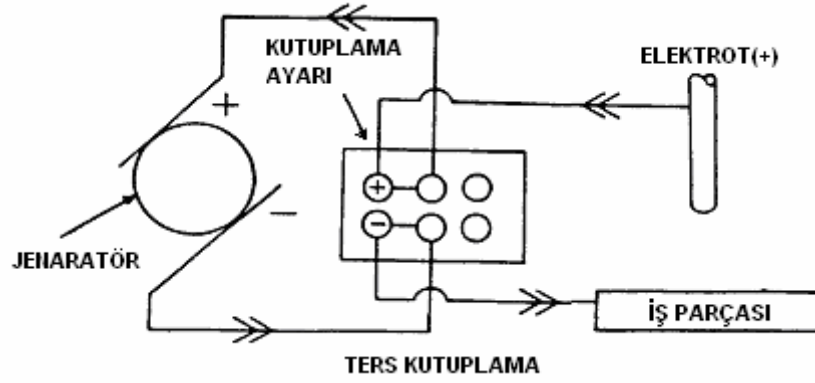
Kutuplama çeşidi kaynak yönteminden bağımsız olarak iki şekilde oluşturulur.

Düz (Doğru) Kutuplama: Elektrodun negatif kutup olan katoda iş parçasının ise pozitif kutup olan anoda bağlanması ile oluşan kutuplama şeklidir (Şekil 3.16). Literatürde DAEN (doğru akım elektrot negatif) ve DADK (doğru akım düz kutuplama) kısaltmaları ile ifade edilir. İngilizceden gelen iki kısaltmada oldukça sık kullanılır. Bunlar; DCEN: “direct current electrode negative” ve DCSP: “direct current straight polarity” olarak ifade edilir. (ASM, 1993)



Şekil 3.16 Doğru akımda düz (doğru) kutuplama prensibi

Ters Kutuplama; Düz kutuplamanın tam tersi olarak elektrodun pozitif kutup olan anoda iş parçasının ise negatif kutup olan katoda bağlanması ile oluşan kutuplama şeklidir (Şekil 3.20). Bu kutuplama çeşidi için literatürde DAEP (doğru akım elektrot pozitif) ve DATK (doğru akım ters kutuplama) kısaltmaları ile ifade edilir. İngilizceden gelen iki kısaltma da oldukça sık kullanılır. Bunlar; DCEP: “direct current electrode positive” ve DCRP: “direct current reverse polarity” olarak ifade edilir. (ASM, 1993)



Şekil 3.17 Doğru akımda ters kutuplama prensibi

Kutuplama şekillerde gösterildiği gibi akımın çevrim içindeki yönüdür. Düz kutuplamada; elektrod negatif, iş parçası pozitif ve elektronlar elektrottan iş parçasına doğru akarlar. Ters kutuplamada ise elektrod pozitif iş parçası negatiftir ve elektronlar iş parçasından elektroda doğru akarlar.

Kutuplama ana metale giden ısı miktarını etkiler. Kutuplamayı değiştirmeye bir miktar ısı, ihtiyacı olan bölgeye yönlendirilebilir. Seçilen kutuplama durumuna ve kaynak yöntemine bağlı olarak ısının yoğunlaştığı bölge değişir.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **ARK KAYNAĞI YÖNTEMLERİNDE KUTUP DEĞİŞİMİ ve ETKİLERİ**

#### **4.1 Giriş**

Ark kaynak yöntemlerindeki değişkenlerden biri olan kutup değişiminin, kaynak dikiş formuna, ısı tesiri altındaki bölgeye, erime oranlarına oldukça büyük etkisi vardır. Bu etkiler kaynak dikiş formunda nüfuziyet, kaynak dikiş genişliği ve kaynak dikiş yüksekliğinin değişmesi olarak ortaya çıkıyor.

Kaynak yöntemine göre tercih edilen kutuplama çeşidi de kaynak işlemi sonrası etkileri de farklıdır. Bu bölümde farklı kaynak yöntemlerinde seçilen kutuplama şekli ve etkileri incelenecektir. Tablo 4.1 de kaynak yöntemlerinin, ısı kaynakları, güç kaynakları, kutuplama çeşitleri ve uygulama alanları bilgileri verilmiştir.

Tablo 4.1 Kaynak yöntemlerinde ısı kaynağı, güç kaynağı kutuplama, uygulama tekniği ve koruyucu atmosfer çeşitleri (Messler, 1999)

Kaynak Yöntemi	Isı Kaynağı	Güç Kaynağı ve Kutuplama	Uygulama Tekniği ile İlgili Açıklamalar	Koruyucu Atmosfer	Uygulamalar		Endüstriyel Uygulamalarda Örnekler
					Malzeme Çeşidi	Kalınlık Aralığı	
Elektro Cüruf Kaynağı	Ergimiş cüruftan oluşan ısı	Alternatif / Doğru Akım	Otomatik; ark oluşumu olmadan birleşme dikey, cüruf ile kaplı su soğutmalı kalıplar içerisinde gerçekleşir	Cüruf	Düşük alaşım ve yüksek alaşım çelikler	50 mm üzeri	Kalın parçaların kaynaklarında, basınçlı kaplarda, şaftlarda, vb. Döküm ve çelik, genel mühendislik uygulamalarında
Toz Altı Kaynağı	Ark	Alternatif / Doğru Akım	Otomatik / Yarı otomatik; ark koruyucu toz altında oluşur	Cüruf ve İşlem anında oluşan gaz	Düşük alaşım ve yüksek alaşım çelikler, bakır alaşımları	1 mm üzeri (genelde 10mm üzerinde kullanılır)	Yatay ve korniş kaynağı (Saat 3 usulü) otomatik yöntemle mümkün. Basınçlı kaplar, Yapı çelikleri.
Manuel Metal Ark Kaynağı (Örtülü elektrot)	Ark	Alternatif / Doğru Akım Elektrot Pozitif/Negatif	Manuel; Örtü ile kaplı tel elektrotla yapılır	Cüruf ve İşlem anında oluşan gaz	Tüm metaller Saf bakır, kıymetli metaller(Au, Ag)	1 mm üzeri	Tüm mühendislik uygulamalarında
Gaz Metal Ark Kaynağı (Özlu Elektrot)	Ark	Doğru Akım; Elektrot Pozitif	Özlu elektrotla otomatik/yarı otomatik metotta, sürekli tel beslemeli	Cüruf ve işlem anında oluşan gaz/ koruyucu gaz (CO <sub>2</sub> )	Karbon çelikleri	1 mm üzeri	Saç kaynağında, genel mühendislik uygulamalarında

Tablo 4.1 Kaynak yöntemlerinde ısı kaynağı, güç kaynağı, kutuplama, uygulama tekniği ve koruyucu atmosfer çeşitleri (Devamı) (Messler, 1999)

Kaynak Yöntemi	Isı Kaynağı	Güç Kaynağı ve Kutuplama	Uygulama Tekniği ile İlgili Açıklamalar	Koruyucu Atmosfer	Uygulamalar		Endüstriyel Uygulamalarda Örnekler
					Malzeme Çeşidi	Kalınlık Aralığı	
Gaz Metal Ark Kaynağı	Ark	Doğru Akım; Elektrot Pozitif	Otomatik/yarı otomatik metotta, sürekli tel beslemeli	Argon yada Helyum-Argon-O <sub>2</sub>	Metal dışı malzemeler; düşük alaşımlı yada yüksek alaşımlı çelikler	2 mm üzeri	Yüksek alaşımlı ve hafif metaller, boru kaynakları, genel mühendislik uygulamaları
Gaz Metal Ark Kaynağı	Ark	Doğru Akım; Elektrot Pozitif	Otomatik/yarı otomatik metotta, sürekli tel beslemeli	Argon-O <sub>2</sub> Argon-CO <sub>2</sub> yada CO <sub>2</sub>	Karbonlu çelikler ve düşük alaşımlı çelikler	1 mm üzeri	Saç kaynağı, boru kaynaklarında kök pasoda, pozisyona bağlı durumlarda
Gaz Metal Ark Kaynağı	Darbeli Ark	Doğru Akım; Elektrot Pozitif	Otomatik/yarı otomatik metotta, sürekli tel beslemeli	Argon Argon-O <sub>2</sub> Argon-CO <sub>2</sub>	Hafif metaller metaller; düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı metaller	1 mm üzeri	Karbonlu ve alaşımlı çeliklerde
Gaz Kaynağı	Oksiasetilen alevi	-	Manuel; metal alevle eritilir ve dolgu metali ayrıca kaynağa verilir	Gaz (CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Karbonlu çelik, Cu, Al, Zn ve Pb, Bronz	Saç metal ve boru kaynaklarında 6 mm ye kadar.	Saç metal kaynağı, küçük çaplı borular

Tablo 4.1 Kaynak yöntemlerinde ısı kaynağı, güç kaynağı, kutuplama, uygulama tekniği ve koruyucu atmosfer çeşitleri (Devamı) (Messler, 1999)

Kaynak Yöntemi	Isı Kaynağı	Güç Kaynağı ve Kutuplama	Uygulama Tekniği ile İlgili Açıklamalar	Koruyucu Atmosfer	Uygulamalar		Endüstriyel Uygulamalarda Örnekler
					Malzeme Çeşidi	Kalınlık Aralığı	
Gaz ile Kesme	Oksiasetilen, Oksijen alevi	-	Kesme hattı boyunca metal, Oksijen jeti ve alevi ile kesilir	Oksijen	Karbonlu ve Düşük alaşımlı çelikler	-	Kesme ve genel mühendislik uygulamaları
Gaz tungsten ark kaynağı	Ark	Alternatif akım, Hafif metaller için DAEP, Diğer metaller için DAEN	Manuel/ otomatik; ark iş parçası ile erimeyen elektrot arasında oluşur, dolgu metali ayrıca eklenir	Argon, Helyum ya da Argon-Helyum karışımı	Zn, Be ve alaşımları hariç tüm metallerde	1 mm den 6 mm ye kadar	Hafif metaller ve alaşımlı çelikler ve boruların kök paso kaynaklarında
Darbeli gaz tungsten ark kaynağı	Ark	Doğru akım; elektrot negatif düşük frekansla (1 Hz) yada yüksek frekansla	Düşük frekans darbeleri kaynak banyosunda kontrol sağlar, yüksek frekans darbeleri arkın eritme özelliğini artırır	Argon	Zn, Be ve alaşımları hariç tüm metallerde	1 mm den 6 mm ye kadar	Otomotiv ve havacılık sanayinde
Plazma Kaynağı	Ark	Doğru akım; Elektrot negatif	TIG kaynağında olduğu gibi koruyucu atmosferde oluşan ark ile kaynak yapılır	Argon, helyum yada argon-hidrojen karışımı	Zn, Be ve alaşımları hariç tüm metallerde	Genellikle 1,5 mm ye kadar	Yüksek akımlara ihtiyaç duyulan kök paso kaynaklarında, özel uygulamalarda

Tablo 4.1 Kaynak yöntemlerinde ısı kaynağı, güç kaynağı, kutuplama, uygulama tekniği ve koruyucu atmosfer çeşitleri (Devamı) (Messler, 1999)

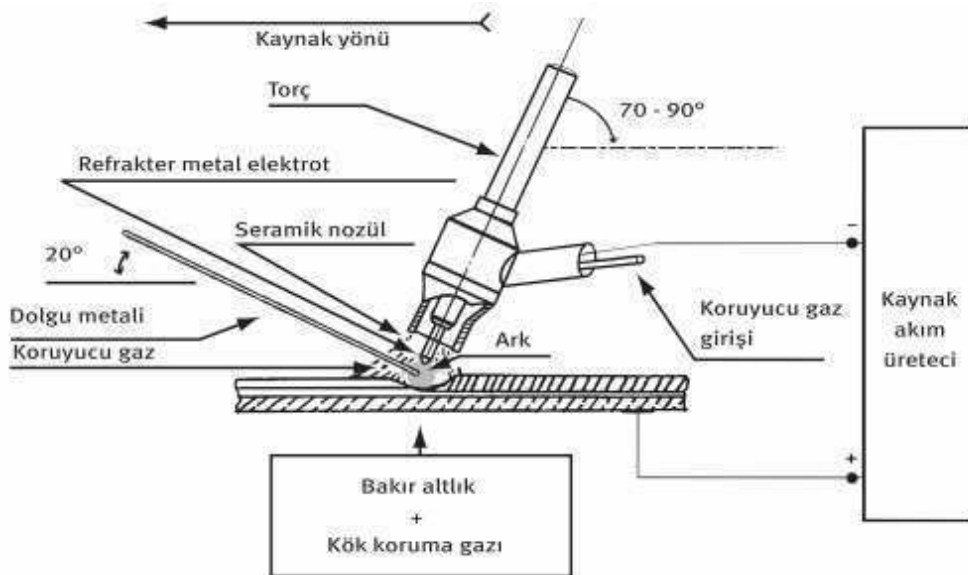
Kaynak Yöntemi	Isı Kaynağı	Güç Kaynağı ve Kutuplama	Uygulama Tekniği ile İlgili Açıklamalar	Koruyucu Atmosfer	Uygulamalar		Endüstriyel Uygulamalarda Örnekler
					Malzeme Çeşidi	Kalınlık Aralığı	
Saplama Kaynağı	Ark	Doğru Akım; Elektrot negatif metallerde, Hafif metallere elektrot pozitif	Yarı otomatik ya da otomatik	Kaynak bölgesinde seramik halka	Düşük alaşımlı ve yüksek çelikler, nikel ve alüminyum alaşımları	Saplama çapı 25 mm'ye kadar	Gemi inşasında, tren yollarında, otomotiv endüstrisinde, basınçlı kaplarda ve genel mühendislik uygulamalarında
Punta Kaynağı	Direnç ısısı	Alternatif akım	Birbiri üzerine bindirilmiş parçaların karşılıklı iki bakır elektrot arasında yüksek akım darbeleri ile ergimesi	Su soğutmalı elektrotlar	Cu ve Ag hariç tüm mühendislik metallere, Al özel işlemlerden sonra	6 mm'ye kadar saç metallere	Otomotiv ve Havacılık endüstrisi, saç işleme uygulamaları

## 4.2 TIG Kaynağında Kutuplama Prensipleri

TIG kaynağı, esas olarak bir ark kaynağı şeklindedir. Yöntem yaygın olarak TIG kaynağı adı ile ifade edilir. Bu kaynak metodunun tam adında Tungsten kelimesi, arka elektrik akımını iletmeyi sağlayan, erimeyen elektrodu, inert kelimesi, diğer elementlerle kimyasal olarak birleşmeyen bir gazı ve gaz kelimesi de, erimiş banyo ve arkı örten, kaynak bölgesini çevreleyen havayı uzak tutan malzemeyi simgeler. (Anık ve Vural, 1991)

TIG kaynağında ark tungsten elektrod ile iş parçası arasında oluşur ve oluşan bu ark dış ortamdan koruyucu gaz atmosferi ile korunur. Ark yoğun bir sıcaklık üretir, yaklaşık 6100 °C, bu sıcaklık ana metalin yüzeyini eriterek kaynak banyosu oluşturur. Dolgu malzemesi ark boyunca transfer edilemez ark tarafından eritilir. (Cary, 1998)

Erimeyen elektrotla ark kaynağı yöntemlerinden biri olan TIG kaynağında elektrot kaynak işlemi sırasında erimez ya da tüketilmez ve dolgu metali ihtiyaç duyulduğu durumlarda dışarıdan ayrıca kaynak işlemine eklenir.



Şekil 4.1 TIG Kaynağı prensibi şematik gösterimi (Cunat, 2007)

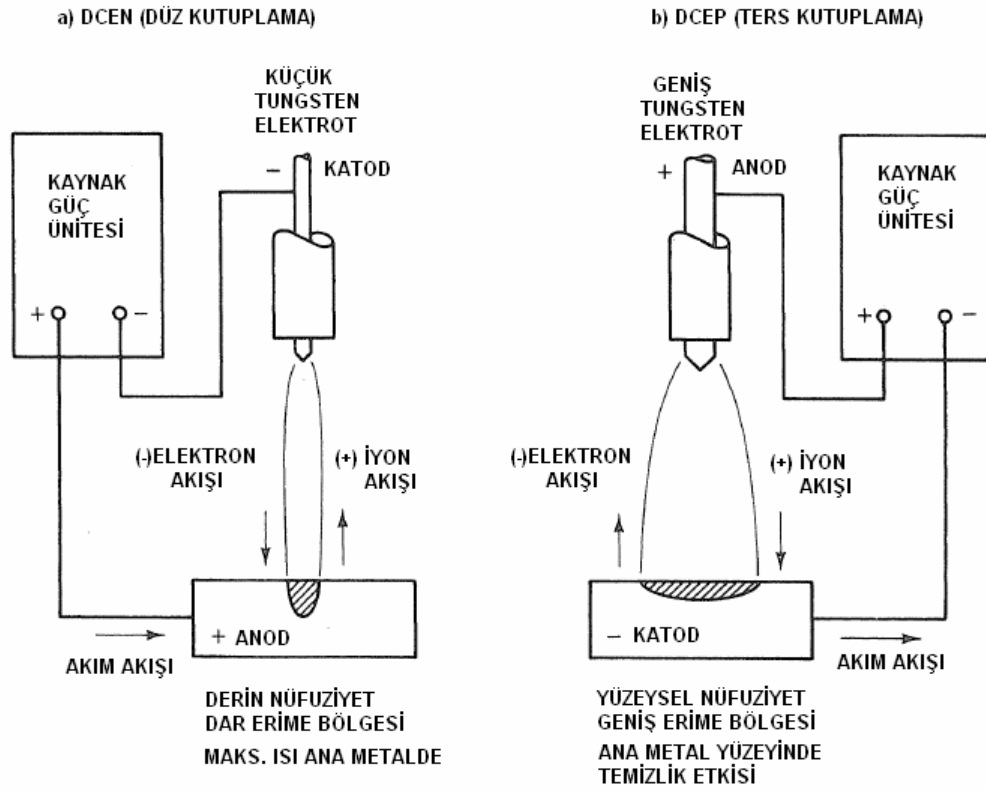


TIG kaynağında dolgu maddesi yandan kaynak yerine verildiği ve dolgu elektrodu üzerinden kaynak akımı akmadığı için, kaynak arkı stabilitesi çok iyidir ve bu nedenle kaynak banyosu kontrolü eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerine göre daha kolaydır. Ark boyunca taşınan dolgu metali olmadığından sıçrama ya çok azdır ya da hiç yoktur.

Ark alanı atmosferden torcun nozulundan akan koruyucu gazla korunur. Koruyucu gaz olarak Argon, Helyum ya da bunların karışımları kullanılır. Koruyucu gaz havanın yerini alır böylece havadaki oksijen ve nitrojen ergimiş metalle ya da sıcak tungsten elektrodla temas etmez.

TIG kaynağında düşey karakteristikli kaynak makinaları güç üreticisi olarak kullanılır. TIG kaynağı hemen hemen tüm metal ve alaşımlarda yüksek kalite bir kaynak dikişi oluşturur. Oluşan kaynak dikişi pürüzsüz ve üniformdur bu yüzden minimum seviyede kaynak sonrası düzeltici işlem gerektirir. TIG kaynağının uygulama şekli şu şekildedir; manuel olarak; bir elde torç diğer elde ise dolgu metali ile ya da tam otomatik olarak; torcun otomatik olarak hareket ettirildiği dolgu metalinin ise mekanik olarak verildiği şekilde yapılabilmektedir. (ASM, 1993)

TIG kaynağında kutuplama elektrodun negatif kutup olan katoda, iş parçasının ise pozitif kutup olan anoda bağlandığı durumlar için düz kutuplama (DCEN/ DCSP), elektrodun pozitif kutup olan anoda, iş parçasının ise negatif kutup olan katoda bağlandığı durumlar için ters kutuplama (DCEP/ DCRP) olarak adlandırılır. (Şekil 4.2) Kutuplama durumuna göre parçaya transfer olan ısı miktarı değiştiği için nüfuziyet ve erime gücünde kutuplama şekline göre değişiklik gösterir. (Cary, 1998)



Şekil 4.2 TIG kaynağında kutuplama prensibi a) Düz kutuplama (DCEN), b) Ters kutuplama (DCEP) (Cary, 1998)

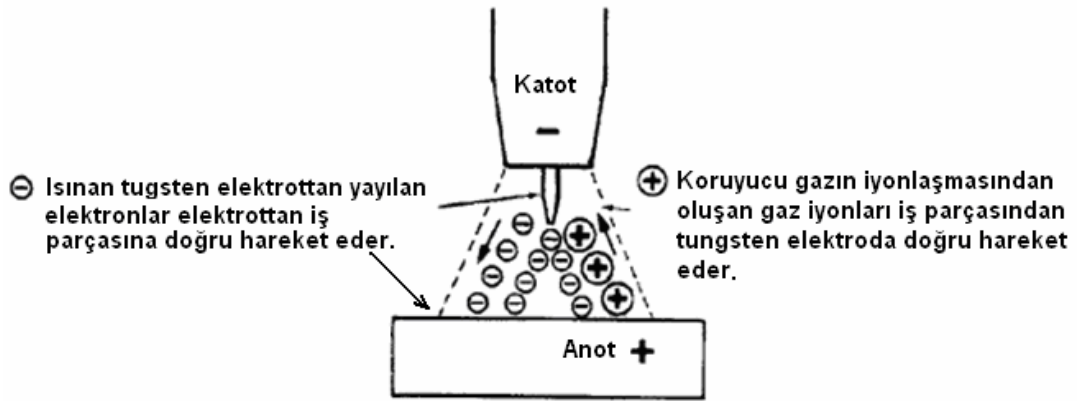
TIG kaynağında kutuplama seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Bunlardan en önemlisi kaynak yapılan malzeme çeşidi, seçilecek kutuplamanın çeşidini etkilemektedir. Bu yüzden kutuplama çeşidi belirlenmeden önce kaynak yapılacak malzemenin çeşidi dikkate alınmalıdır.

TIG kaynağı ile birçok malzeme çeşidinin kaynak işlemi yapılabilmektedir. Özellikle havacılık, gıda ve özel uygulamalarda da TIG kaynağının tercih edildiği görülmektedir. Bu sektörlerde genel uygulamalardan farklı olarak daha çok hafif metaller kullanılmaktadır. Bu metaller; alüminyum, magnezyum, titanyum, pirinç ve bakır alaşımlarıdır. Bu malzemelerle kaynak işleminde istenilen sonuçlara ulaşmak için seçilen kutup çeşidi daha fazla önem kazanır. (ASM, 2008)

Hafif metallerin kutup seçimindeki özel durumları ise yüzeylerindeki sert oksit tabakasından kaynaklanmaktadır. Yüzeydeki bu tabaka bu malzemelerin tek tip bir kutuplama ile kaynaklanmasına izin vermemektedir.

Yüksek sıcaklıkta eriyen oksit tabakası içeren malzemelerde katı oksit tabakası, kaynak banyosunun akmasını ve metal damlalarının üzerine düştüğü paso ile birleşmesini engeller. Yaklaşık 2050 °C' lik ergime sıcaklığıyla alüminyum oksit, ergitme kaynağında çok zor parçalanan bu oksitlerden biridir. (Karadeniz, 2008)

TIG kaynağında bu tabakanın uzaklaştırılması, arktaki yük taşıyıcıları ile sağlanır. Yük taşıyıcılar, elektronlar ve iyonlardan oluşur.



Şekil 4.3 TIG kaynağında elektron ve iyonların hareket yönü (ASM, 1993)

Bir teoriye göre malzeme yüzeyindeki oksidin temizlenmesi şu şekilde gerçekleşir;

Elektronlar büyük hızda hareket eder ancak kütlelerinin küçüklüğü nedeniyle kinetik enerjileri azdır. Bu nedenle kaynakta sadece iyonlar, esas malzeme yüzeyine çarptıklarında yüzeydeki oksit tabakasını parçalamak ve yüzeyden temizlemek için yeterli enerjiye sahiptirler. (Karadeniz, 2008)

Başka bir teori temizleme etkisini şu şekilde açıklamaktadır. Elektrod pozitif kutup olduğunda erimiş banyodan çıkan elektronlar, oksit tabakasını parçalar. Ancak bu teoriye karşı elektronların çıkış enerjisinin düşüklüğü nedeniyle, bunların alttaki metalden değil mevcut oksit tabakasından çıktığı söylenmektedir.

Alüminyum gibi hafif metallerin kaynağında alternatif akımın kullanımı, başka bir problem daha ortaya çıkarmaktadır. Alüminyum (ergime sıcaklığı 658 °C, buharlaşma sıcaklığı 2270 °C) tungsten (erime sıcaklığı 3350 °C, buharlaşma

sıcaklığı 4800 °C) ile ark içinde birleşik olarak iletim oluşturması, bir doğrultma etkisi doğurur. Daha öncede açıklandığı gibi elektronlar ya termik emisyon ya da alan emisyon yoluyla malzemedan çıkar ve yayınırlar. İzafe olarak düşük akım şiddeti ve gerilimde yapılan TIG kaynağında alan emisyonu nispeten zayıftır ve termik emisyon daha güçlüdür. Termik emisyon metallerde artan sıcaklıkla yükselir ve 3500 °C' nin üzerinde sıçrama gösterir. Bu sıcaklıklarda sadece tungsten elektrot halinde ulaşılabilir. Ancak buharlaşma sıcaklığı 3500 °C' nin altında olan alüminyum halinde ulaşamaz.

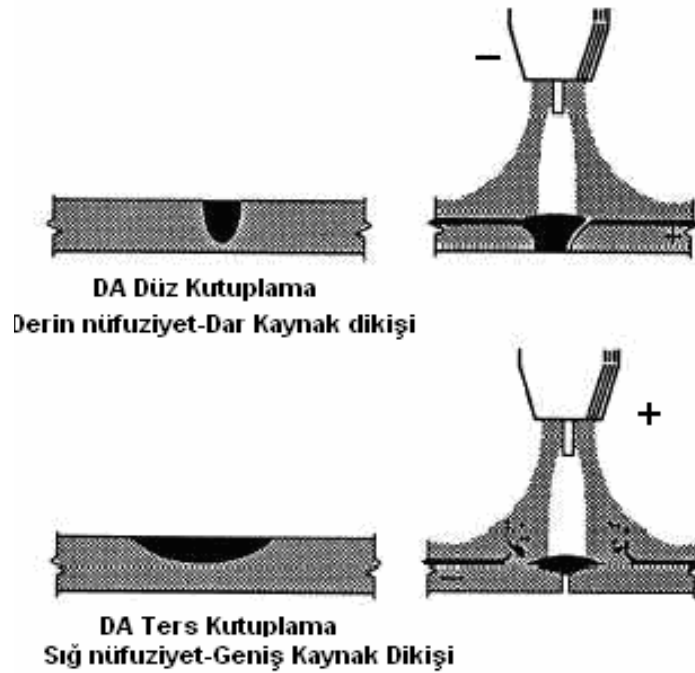
Dolayısıyla parçanın negatif kutuplanması sırasında soğuk erimiş banyoya oranla, elektrod negatif kutuplandığında sıcak elektrotta önemli oranda elektron çıkışı meydana gelir. Bu nedenle pozitif yarı dalganın küçülmesi durumu ortaya çıkar veya başka bir ifade ile negatif bir doğru akım bileşeni oluşur. Bu doğrultma etkisi TIG kaynağında sadece alüminyumda değil daha küçük miktarda olmak üzere çeliklerin kaynağında da meydana gelir. Burada da daha yüksek sıcaklığa ulaşan elektrot daha fazla elektron yayar.

Elektrod pozitif kutuplandığında ergime derecesi düşük olan sıvı iş parçasından daha az elektron çıkar. Zira düşük sıcaklıkta termik emisyon düşüktür ve kaynak akımı düşük olur. Ancak elektrod negatif kutuplandığında tungstenin erime sıcaklığı yüksek olduğundan (erimeyen elektrod olduğundan, erime ile enerji yok olmadığından sıcaklığı yükselir) bu yüksek sıcaklıkta daha fazla elektron çıkar ve daha fazla akım akar. Bu da negatif dalganın (elektrodun negatife gelmesi durumu) pozitif dalgaya (pozitif gelmesi durumu) göre daha büyük olması, diğer bir deyişle negatif dalganın bir doğru akım kısmı oluşturması (tek yönde daha az akım, diğer yönde daha fazla akım akması) demek veya doğrultma (kısmi doğrultma) yapılması demektir.

Doğru akım bileşeni çoğu kez zararlı yönde etkir, temizleme etkisi zayıflar, ancak aynı zamanda ark daha keskin ve kararsız yanar. Bu nedenle koruyucu gaz debisinin artırılması gerekir. Oksit tabakasının yok edilmesi için diğer bir çözüm yolu, kutuplamanın değiştirilmesidir. Eğer iş parçası negatif kutuplanmışsa, negatif

kutuplanmış parçadan pozitif kutuplanmış elektroda daha az elektron akar ve bu durum yeniden tutuşmayı güçleştirir. Bu nedenle doğru akımda arkı tutuşturmak için gerekli yüksek gerilim impulslarıyla arkı sadece bir defa tutuşturma, alternatif akımda ise akımın her sıfırdan geçişinde tutuşturma gereklidir. (Karadeniz, 2008)

TIG kaynağında elektrot negatif kutuplama durumunda ısının büyük bir kısmı iş parçasında oluşur. Bu sebepten dolayı metal malzemelerin kaynağında daha çok düz kutuplama kullanılır. Düz kutuplamanın bir dezavantajı kaynak esnasında iş parçası üzerinde temizleme etkisi oluşturmamasıdır.

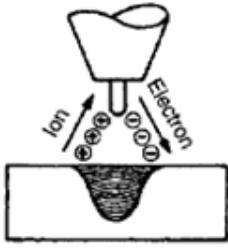
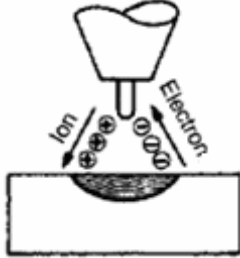
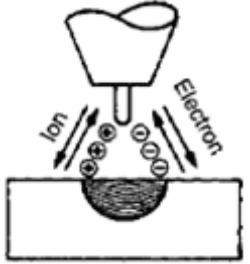


Şekil 4.4 TIG kaynağında düz ve ters kutuplamanın nüfuziyete etkisi (ASM, 1993)

Ark akımı ve ark geriliminin bir ürünü olarak arkta oluşan ısının yaklaşık %70'i pozitif kutupta oluşur (Tablo 4.2). Ark akımı öncelikle ısınmış olan negatif kutup yani katottan yayılan elektronlar tarafından taşınır. Bu elektronlar ark ısısının yaklaşık %70'nin olduğu pozitif kutup olan anoda doğru ilerlerler. Ark ısısının küçük bir kısmı da gaz iyonları ile negatif kutup olan elektroda taşınır ve burada yaklaşık %30'luk bir ısı girdisi oluşur. Katod elektron yayarak enerjisini kaybeder ve bu enerji, elektronlar anotta biriktiğinde ya da anotta yoğunlaştığında ısı enerjisine çevrilir. Anotta katottan daha yüksek miktar ısının oluşmasının bir sebebi de budur.

Alternatif akımın kullanılması ile bu durumun iyi bir ortalaması elde edilir. Kutbun değişmesi, sırasıyla, elektrod pozitif kutup olduğunda iş parçası üzerindeki oksit tabakasının parçalanmasına (katodik temizleme) ve elektrod negatif kutup olduğunda da tungsten elektrodun tekrar soğumasına imkan sağlar. Bu nedenle iki yarı dalga, temizleme yarı dalgası ve soğutma dalgası olarak adlandırılır. Bu durum, banyo yüzeyinin oksitten yeterli şekilde temizlenmesi ve elektrodun dayanma süresinde (ömründe) önemli bir artışı beraberinde getirir. (Karadeniz, 2008)

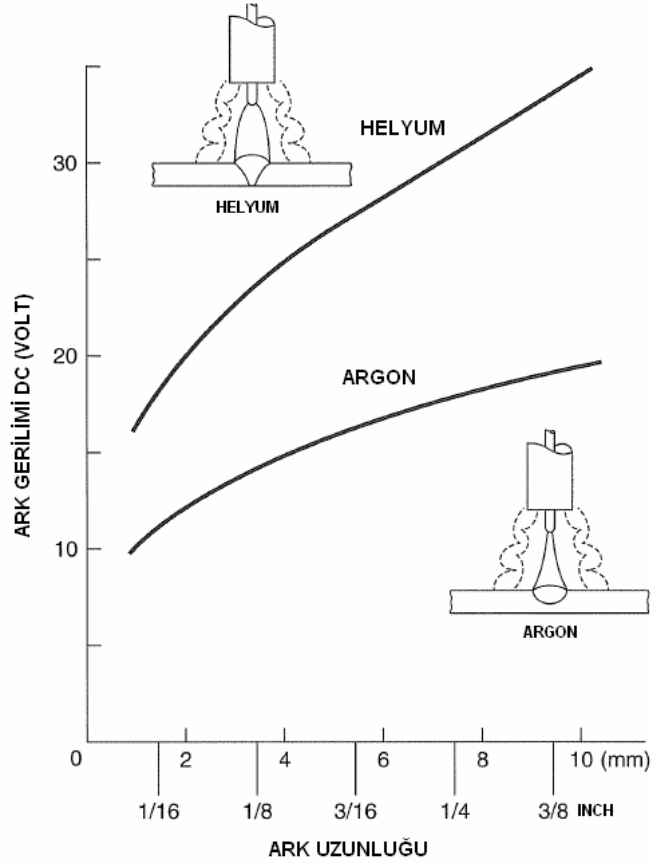
Tablo 4.2 TIG kaynağında kutup değişimi ve etkileri (Karadeniz, 2008)

<b>Akım Tipi</b>	<i>DC Doğru Akım</i>	<i>DC Doğru Akım</i>	<i>AC Alternatif Akım</i>
<b>Elektrot Kutuplaması</b>	<i>Negatif</i>	<i>Pozitif</i>	-
<b>Elektron ve İyon akışı</b>			
<b>Nüfuziyet Karakteristiği</b>			
<b>Oksit Temizleme Etkisi</b>	<i>Yok</i>	<i>Var</i>	<i>Var Her yarı çevrimde bir</i>
<b>Arktaki ısı dengesi (~ort.)</b>	<i>%70 iş parçası tarafında %30 elektrot tarafında</i>	<i>%30 iş parçası tarafında %70 elektrot tarafında</i>	<i>%50 iş parçası tarafında %50 elektrot tarafında</i>
<b>Nüfuziyet</b>	<i>Derin, dar</i>	<i>Sığ, geniş</i>	<i>Orta</i>
<b>Elektrot Kapasitesi</b>	<i>Mükemmel 3.18 mm-400 A</i>	<i>Zayıf 6.35 mm-120 A</i>	<i>İyi 3.18 mm-225 A</i>

#### 4.2.1 TIG Kaynağında Gazın Nüfuziyete Etkisi

TIG kaynağında genellikle helyum ve argon gazı koruyucu gaz atmosferinin oluşturulması için kullanılır. Her iki gazda asal gazdır ve kaynak esnasında diğer elementlerle birleşmezler. Helyum gazı havadan hafif argon ise ağırdır. Bu sebepten helyum gazı kaynak bölgesini tam olarak koruyamaz. Argonun havadan ağır olması

kaynak bölgesini helyuma göre daha iyi korumasını sağlar. Yüksek akım şiddetinin kullanıldığı durumlarda ise koruyucu gaz olarak helyum tercih edilir. Helyum yüksek akım şiddetlerinde yüksek gerilim değerlerine ulaşılmasını sağlar. (Anık ve Tülbentçi, 1991)



Şekil 4.5 TIG kaynağında koruyucu gazın ark gerilimi ve uzunluğuna etkisi (Cary, 1998)

İyonizasyon potansiyeli (enerjisi) yüksek olan bir gaz kaynak esnasında plazmanın içerisinde oluşan reaksiyonların artmasına sebep olur. Bu da plazmada oluşacak iyon ve elektronların artmasını sağlar. Yüklü parçacıkların artması da kaynak dikişinde nüfuziyetin artmasını sağlar. (ASM, 1993)

Yapılan çalışmalarda, doğru akımda negatif kutuplama ile alüminyum kaynağında helyum gazı kullanımı ilginç sonuçlar vermiştir. Helyumun yüksek iyonizasyon enerjisi (Tablo 4.3) nedeniyle ark daha yüksek gerilimde yanar ve bu sayede arkın yüksek sıcaklıklara çıkması nedeniyle oksit tabakası akışkan haline gelip yok olur.

Helyum kullanılmasının dezavantajı ise, gazın yüksek fiyatının yanında, arkın tutuşma özelliklerini kötüleştirir.

Helyum argon karışımı altında yapılan kaynakta, oluşan yüksek kaynak sıcaklığından ötürü esas metal iyi bir şekilde erir ve tam bir birleşme sağlanır. Yüksek kaynak banyosu sıcaklığı, düşük yüzey geriliminin oluşmasına yol açar. (Anık ve Vural, 1991)

Tablo 4.3 Gazların ionizasyon potansiyelleri (Gerilimleri) (ASM, 1993)

Gaz Çeşidi	Elektronvolt (eV)
Argon	15,760
Helyum	24,587
Hidrojen	15,43
Oxygen	12,07

Tablo 4.4 TIG Kaynağında Koruyucu Gazların Etkisi (Tülbentçi ve Anık, 1991)

Koruyucu Gaz	Koruyucu Gazın Etkilediği Özellikler		
	Ark Kararlılığı	Dikiş Genişliği	Nüfuziyet
Argon	Çok iyi	Geniş	Yüzeysel nüfuziyet
Helyum	Kötü	Dar	Derin nüfuziyet
%75 Argon- %25 Helyum	İyi	Geniş	Yüzeysel nüfuziyet
%50 Argon- %50 Helyum	Kötü	Orta Genişlik	Derin nüfuziyet

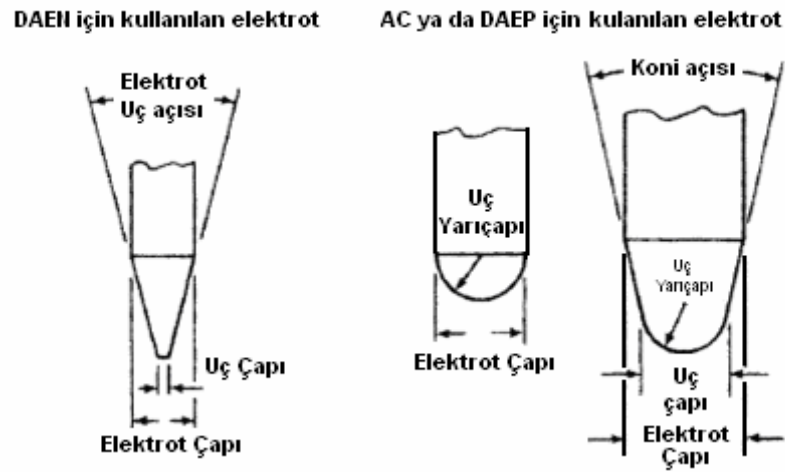
#### 4.2.2 TIG Kaynağında Elektrot Seçimi ve Kutuplama

Doğru boyutlarda elektrot seçimi elektrodun zarar görmemesi ve yüksek akım ya da düşük akımdan meydana gelen hatalı veya zayıf kaynaklı birleştirmelerin oluşmaması için önemlidir. TIG kaynağında kullanılacak elektrodun ölçülerinin belirlenmesinde kaynak esnasında kullanılacak akım miktarına, kaynak yapılacak malzemenin cinsine ve kutuplama şekline dikkat edilmesi gereklidir. (Vural, 2006)



Kutuplama şekli açısından elektrot seçimini incelersek düz kutuplama (DCEN) ve ters kutuplama durumlarında (DCEP) elektrot boyut ve uç şekillerinde belirgin farklılıklar görülür. Düz kutuplama durumunda daha küçük çaplı, ucu sivri (nokta uç) elektrotlarla iyi sonuçlar elde edilirken, ters kutuplama durumunda maksimum ısı elektrotta olduğundan elektrodun daha fazla akım taşıyabilmesi için çapı daha büyük ve uç şeklinin de sivri değil küresel (yuvarlak) olması gereklidir.

Alternatif akımla kaynakta da elektrot boyutları seçilirken dikkat edilmeli ve elektrodun yarı periyotta pozitif kutup olması dikkate alınarak elektrot boyut ve uç geometrisinde ters kutuplamada tercih edilen ölçülere yakın değerler seçilmelidir. (Cary, 1998)

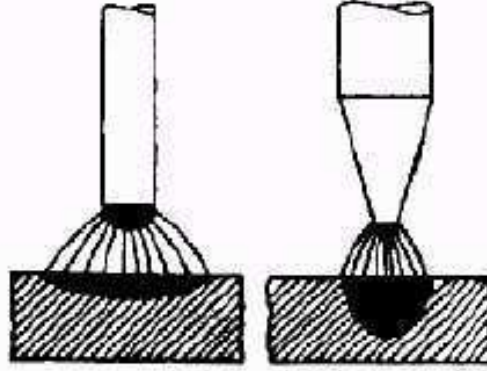


Şekil 4.6 TIG kaynağında doğru akım elektrot negatif, doğru akım elektrot pozitif ve alternatif akımla kaynakta kullanılan uç şekilleri (Cary, 1998)

Elektrot uç geometrisinin kaynak dikiş formuna da etkisi vardır. Bu sebepten ters kutuplamada kullanılan küresel uçlu elektrodun oluşturduğu kaynak dikişi geniş, düz kutuplamada kullanılan sivri uçlu elektrot ile dar kaynak dikişi elde edilir (Şekil 4.7).

Elektrod negatif kutuplama durumunun aksine pozitif kutuplama durumundaki düşük nüfuziyet, pozitif kutuplu kaynakta gerekli olan kalın elektrotlarda daha düşük enerji yoğunluğu ve daha düşük akım yüklenebilirliğinden dolayıdır. Bu durum alternatif akımla kaynakta da benzer form oluşturur. Kalın elektrod uçları, düz ve

geniş bir nüfuziyet oluşturur. Kaynak sırasındaki aşınma nedeniyle elektrodun kütleleşmesinin, nüfuziyet derinliğindeki bir azalmaya yol açacağı da hesaba katılmalıdır. (Anık ve Tülbentçi, 1991)



Şekil 4.7. Elektrod ucunun dikiş formuna etkisi

TIG kaynağının temel ögesi olan tungsten elektrot üç şekilde alaşımlandırılır. Bunlar; %1 toryum alaşımlı, %2 toryum alaşımlı ve zirkonyum alaşımlı elektrotlardır.

Tungsten elektrotlar bir ucunda renk kodlaması ile şu şekilde sınıflandırılırlar;

- Yeşil: Saf Tungsten Çubuk
- Sarı : %1 toryumlu tungsten çubuk
- Kırmızı : %2 toryumlu tungsten çubuk
- Kahverengi: Zirkonyumla alaşımlandırılmış çubuk

Kullanım alanlarına göre ise;

- a. Saf Tungsten elektrotlar; genelde alternatif akımla kaynakta kullanılır.
- b. Toryum alaşımlı elektrotlar; genellikle doğru akım düz kutuplamada kullanılır. Bu elektrotlar daha iyi nüfuziyet ve geniş akım ayarlama oranları sayesinde iyi bir ark başlama karakteristiği sağlar.
- c. Zirkonyum alaşımlı elektrotlar; alternatif akım kaynakları için mükemmeldir. Toryum ve zirkonyum alaşımlı elektrotlar özellikle uçak ve roket sanayindeki kritik kaynaklı bağlantılarda kullanılırlar. (Cary, 1998)

### 4.2.3 TIG Kaynağında Kaynak Yapılan Metaller ve Kutuplama Çeşidi

TIG kaynağı birçok malzeme için kolaylıkla uygulanabilir. Çelik ve alaşımları için düz kutuplama (elektrot negatif-DCEN) tercih edilirken, alüminyum, magnezyum vb. gibi hafif metaller için ise ters kutuplama (elektrot pozitif-DCEP) tercih edilir. (Cary, 1998)

Tablo 4.5 TIG kaynağında kaynak yapılan metaller ve kutuplama çeşidi (ASM, 1993)

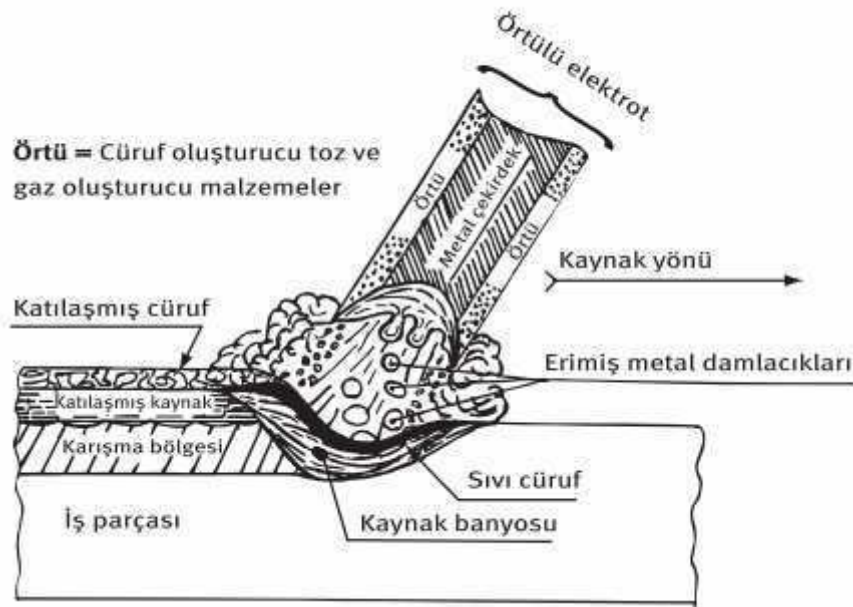
<i>Malzeme</i>	<i>Alternatif Akım</i>	<i>Yüksek Frekanslı Başlangıç Akımı</i>	
		<i>Düz Kutuplama DCEN</i>	<i>Ters Kutuplama DCEP</i>
<i>Al-3/32 inç kalınlığa kadar</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>N.R.</i>
<i>Al-3/32 inç kalınlık üzerinde</i>	<i>1</i>	<i>N.R.</i>	<i>N.R.</i>
<i>Alüminyum dökümler</i>	<i>1</i>	<i>N.R.</i>	<i>N.R.</i>
<i>Piriç Alaşımları</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>N.R.</i>
<i>Nikel-Bakır Alaşımları</i>	<i>N.R.</i>	<i>1</i>	<i>N.R.</i>
<i>Nikel Alaşımları</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>N.R.</i>
<i>Paslanmaz Çelik</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>N.R.</i>
<i>Sert kaplama alaşımları</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>N.R.</i>
<i>Açıklamalar: 1: Mükemmel sonuçlar, 2: İyi sonuçlar, N.R.: Önerilmez</i>			

### 4.3 Örtülü Elektrot ile Ark Kaynağında Kutuplama Prensibi

Örtülü elektrod ile ark kaynağı, örtülü bir elektrod ile kaynak banyosu arasında bir ark kaynağı işlemidir. İşlem, elektrod örtüsünün parçalanmasıyla oluşan koruyucu atmosfer kullanılarak, basınç uygulanmadan ve elektrodan gelen dolgu malzemesi ile gerçekleştirilir (Şekil 4.8).

Ark, elektrodun anlık olarak iş parçasına değmesi ile başlatılır. Ark ısı erimiş bir banyo oluşturmak için ana metalinin yüzeyini eritir. Elektrodun eriyen metal, arkta geçerek erimiş kaynak banyosuna aktarılır. Katılaştığı zaman birikmiş kaynak metali haline gelir.

Örtülü elektrot ile ark kaynağı, en sık kullanılan ark kaynağı işlemlerindedir. Maksimum esnekliğe sahip olmakla birlikte, neredeyse minimumdan maksimum kalınlığa kadar tüm pozisyonlarda pek çok metal kaynağı bu yöntemle yapılabilir. Ekipman yatırımı da nispeten azdır. Üretimde ve inşaat ile bakım için saha çalışmalarında kullanılmaktadır. (Cary, 1998)



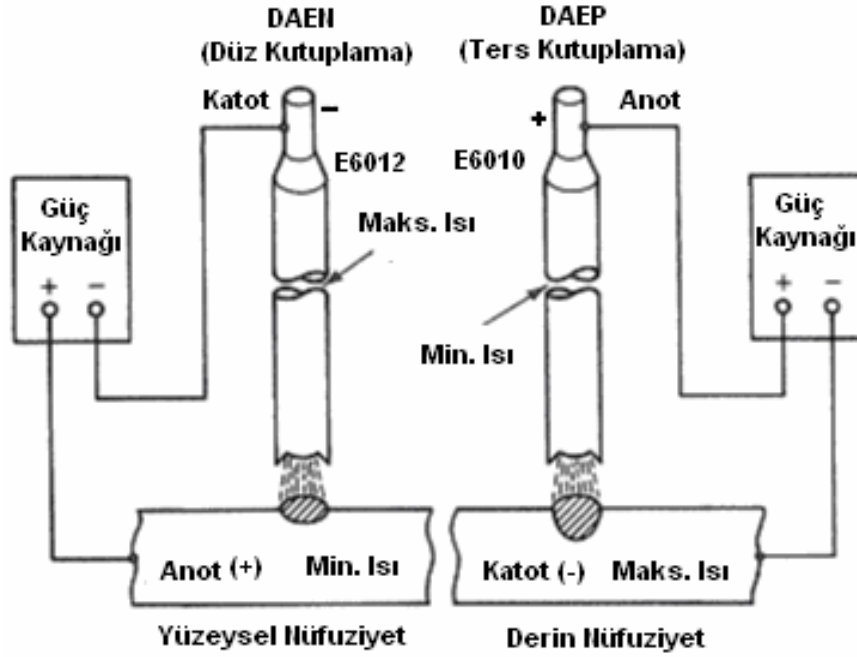
Şekil 4.8 Örtülü elektrot kaynağı prensip şekli (Cunat, 2007)

Bu işlem, çeliklerin ve bazı hafif metallerin kaynağında kullanılabilir. Ana kullanım alanı; düşük karbonlu veya yumuşak çelikler, düşük alaşımlı çelikler, yüksek mukavemetli çelikler, su verilmiş çelikler, yüksek-alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, korozyona dayanıklı çeliklerin birleştirilmesinde kullanılırlar. Nikel ve nikel alaşımlarının kaynağında ve daha az olarak da bakır ve bazı bakır alaşımlarının kaynağında kullanılır. Alüminyum kaynağı için kullanılabilmesine rağmen, çok nadir olarak kullanılmaktadır. (Cary, 1998)

Kaynak akım türü, kutuplama ve elektrod örtü bileşimi, erime gücü ve dikişin nufuziyetini etkileyen önemli faktörlerdir. Genel olarak verilmiş bir elektrod için erime gücü kaynak akımının arka sağladığı ısı enerjisi ile orantılıdır; bu enerjinin bir kısmı elektrodun ve örtüsünün, diğer kısmı da iş parçasının kaynak ağzının erimesinde kullanılmaktadır.

Örtülü elektrod ile ark kaynağı doğru akım ya da alternatif akım üreten kaynak güç üniteleri ile yapılabilir. Doğru akım her türlü elektrod ile daha stabil bir ark oluşturur ve kaynak metali taşınımı alternatif akımdan daha yumuşak bir biçimde gerçekleşir, sıçrama kayıpları azdır, buna karşın ark üfleme tehlikesi vardır. (Anık ve diğerleri, 1991)

Örtülü elektrod ile kaynakta kutuplamanın etkilerini elektrodun türü belirler (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Örtülü elektrot ile ark kaynağında kutuplama şekli (Cary, 1998)

Kaynak esnasında oluşan ark atmosferinin de özellikleri elektrodu kaplayan bileşime bağlıdır. Maksimum ısı genelde negatif kutupta (katot) oluşur. Örnek olarak bir E6012 elektroduyla düz kutuplama (DAEN) kaynağı durumunda, elektrod negatif kutuptur ve erime hızı yüksektir, ancak ana metale nüfuziyeti düşüktür. Ya da E6010 elektrodu ile ters kutuplama kaynağı (DAEP) durumunda, maksimum ısı hala katotta (negatif kutup) oluşur, ancak bu kez ana metalde derin bir nüfuziyet söz konusudur. Örtülü elektrotlar alternatif akımla (AC) kullanıldığında, arkın her iki kutbunda da aynı miktarda ısı üretilir. (Cary, 1998)

#### 4.3.1 Örtülü Elektrot Kaynağında Elektrot Çeşitleri

Elle ark kaynağı için kullanılan elektrotlar kaplandıkları kimyasal bileşime göre asit, oksit, selülozik, rutil, bazik, nötr, demir tozlu, derin nüfuziyet elektrotları gibi çeşitlere ayrılırlar. Bu elektrot çeşitlerinden en önemlileri olan; selülozik, rutil ve bazik elektrotların özellikleri aşağıdaki gibidir;

### **Selülozik Tip Elektrotlar :**

Bu tür elektrotların örtüsünde, yandığı zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Selülozik elektrotların örtü formülünün %30 kadarını selüloz ve diğer organik maddeler oluşturur. Bunların ark içinde yanması karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) koruyucu gazlarını oluşturur. Ark güçlüdür ve nüfuziyet diğer elektrotlara oranla fazladır. Organik maddelerin tam yanması için su yardımına gerek vardır, bu nedenle selülozik elektrotların örtüsünde % 5'e kadar bir nem oranı aranır. Bu nem ihtiyacı elektrodun depolanmasında bir avantaj oluşturur, tekrar fırınlamak gerekmez, hatta zararlı olabilir. Örtüye katılmış olan titan bileşikleri arkın stabilizasyonunu sağladıkları gibi, cürufun kolaylıkla kalkmasına da yardımcı olurlar. Bazen örtüye bir miktar mangan katılarak, kaynak sırasında oksitlenerek kaybolan, manganezin tamamlanması sağlanır. Eskiden bu tür örtülere asbest de katılmaktaydı; ancak, bu maddenin sağlık koşullarını kötüleştirmesinden dolayı kullanımından vazgeçilmiştir.

Düşük cüruf hacmi bu elektrotları aşağı doğru dikey ve boru kaynakları için büyük ölçüde uygun olmasını sağlar ve kaynak metalinin mekanik özellikleri oldukça iyidir. Selülozik elektrotlar güçlü ark nedeniyle, yukarıdan aşağı dahil, her pozisyonda rahat kaynak yaparlar, derin nüfuziyette güçlü bir kaynak dikişi oluşturur. Bu tür elektrotlar ile yapılan kaynak dikişi üzerine oluşan cüruf çok azdır ve sıçrama kaybı yüksektir. Buna karşın, bu elektrotlar ile yapılan kaynak dikişlerinin aralık doldurma yeteneği ve nüfuziyeti oldukça iyidir. Her pozisyonda kaynak için (özellikle yukarıdan aşağıya düşey) uygundur.

En önemli dezavantajı yüksek orandaki hidrojen oluşumu ısıdan etkilenen bölgedeki hidrojenden kaynaklanan çatlak riskini artırır. Bu bölgedeki çatlak malzemenin kaynaktan önce hidrojenin şiddetli çatlak oluşturabileceği ısıdan etkilenen bölgeden ön ısıtma sayesinde dağılmasına olanak sağlanması ile önlenir. Ön ısıtma sıcaklığı malzemenin et kalınlığıyla, karbon eşdeğeriyle

(kimyasal bileşim ile belirlenir), kaynak metalinde oluşturduğu hidrojen miktarıyla ve ısı girdisi ile belirlenir.

Selülozik elektrodlar açık havada gemi inşa sanayi ve petrol boru hatları (pipeline) kaynaklarında güvenle kullanılır. Özellikle röntgen kontrolü istenen kaynaklarda tercih edilir. Selülozik tip elektrodlar doğru akım kaynak makinalarının pozitif kutba bağlanabilir ya da alternatif akım kaynak makinalarında kullanılabilirler. (Anık ve diğerleri, 1991)

### **Rutil Elektrodlar**

Bu tür elektrodlarda, örtü ağırlığının yaklaşık % 35'ini titandioksit oluşturur. Örtü titandioksitin yanı sıra feldspat, kuvarz, az miktarda selüloz, gene az miktarda ferromangan; bağlayıcı olarak da sodyum ve potasyum silikat içerir. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrodlarda eriyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı dikişin mekanik özelliklerine de olumlu yönde etkir. Bu tür örtüler, dikişi tamamen örten, oldukça kalın, rengi kahverengiden siyaha kadar değişen, çabuk katılaştıran bir cüruf oluştururlar. Cürufun özellikleri, örtüyü meydana getiren maddelerin miktar ve türüne bağlıdır. Örtüye katılan feldspat ve asbest gibi silisli maddeler çok akıcı cüruf veren titandioksit ile karışarak cürufun uygun bir akıcılıkta kalmasını sağlar.

Bu tür elektrodlar ile hem doğru hem de alternatif akımda kaynak yapılabilir. Bu elektrodlar üniversal türlerdir, her pozisyonda kaynak yapmaya elverişlidirler; gayet yumuşak bir ark ile sakin bir çalışma sağlarlar, aralık doldurma yetenekleri elektrod örtüsü kalınlaştıkça artar. Rutil elektrodlar; rutil asit, ince Örtülü rutil ve kalın Örtülü rutil gibi gruplara ayrılır. Rutil asit türler herhangi bir asit tür örtüsünde bulunan, demir oksit yerine, titandioksit veya ilmenit konması ile elde edilmiştir. Bu şekilde kaynak metalinin oksijen içeriği azaldığında daha iyi mekanik özellikler elde edilir. Kalın örtülü elektrodlarda, oldukça fazla miktarda cüruf oluştuğunda koruyucu gaz atmosferine fazlaca gereksinme duyulmaz; dolayısı ile bu türler çok az organik madde içerirler. (Anık ve diğerleri, 1991)



### **Bazik Tip Elektrodlar**

Genellikle kalın örtülü olarak üretilen bazik karakterli elektrodların örtüsü, kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ile bir miktar kalsiyum fluorür içermektedir. Bu örtünün bileşiminde karbonatlar yalnız başlarına kullanılmazlar, aksi halde meydana gelen cüruf kaynak metalini örtemez, kalsiyum fluorür cürufa, kaynak metalini iyi ıslatma ve banyoyu oksidasyondan ve gaz emişinden diğer cüruf yapıcı minerallere oranla daha iyi korur. Bu tür cüruflar sıvı iken çok akışkan olduklarından, akışkanlığı azaltmak amacı ile örtüye, az miktarda silikat veya rutil katılmaktadır; örtüye katılmış olan ferrosilisyum ise kaynak metalinde karbon oksitlerinin neden olabileceği gözeneklerin oluşmasını önlemektedir.

Bazik elektrotlar özün içerisinde kireçtaşı ve fluorspar (kalsiyum florit) formunda yüksek oranda kalsiyum karbonat ve kalsiyum florür içerir. Bu elektrotlar yüksek kalite (yüksek sertlik/ iyi tokluk) ve düşük hidrojenli kaynak metalleri için kullanılır. Özden (örtüden) meydana gelen cüruf düşük sıcaklıklarda erir ve yüksek yüzey gerilimine sahiptir.

Bazik elektrodlar bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilirler. Aralık doldurma yetenekleri çok iyidir. Bu elektrodlarla yapılmış olan kaynak dikişleri gayet iyi mekanik özelliklere sahiptir. Bazik elektrodlar, 0 °C'in altında dahi gayet iyi olan dikişler verirler. Bazik elektrod örtüsü, daha önce de belirtildiği gibi sıvı halde iken çok akışkan bir cüruf meydana getirir; bu durum kaynak dikişinin konkav ve kaba görünümlü olmasına yol açar. Bunu önlemek, yani cürufu biraz daha vizkoz hale getirmek için örtüye, bir miktar zirkonyum oksit veya zirkonyum silikat katılır. Örtüsü böyle olan elektrodlara zirkon - bazik tür elektrod adı verilir. Örtüye zirkonyum oksit veya silikat yerine; rutil veya ilmenit katılması ile de cürufun akıcılığını ayarlamak mümkündür. . (Anık ve diğerleri, 1991)

**• Bazik Elektrodların Kullanma Yerleri**

Bütün kaynak pozisyonları için uygun olan bazik karakterli örtülü elektrodların kullandıkları başlıca yerler şunlardır:

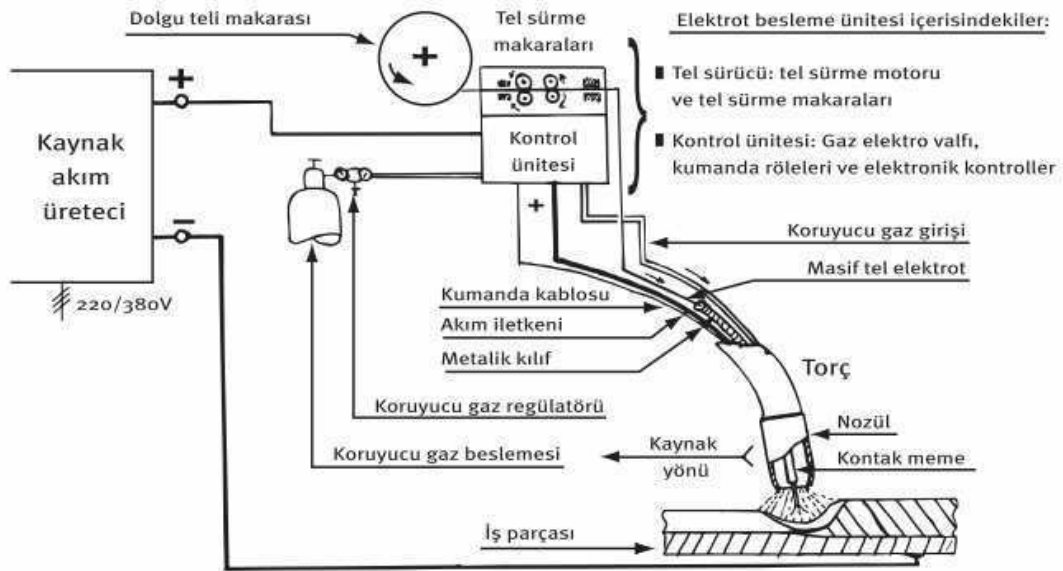
- Bileşimi bilinmeyen, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında,
- Yüksek miktarda karbon, kükürt, fosfor ve azot içeren çeliklerin kaynağında,
- Farklı karbon içeren çeliklerin kaynakla birleştirilmelerinde,
- Çatlama olasılığını azaltmak bakımından kalın kesitli parçaların kaynağında,
- 0 °C'nin altındaki sıcaklık derecelerinde çalışan makina, donanım ve yapıların kaynağında,
- Dinamik zorlamalara karşı yüksek dayanım istenen kaynak dikişlerinde,
- Rijit konstrüksiyonların kaynağında.

Bazen bazik karakterli örtülü elektrodlarla kaynatılmış parçaların kök pasolarında ufak gözeneklere rastlanabilmektedir. Bunlar, elektrodun yanlış seçilmesi, hatalı kullanılması ve hatalı işlem uygulanması sonucunda oluşmaktadır. (Anık ve diğerleri, 1991)

#### 4.4 MIG Kaynağında Kutuplama Prensipli

MIG sembolü, “Metal Inert Gas” ifadesinin baş harflerinin alınmasıyla oluşturulmuştur. Gazaltı ark kaynağı, sürekli dolgu metal elektrodu ile kaynak banyosu arasındaki bir arktan yararlanan ark kaynak işlemidir. Bu işlem, dışardan desteklenen gazdan gelen bir koruyucuyla ve basınç uygulamadan yapılır. Kaynak işleminde sürekli eriyen elektrodla kaynak yapılan yer arasında bulunan bir arkın ısısından yararlanır. Arkın ısısı, esas metalin yüzeyini ve elektrodu eritir. Elektrodun üzerinde eriyen metal, ark üzerinden erimiş banyoya aktarılır. (Cary, 1998)

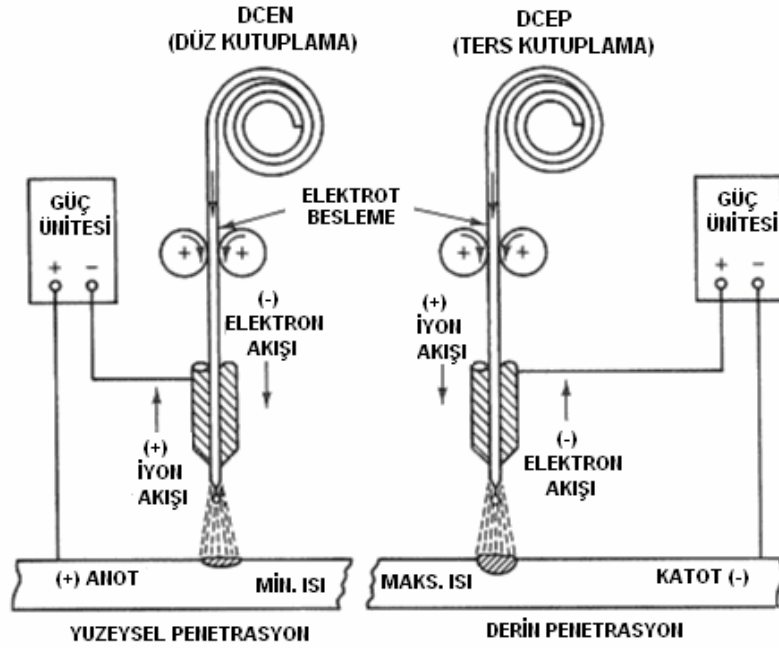
Elektrod bir tel iletme mekanizması yardımıyla bir tel makarasından akım kontak borusuna gelir. Kaynak makinasının kutuplarından biri elektroda diğeri de parçaya bağlanır; böylece ark, eriyen elektrod ile parça arasında yanar. Elektrod aynı anda hem enerji hem taşıyıcı hem de kaynak ilave metali görevi yapar. Koruyucu gaz elektrodun eş eksenli bir memeden akar ve arkı, eriyen damlaları ve arkın altındaki erimiş banyoyu atmosferin etkisinden korur. (Amık ve Vural, 1991)



Şekil 4.10 MIG Kaynağı operasyon şeması (Cunat, 2007)

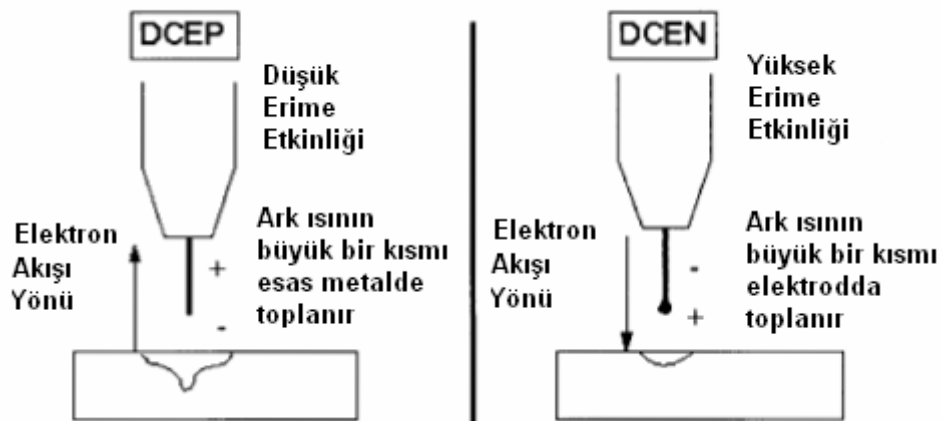
Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında doğru akım ve yatay karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılır. Ark kararlı bir şekilde yanarak, derin nüfuziyet sağlar. Diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akım kullanılması halinde

elektrod pozitif veya negatif kutba bağlanabilir. Ancak uygulamaların büyük çoğunluğunda doğru akım elektrod pozitif kutuplama kullanılır.



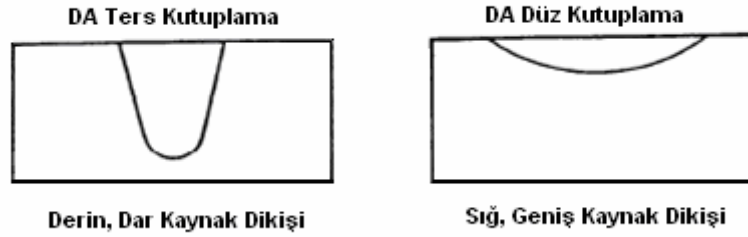
Şekil 4.11 MIG Kaynağında kutuplama prensibi (Cary, 1998)

MIG kaynağında (gaz metal ark kaynağında) doğru akım ters kutuplama durumunda ark ısının %30' u elektroda, %70' de iş parçasına ulaşır. Bu enerji dengesi doğru akım düz kutuplamada tam tersidir (Şekil 4.12). (Talkington, 1998)



Şekil 4.12 MIG kaynağında ters ve düz kutuplamada erime etkinliği

Doğru akım ters kutuplama (DCEP) geniş bir kaynak akım aralığında kararlı bir ark, yumuşak bir metal iletimi, göreceli olarak daha az sıçrama, iyi bir kaynak dikiş özelliği ve daha fazla nüfuziyet oluşturur (Şekil 4.13).



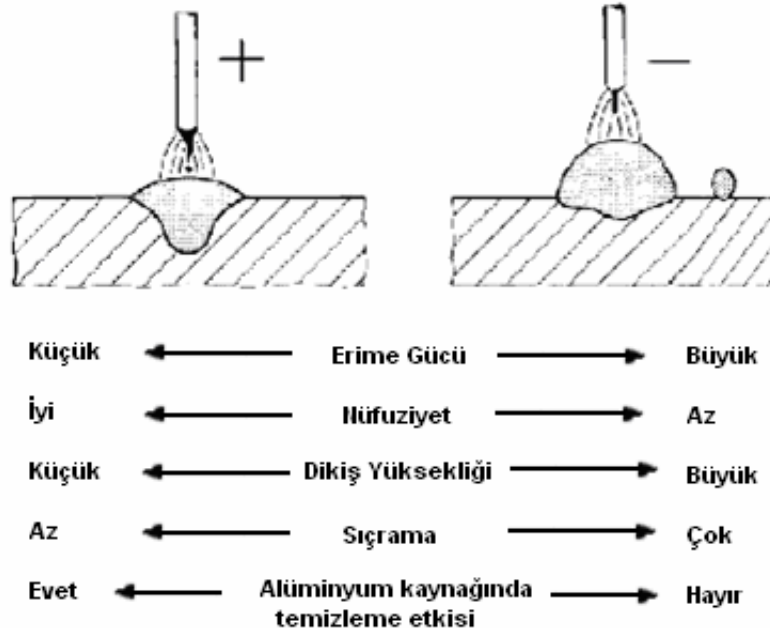
Şekil 4.13 MIG kaynağında düz ve ters kutuplamanın nüfuziyete etkisi (ASM, 1993)

Doğru akım düz kutuplamanın uygulandığı durumlarda düşük nüfuziyet, verilen akımda yüksek elektrod erime oranı, düşük ısı girdisi ve globüler metal taşınımı elde edilir. Globüler metal taşınımının (iri damlalı metal taşınımı) bir sonucu olarak doğru akım düz kutuplamada ark stabilitesinin sağlanmasında sorunlar oluşur ve buda bu kutuplama şeklinin sınırlı uygulamalarda kullanılmasına yol açar. Aynı elektrod erime oranının elde edilmesi için doğru akım ters kutuplamada, doğru akım düz kutuplamaya göre daha düşük akım değerine ihtiyaç duyulur. (Talkington, 1998)

Doğru akım elektrod negatif kutuplama, yüksek yığıma hızına ve daha düşük nüfuziyete sahip olması nedeniyle, yüzey doldurma işlemlerinde uygulama alanı bulmuştur. (Eryürek, 2004)

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi için elektrodun muhakkak pozitif kutba (ters kutuplama-DCEP) bağlanması gereklidir.

Diğer metal ve alaşımların özellikle çeliklerin kaynağında her iki kutuplama türü de kullanılabilirse de, çok daha derin bir nüfuziyet sağladığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 MIG kaynağında kutuplamanın dikiş formuna etkisi  
(Tülbentçi, 1990)

#### 4.4.1 MIG Kaynağında Koruyucu Gazlar

MIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon, helyum veya her iki gazın karışımı kullanılır. 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.

Hafif metallerin MIG kaynağında kullanılan argon gazının yüksek saflıkta olması gerekir (%99,99). Çelik malzemelerin MIG kaynağında ise, argon gazına oksijen ve karbondioksit gazları karıştırılır. Bu karışımda oksijen %3 ilâ 6, karbondioksit %5 ilâ 13 arasındadır. Gaz karışımına bağlı olarak, dikişte elde edilen dikiş formu değişmektedir. Karışımda oksijenin bulunması, arkın kararlılığını ve erimiş damlaların yüzeyde kolayca tutunmalarını sağlamaktadır. Ayrıca gözenek oluşumunu da önlemektedir. (Tülbentçi, 1990)

#### 4.4.2 Çeşitli Malzemelerin MIG Kaynağı

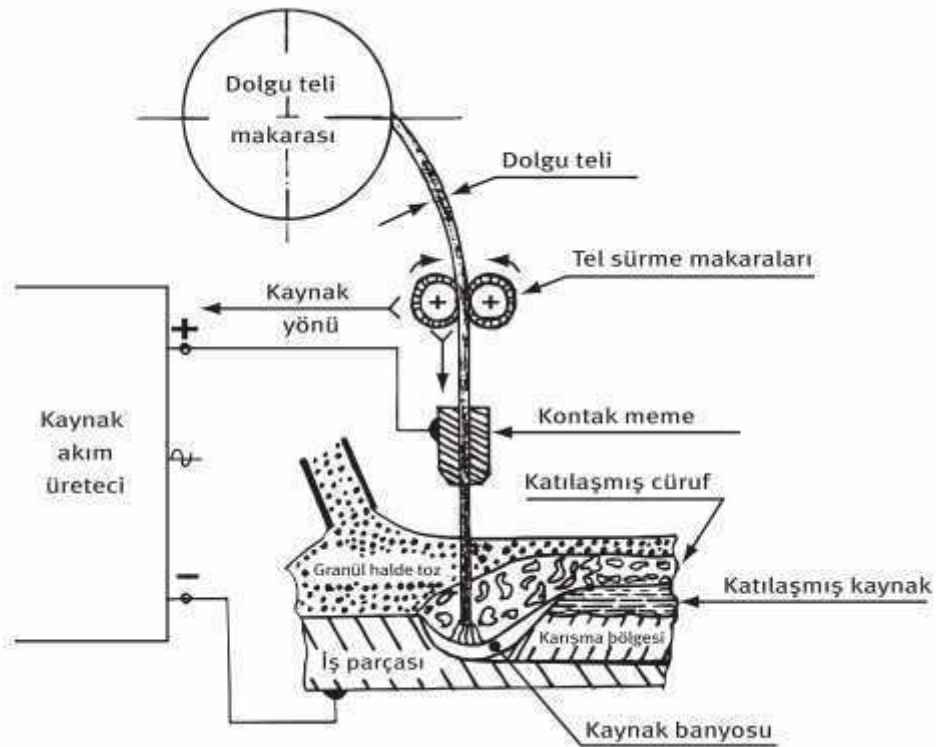
MIG kaynağı ile hemen hemen bütün malzemelerin kaynaklanması mümkündür. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında doğru akım kullanılır ve otomatik olarak

ilerleyen kaynak teli, daima pozitif kutuba bağlanır. Kaynak ağızlarının iyi temizlenmesi, dikişte gözenek oluşumunu azaltır. Bakır ve alaşımlarının kaynağında, gerekli durumlarda 200 ilâ 400 °C 'lik bir ön tavlama uygulanır. Makina ile kaynak yapılması durumunda, sola kaynak usulü uygulanır. Kaynak işlemi doğru akımla ve elektrod pozitif kutba bağlanarak yapılır. Paslanmaz çeliklerin MIG usulüyle kaynaklanması, büyük üstünlük sağlar. Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, diğer çeliklere nazaran malzemenin ısı iletkenliğinin düşük, ısı genişmesinin fazla ve erime sıcaklığının daha düşük olması nedeni ile yumuşak çeliklerden daha düşük akım şiddeti ile çalışılır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında çeşitli ark türleri de kullanılabilir, bilhassa son yıllarda distorsiyon ve çarpılmayı azalttığından darbeli akım yöntemi çok geniş çapta uygulanmaktadır. (Tülbentçi, 1990)

#### 4.5 Tozaltı Kaynağında Kutuplama Prensibi

Temel olarak bir elektrik ark kaynağıdır. Kaynak arkı, otomatik olarak kaynak yerine gelen bir elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Aynı zamanda, kaynak yerine devamlı olarak silikat ve toprak alkali metalleri ihtiva eden bir toz dökülür ve ark bu tozun altında yanar (Şekil 4.15). Bu sebepten bu usul tozaltı ark kaynağı olarak adlandırılmıştır. Ark sıcaklığında bir miktar toz da erir ve dikişi örten bir cüruf haline geçer. Bu cüruf henüz çok sıcak olan kaynak dikişini ve kaynak banyosunu atmosferden koruduğu gibi içerdiği deoksidan ve alaşım elemanları sayesinde kaynak banyosunun deoksidasyonunu sağlar. (Anık ve Tülbentçi, 1991)

Bu kaynak yönteminde normal el ark kaynağına nazaran elektrod teli daha yüksek bir akım şiddeti (200-2000 Amper) ile yüklenebilir. Bu sebepten, derin nüfuziyetli ve geniş dikiş formları elde edilir. (Messler, 1999)



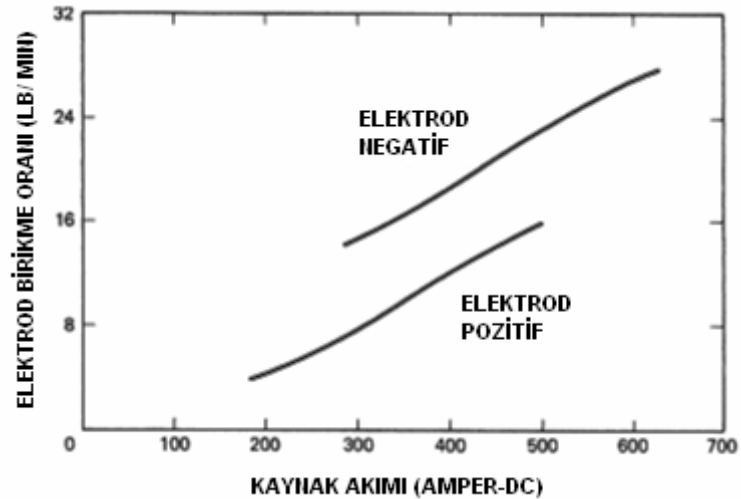
Şekil 4.15 Toz altı kaynağı prensip şeması (Cunat, 2007)

Tozaltı kaynağında hem alternatif hem de doğru akım kullanılabilir. Her iki akımın da ayrı kullanım alanları ve dikiş formu üzerine farklı etkileri mevcuttur.



Doğru akımda kutuplama prensibinde elektrodun negatif kutba bağlandığı durumlarda düz (doğru) kutuplama, elektrodun pozitif kutba bağlandığı durumlarda ters kutuplama olarak ifade edilir. Kaynak dikiş kontrolünün ve nüfuziyetinin önemli olduğu durumlarda ters kutuplama tercih edilir. Elektrodun pozitif olduğu durumda ısının üçte ikisi negatif kutupta (iş parçasında) oluşur. Bu da kaynak dikiş formunda maksimum nüfuziyet elde edilmesini sağlar. Derin nüfuziyet küçük kaynak ağızları ile kaynak olanağı sunar. Özellikle ince malzemelerin kaynağında kaynak ağızı açılmadan kaynak yapılabilmesini sağlar. (Chandel, 1996)

Kaynak dikiş formunda nüfuziyet değerinden çok kaynak dikiş yüksekliğinin daha önemli olduğu durumlarda ise doğru akımda düz (doğru) kutuplama tercih edilir (Şekil 4.16). Düz kutuplama tercih edildiğinde elektrod katod durumundadır ve ısının üçte ikisi elektrotta oluşur. Elektrot erime oranı en yüksek seviyededir ve bu da birikme oranının artmasını sağlar. Bu sebepten birikme oranının yüksek olmasının istendiği doldurma işlemlerinde düz kutuplama tercih edilir. Doğru akım kullanıldığı durumlarda dikiş formunun, nüfuziyetin ve süratin kontrolü hassas olarak yapılabilmekte ve ark daha kolay oluşmaktadır. (Anık ve Tülbentçi, 1991)



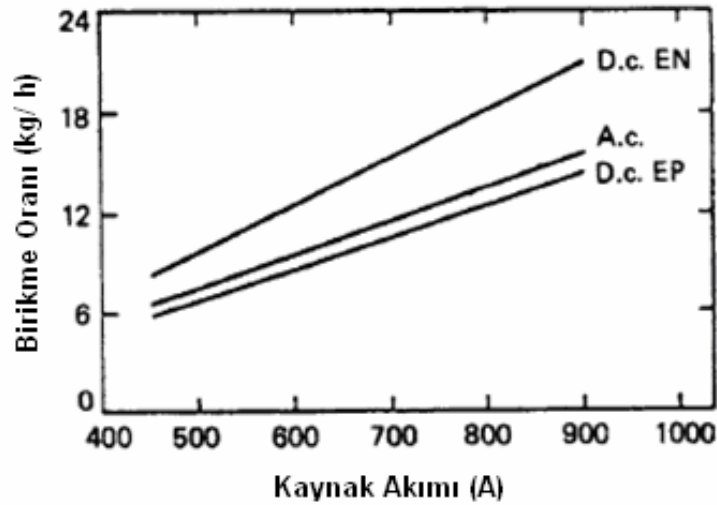
Şekil 4.16 Toz altı ark kaynağında kaynak akımı ile birikme oranı ilişkisi (Cary, 1998)

Toz altı ark kaynağındaki birikme oranları diğer ark kaynaklarından daha yüksektir. Bu oran en az dört değişken tarafından kontrol edilir. Bunlar; kutuplama,

serbest tel uzunluğu, koruyucu kaynak tozunun bileşimi ve ilave elektrotlar (tandem usulü toz altı ark kaynağında). Birikme oranı serbest tel uzunluğunun artırılmasıyla artar. Ancak uzun serbest tel uzunluğu nüfuziyetin azalmasına sebep olur. Koruyucu kaynak tozunun bileşimindeki metal oranının artması da birikme oranını artırır.

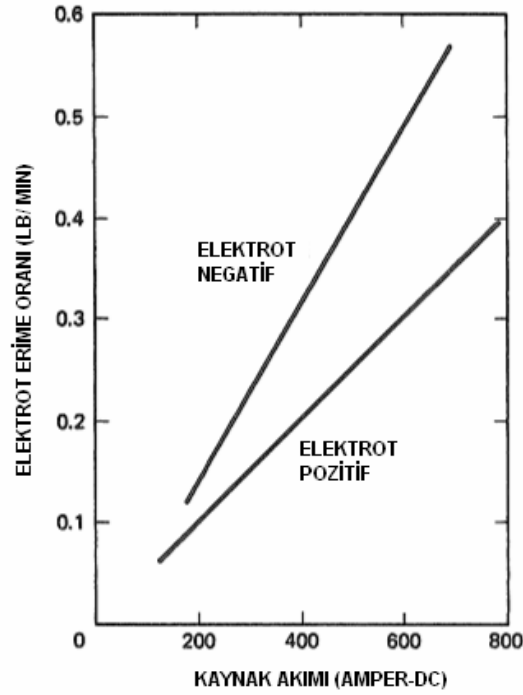
En büyük birikme oranı doğru akım elektrod negatifte elde edilir (Şekil 4.16). Birikme oranı alternatif akım kullanıldığında ise doğru akım pozitif kutuplama ile negatif kutuplama ile elde edilen değerlerin arasında bir değerdedir (Şekil 4.17). (Cary, 1998)

Tozaltı kaynağında alternatif akımın kullanıldığında ise kaynak dikişinde oluşan nüfuziyet değerleri de doğru akımla her iki kutuplama ile elde edilen değerlerin yaklaşık olarak ortalamasıdır. (Anık ve Tülbentçi, 1991)



Şekil 4.17 Toz altı kaynağında kutuplama durumunun birikme oranına etkisi (ASM- 1993)

Kaynak bölgesinde oluşan ısıyı etkileyen en önemli değişkenler; kaynak akımı, ark gerilimi (boyu) ve kaynak hızıdır. Kaynak akımı bu değişkenler arasında en önemlisidir. Akım ne kadar yüksekse nüfuziyette o kadar büyük olacaktır. Kaynak akımı elektrod boyutları dikkate alınarak seçilmelidir. Kaynak akımı ne kadar artarsa erime oranı da o oranda artacaktır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Toz altı ark kaynağında kaynak akımı ile erime oranı ilişkisi (Cary,1998)

#### 4.5.1 Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

Tozaltı kaynağındaki kaynak tozları, el ile yapılan ark kaynağındaki elektrod örtüsünün görevini yerine getirir.

Bu görev fiziksel olarak;

- Kaynak banyosunu havanın zararlı etkisinden koruma,
- Dikişe uygun bir form verme,
- Dikişin yavaş soğumasının sağlanması, olarak sıralanabilir. Kaynak tozu metalürjik olarak da, kaynak banyosuna ilâve ettiği elemanlarla yanma kaybını ortadan kaldırır ve dengeler.

Tozaltı kaynağında kullanılan tozlar, çeşitli yönlerden sınıflandırılabilirler. Bunlar;

Erimiş tozlar; suni olarak eritilmiş silikatlardır ve katı hallerinde kristal karakterli amorf kütlelerdir. Bu tozların imalâtında kuvars, manganez cevheri veya dolomit, kalkspat ve kil gibi maddeler uygun miktarlarda karıştırılarak eritilir. Eritme işleminde ark fırınları veya alevli fırınlar kullanılır.

Sinterlenmiş tozların imalinde uygun bileşimdeki malzeme karışımı öğütülür. Daha sonra öğütülmüş tozlar belirli büyüklükte taneler halinde preslenir ve alevli fırınlarda sinterlenir. Sinterlenen taneler daha sonra tekrar ufaltılır ve istenen tane büyüklüğünde olanlar ayrılır.

Aglomere tozlar; ince öğütülmüş toz halindeki hammaddeye belirli büyüklükte olan hammaddenin katılması ve bir yapıştırıcı ile aglomere edilmesiyle elde edilir. Aglomere olmuş bu karışım daha sonra neminin alınması için, bir tavlamaya tabi tutulur. Aglomere tozlar son zamanlarda genişçe kullanılmakta olup, erimiş tozlara göre çeşitli üstünlükleri vardır. Aglomere tozlarla kaynak metali daha iyi alaşımlandırılabilenekte, toz sarfiyatı daha az olmaktadır. (Tülbentçi, 1990)

#### ***4.5.2 Kaynak Tozundan İstenen Özellikler***

İyi bir kaynak tozunun aşağıdaki hususları gerçekleştirmesi gerekir:

- a) Kararlı bir ark sağlanmalıdır. Bilhassa alternatif akım ile kaynakta, akım yön değiştirirken arkın sönmesini önlemelidir.
- b) İstenen kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi vermelidir.
- c) Uygun ve temiz bir içyapı sağlamalıdır.
- d) Kaynak dikişinde, herhangi bir gözenek ve çatlak oluşumuna sebep olmamalıdır.
- e) Kök pasolarının ve dar aralıkların kaynağında, cürufu kolayca kalkabilmelidir.
- f) Gözenek teşekkülüne sebep olacak organik maddeler ihtiva etmemelidir.
- g) Az nem çekmelidir.

#### ***4.5.3 Tozların Kimyasal Bileşimleri ve Kaynak Metaline Etkileri***

Genel olarak kaynak tozlarının büyük bir kısmını, silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) oluşturur. Silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) kaynak tozunun yüksek akım şiddetiyle yüklenmesini temin eder, aynı zamanda iyi bir deoksidandır ve cürufu daha akıcı

hale getirir. Tozların içerisinde miktar olarak ikinci büyük madde, mangan oksit (MnO). Mangan Oksit (MnO) dikişin emniyeti bakımından önemlidir. Fakat tozun içerisindeki MnO miktarı arttıkça, yüksek akım şiddetiyle yüklenebilme kabiliyeti azalır. Bu sebepten yüksek akım şiddetiyle yüklenen tozlarda MnO bulunmaz. Fakat manganezsiz ve silisyum miktarı yüksek tozlar kir ve pasa karşı çok hassas olduğundan, parçaların kaynak ağızlarının çok iyi temizlenmesi gerekir.

Tozda bulunan SiO<sub>2</sub> kaynak sırasında redüklenerek, dikişe Si verir. SiO<sub>2</sub> miktarı arttıkça, dikişe geçen Si miktarı da artar. Silisyum kaynak esnasında kaynak banyosunu deokside ederek, dikişin gözeneksiz çıkmasını temin eder; kükürt ve fosfor segregasyonunu azaltır. Kaynak dikişindeki silisyum ve manganez birbirlerine göre miktarları, dikişin mekanik özellikleri yönünden önemlidir. Manganezin silisyuma oranı en az 2/1 olmalıdır. (3/1'e kadar çıkabilir). Bu oran üzerinde seçilen kaynak teli ve tozunun etkisi olduğu kadar, çalışma şartlarının da tesiri vardır. Çalışma şartlarında akım şiddeti yükseldikçe, manganez ve silisyumun yanma oranı artar. Böylece dikişe geçen manganez ve silisyum miktarı azalır. Kaynak hızının artması, ark geriliminin azalması kaynak metalindeki manganez ve silisyum oranını azaltır. Yine kaynak teli çapının ve kaynak ağızı açısının artması, dikişteki manganez ve silisyum miktarlarını artırmaktadır.

## BÖLÜM BEŞ

### ARK KAYNAĞINDA DALGA FORMU KONTROL TEKNOLOJİSİNİN KAYNAK DİKİŞ FORMUNA ETKİLERİ

#### 5.1 Giriş

Kaynak dikiş formunun istenilen değerlerde olmasını sağlayan dalga formu kontrol teknolojisiyle dalga formunda yapılan iyileştirmeler sayesinde kaliteli ve ekonomik kaynak işlemine daha kolay ulaşılmaktadır. (Karadeniz, 2009)

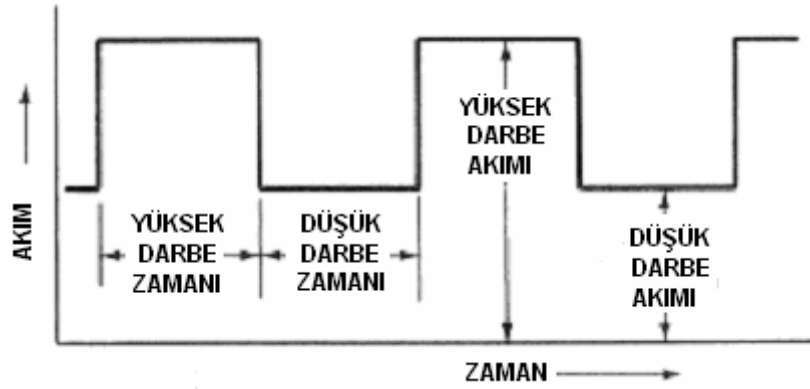
##### 5.1.1 Doğru Akımla Kaynakta Dalga Formu

Doğru akımla kaynakta akım üreticinin verdiği akım sıfır olmaz ve prensipte ark da sönmez. Akım değerinin hiçbir zaman sıfır olmaması stabil (kararlı) bir ark oluşmasına bu da kaynak kalitesinin yükselmesini sağlar. (Karadeniz, 2008)



Şekil 5.1 Doğru akımda akım-zaman grafiği (Cary,1998)

Doğru akımın kullanıldığı uygulamalarda iki tip dalga formu karşımıza çıkar. Birisi akım değerinin kaynak işlemi boyunca değişmediği doğru akım ile oluşan dalga formu (Şekil 5.1), diğeri ise akımın yüksek darbe (tepe) akımı ve düşük darbe (temel) akımı değerleri arasında değişerek oluştuğu darbeleri doğru akım dalga formudur (Şekil 5.2). (Karadeniz, 2008)



Şekil 5.2 Darbeli doğru akımda akım-zaman grafiği (Cary, 1998)

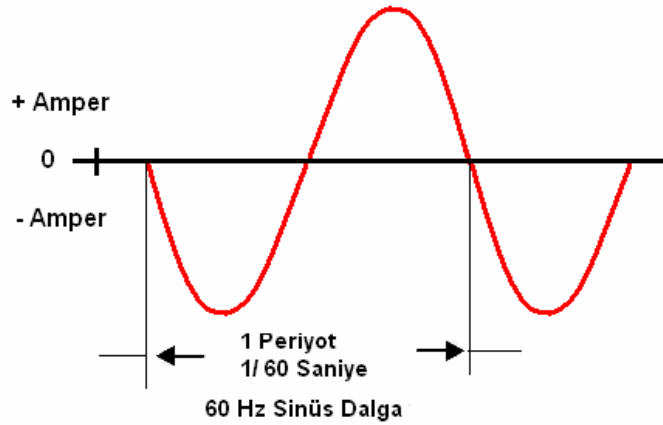
Plazma içerisindeki yüklü parçacıkların (elektronlar ve iyonlar) negatif kutuptan pozitif kutba ya da pozitif kutuptan negatif kutba doğru hareketleri sonucu ortaya çıkan elektrik akımı elektrik arkını oluşturur.

Doğru akımla kaynak işleminde elektrod negatif (-) kutup olan katotta, iş parçası pozitif (+) kutup olan anoda bağlanabildiği gibi bu durumun tam terside uygulanabilir. Elektrod ve iş parçasına bağlanan kutuplar ancak doğru akımla kaynakta kullanıcı tarafından değiştirilebilir. (ASM,1993)

### 5.1.2 Alternatif Akımla Kaynakta Dalga Formu

Alternatif akım ise doğru akım gibi sabit değer ve sabit kutupta oluşmayan, belirli bir periyotta pozitif ve negatif kutuplar arasında gidip gelen bir akım çeşididir (Şekil 5.3). (Talkington, 1998)

Alternatif akımın her bir periyotta negatif ve pozitif kutuplar arasında geçiş yapması kaynak işlemi esnasında arkın kararsızlaşmasına sebep olur. Arkın bu kararsızlığı akımın bir periyotta iki defa sıfır değerine ulaşmasından kaynaklanır. Örneğin frekansı 50 Hz olan bir alternatif akımda akım saniyede 100 defa sıfır olur. Yani ark kaynak sırasında 100 defa yanıp söner. Bu durumda arkın kararlılığı ve kaynak kalitesi düşük olur. (Cary, 1998)



Şekil 5.3 Alternatif akım sinüs dalga formu (Cary, 1998)

Dalga şekli, sinüs eğrisi formunda olan akım, tepe noktasındaki değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine doğru belirli bir eğimle düşüşe geçer. Bu düşüşte belirli bir ölü zamanda arktan akım akmaz. Bu süre zarfında iyonizasyon ve disasyasyon sayısına göre rekombinasyon sayısı azalır, ark iletkenliği ve gücü düşer, ark stabilitesi kötüleşir. Bu nedenle kaynak dikiş kalitesi düşer. Bu ölü zamanı azaltmak ve ark stabilitesini arttırmak için alternatif akımın frekansı büyütülür, ark geriliminin genliği büyütülür ve hatta darbeleri alternatif akımla kaynakta olduğu gibi ölü zamanı sıfıra yaklaştırmak için alternatif akımda kare dalga formu kullanılır. (Karadeniz, 2009)

### ***5.1.3 Alternatif Akımla Kaynakta Değişken Kutuplama Durumu ve Dalga Formunda Çeşitlilik***

Alternatif akım sinüs dalga formunun kaynak arkında yarattığı karasızlık ve kaynak dikiş formundaki kötüleşme sinüs dalga formunda çeşitli iyileştirmeler yapılmasını ve yüzdeliği-ya da değeri ayarlanabilen- değişken kutuplama durumunun değişken kutuplama durumunun ortaya çıkmasını sağlamıştır. (Talkington, 1998)

Değişken polarite durumu alternatif akım dalga formuyla benzerdir ancak bu durumda pozitif ve negatif kutup dengesi değiştirilebilir. Kutuplama oranlarının değişmesi de karşımıza alternatif akım dalga formunun alışılmış formundan farklı formlar almasını sağlar. (Talkington, 1998)



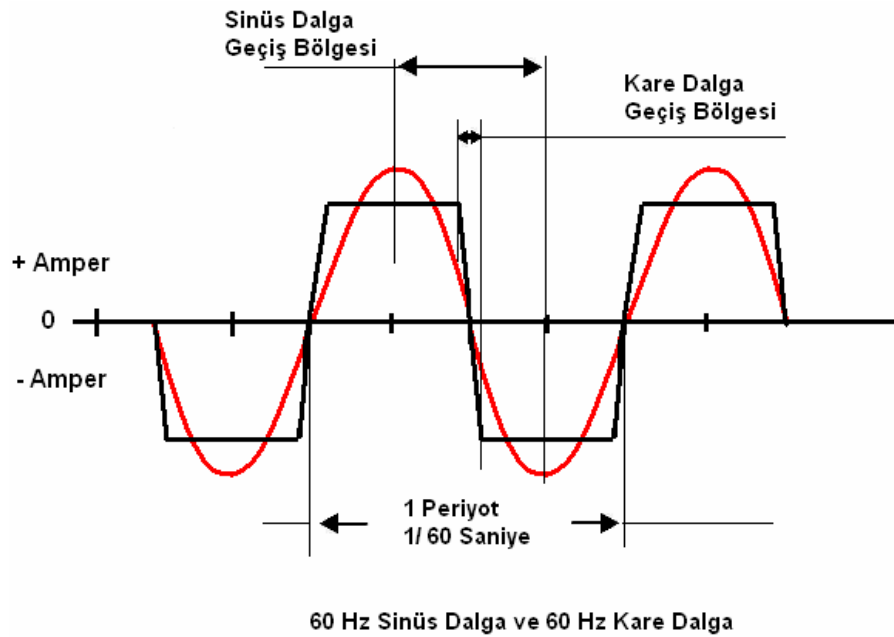
Dalga formunda yapılan bu iyileştirmeler dalga formu kontrol teknolojisi adı altında incelenir. (Karadeniz, 2009)

Dalga formu kontrol teknolojisinin kullanıldığı alternatif akımda, dalga formunda yapılan iyileştirmeler; kare dalga formunda akım akış süresi kontrolü, akım genliği kontrolü ve frekans kontrolüdür. (ASM, 1993)

#### 5.1.4 Kare Dalga Formu ve Sinüs Dalga Formunun Karşılaştırılması

Alternatif akımda sinüs dalga formundaki arkın stabilitesini artırmak ve kutup geçişlerindeki ölü zamanı sıfıra yaklaştırmak için kare dalga formu kullanılır. (Karadeniz, 2009)

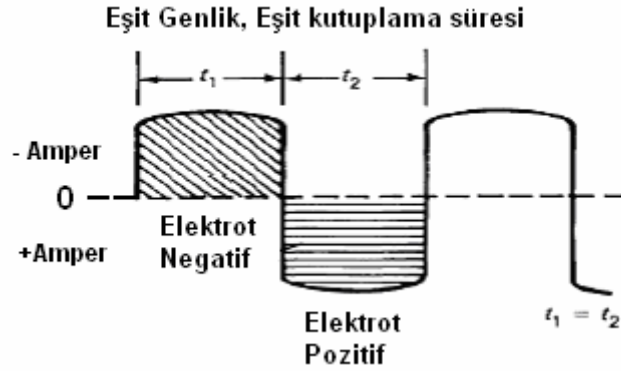
Şekil 5.4’de alternatif akımda sinüs dalga formu ile kare dalga formu aynı şekil üzerinde gösterilmiştir ve sinüs dalga formu ile kare dalga formu geçiş bölgeleri karşılaştırılmıştır. Burada sinüs dalganın akımın tepe noktaları arasındaki geçiş bölgesinde oluşturduğu karasız ark istenmeyen bir durumdur. Bu durum kare dalga formunda geçiş bölgesinin daralması ile iyileştirilmiştir.



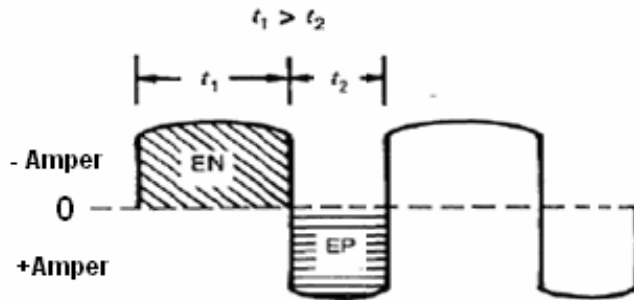
Şekil 5.4 Alternatif akım sinüs dalga formunda ve kare dalga formunda geçiş bölgeleri (ASM,1993)

### 5.1.5 Akım Akış Süresi Kontrolü

Sinüs dalga formunda akım akış süreleri negatif ve pozitif kutup için eşittir (Şekil 5.5). Dalga formunun kontrol edildiği durumda ise alternatif akımın negatif ve pozitif kutuplardaki akım akış süreleri kullanıcı isteğine bağlı olarak farklılık gösterir (Şekil 5.6). Kaynak dikiş formunda pozitif kutuplamanın etkilerinden yararlanmak istenilen durumlarda dalga formunun pozitif kutupta kalma süresi artırılır. Söz konusu negatif kutuplamanın etkilerinden yararlanılmak ise dalga formu negatif kutupta daha uzun süre kalması sağlanır. (ASM, 1993)



Şekil 5.5 Alternatif akımda kutuplama sürelerinde eşitlik durumu (ASM, 1993)

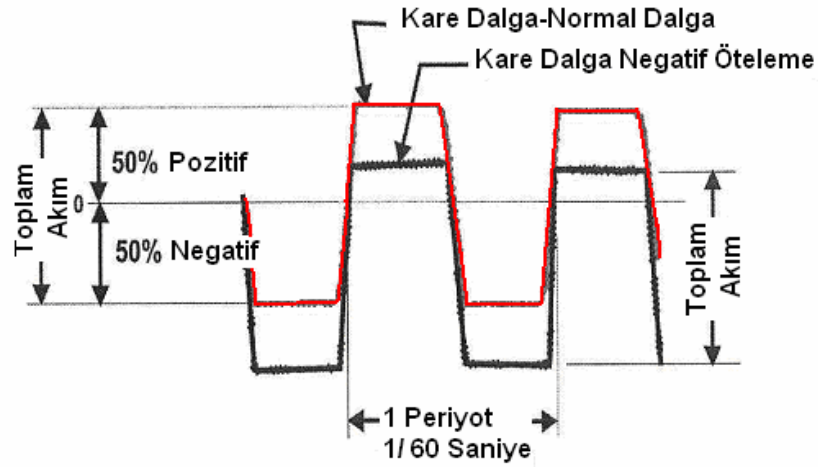


Şekil 5.6 Alternatif akımda kutuplama sürelerinin farklı olduğu durum (akım akış süresi kontrolü) (ASM, 1993)

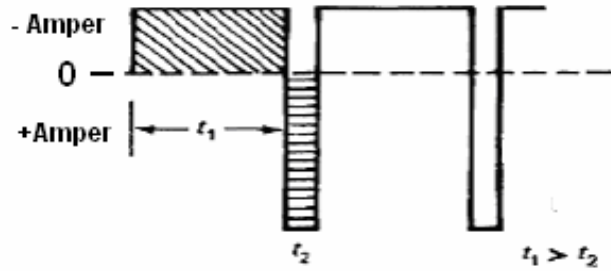
### 5.1.6 Akım Genlik Kontrolü

Akımın negatif ya da pozitif kutupta bulunma durumunu sadece süre olarak değil aynı zamanda akımın genlik değerini değiştirerek de kontrol altına alınabilir. Pozitif ve negatif kutuplama durumlarının genlikleri artırılarak ya da azaltılarak istenilen kaynak dikişine ulaşılabilir. (ASM, 1993)

Akımın negatif ve pozitif kutuplama alanlarında bulunma yüzdesi özellikle demir dışı metallerin kaynak işlemlerinde önemli bir parametredir. Demir dışı metallerin kaynağında akımın öncelikli olarak pozitif kutupta bulunması ve daha sonrasında negatif kutupta bulunması istenir. Negatif ve pozitif kutupta bulunma yüzdeleri genlikte yapılan öteleme ile istenilen değerlere getirilebilir. Şekil 5.8 'de elde edilen dalga formunda kare dalga akımının hem akış süresi değiştirilmiş hem de genlik değiştirilmiştir.



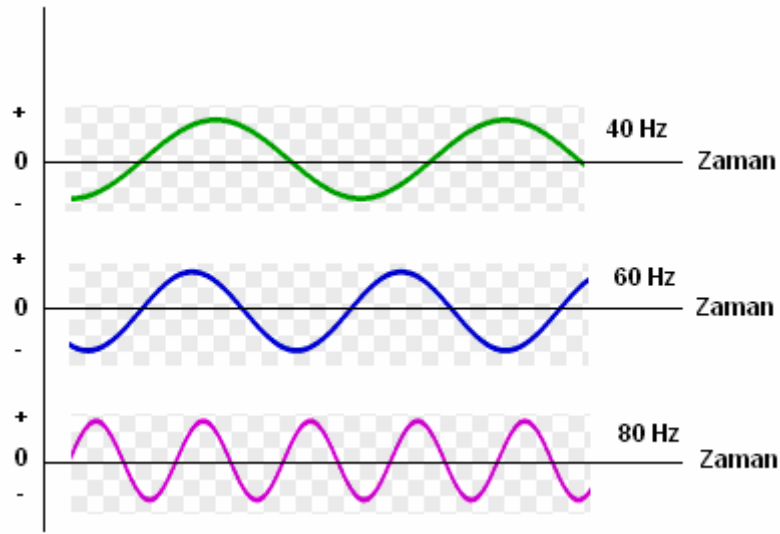
Şekil 5.7 Kare Dalga formunda öteleme ile genlik kontrolü (ASM, 1993)



Şekil 5.8 Kare dalga formunda farklı genlik ve farklı akım akış süresi durumu (ASM, 1993)

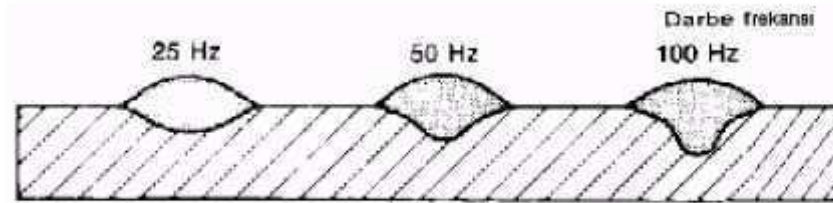
### 5.1.7 Frekans Kontrolü

Dalga formunda kontrol edilen diğer bir değişken de frekanstır. Frekans değerinin artırılması sinüs formundaki dalganın sıfır noktasından geçişini hızlandırır ve böylece arkın ölü zamanda bulunma durumu en aza indirilmiş olur. Arktaki karasızlık azalırken arkın kesiti küçülür ve arkın enerji yoğunluğu artar. (ASM, 1993)



Şekil 5.9 Farklı frekans değerlerinin grafiksel gösterimi (ASM, 2009)

Darbe frekansının yükselmesi, damla sayısını, etkin akım şiddetini, parçaya olan ısı girdisini artırır ve bu da dikiş biçimini etkiler. (Tülbentçi, 1990)

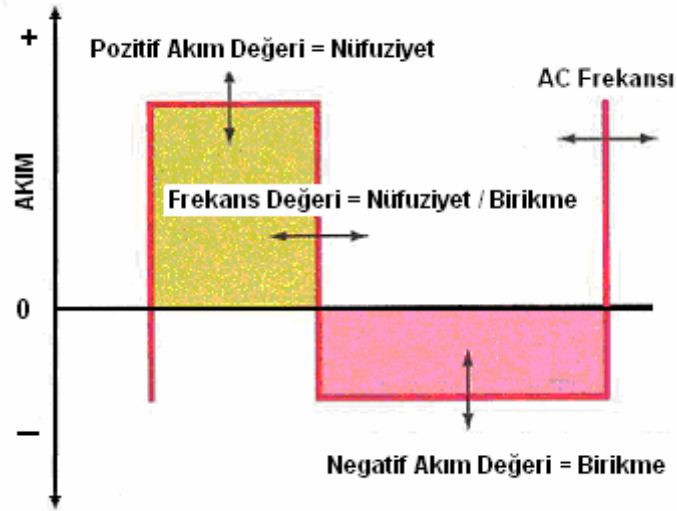


Şekil 5.10 Darbe frekansının kaynak dikiş formuna etkisi (Tülbentçi, 1990)

### 5.1.8 Dalga Formu Kontrolünün Etkileri ve Sonuçları

Kaynak dalga formu kontrolü ile kaynak dikişlerinde istenilen değerlere ve daha ekonomik kaynak dikişlerine ulaşmaya çalışılır. Kaynak işleminde kaynak yapılacak malzemelerin cinsi, seçilen kaynak metodu, kaynak bölgesine olan ısı girdisi, nüfuziyet, elektrot erime oranı gibi özellikler dikkate alınarak dalga formu kontrol teknolojisinin faydalarından yararlanır.

Dalga formu kontrol teknolojisinin etkileri seçilen kaynak yöntemine göre değişkenlik gösterir. Çünkü akımın pozitif ve negatif kutupta bulunma yüzdelerinin etkileri her kaynak yöntemi için aynı değildir. Eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde kaynak dikiş formunda nüfuziyet ve birikme oranı dikkate alındığında bu iki değişkene etkiyen değerler şekildeki gibidir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde akım, frekans ve kutuplama değişikliğinin dikiş formuna etkileri (ASM, 1993)

Pozitif akım değerindeki değişikliğin kaynak dikiş formunda nüfuziyetin değişmesine etki eder. Akım değerinin negatif kutuplamadaki değerindeki artış da kaynak dikiş yüksekliğinin artmasını sağlamaktadır. Frekanstaki değişiklik ise hem nüfuziyet hem de birikme oranında değişikliğe yol açar. (ASM, 1993)

## 5.2 TIG Kaynağında Dalga Formu Kontrol Teknolojisi

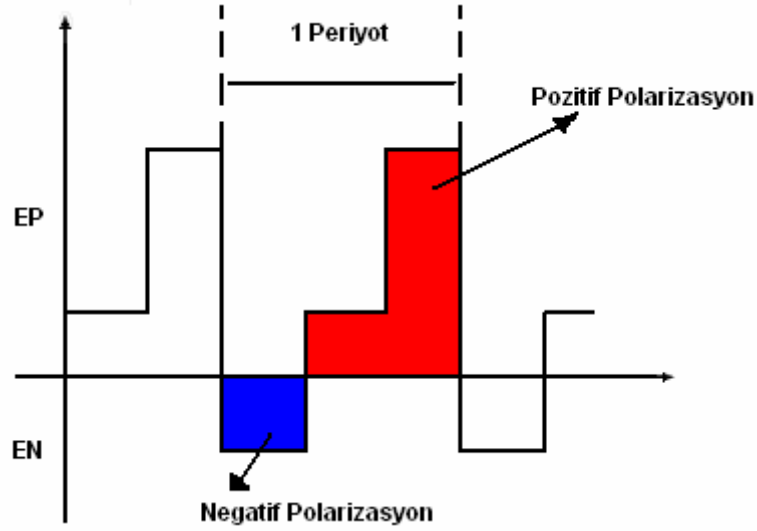
Dalga formu kontrol teknolojisinin kullanıldığı kaynak yöntemlerinden biri olan TIG kaynağında kaynak dikiş formunun özellikleri hem darbeli doğru akım ile hem de alternatif akımda dalga formu kontrol teknolojisinden yararlanılarak düzenlenir. Darbeli doğru akımın dikiş formundaki etkileri ikinci bölümde bahsedilmiştir. Bu bölümde ise alternatif akımda dalga formundaki değişikliklerin dikiş formuna etkilerinden bahsedilecektir.

Özellikle demir dışı metallerin kaynağında önemli yer tutan alternatif akımla kaynak, dalga formundaki iyileştirmeler ile daha da fazla tercih edilmektedir. Demir dışı metallerin yüzeyinde oluşan oksit tabakasının yüzeyden uzaklaştırılması elektrod pozitif kutupta iken gerçekleştiğinden dalga formu kontrolü ile elektrodun daha fazla süre pozitifte kalması sağlanabilmektedir. Bu durum karşımıza geniş ve sığ kaynak dikiş formunun çıkmasına sebep olmaktadır. (Cary, 1998)

Nüfuziyetin artmasının istendiğinde ise elektrodun negatif kutupta olduğu durum, dengelenmiş kare dalgada yapılan öteleme ile artırılarak daha derin nüfuziyetli kaynak dikiş formu oluşturulmaktadır.

## 5.3 MIG Kaynağında Dalga Formu Kontrol Teknolojisi

Eriyen elektrotlu kaynak yöntemlerinden MIG kaynağı, kaynak işleminde doğru akımın kullanıldığı bir yöntemdir. Günümüzde ise değişken kutuplama durumuyla sağlanan dalga formu kontrol teknolojisi ile alternatif akım da MIG kaynağı işlemlerinde kullanılmaktadır. Şekilde görülen grafikte MIG kaynağında dalga formu kontrol teknolojisi ile elde edilen darbeli alternatif akım negatif ve pozitif kutuplamadaki alanlar gösterilmektedir. (Şekil 5.12)



Şekil 5.12 MIG kaynağında darbeli alternatif akımda pozitif ve negatif kutuplama alanları (ASM, 1993)

Alternatif akımın MIG kaynağında kullanıldığı dalga formu kontrol teknolojisi, kaynak dikiş formunda ciddi avantajlar sağlamıştır.

Bunları şu şekilde özetleyebiliriz;

1) Dalga formunun frekans değeri kaynak akım üreticisi tarafından ayarlanabildiğinden esas metale ve elektroda olan ısı girdisi kontrol edilir. Isı girdisi kontrolü eriyen elektrottaki damla sayısına etki eder. Bu sayede kaynak dikişinin mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlanır.

2) Frekans değerindeki artış ile akımın sıfır noktasından geçerken harcadığı süre kısaltılır ve bu sayede arkın kararsızlığı azaltılır.

3) Isı girdisinde sağlanan kontrol arkın konsantrasyonunu artırıyor ve esas metalde meydana gelen çarpımlarında kontrol edilmesini sağlıyor.

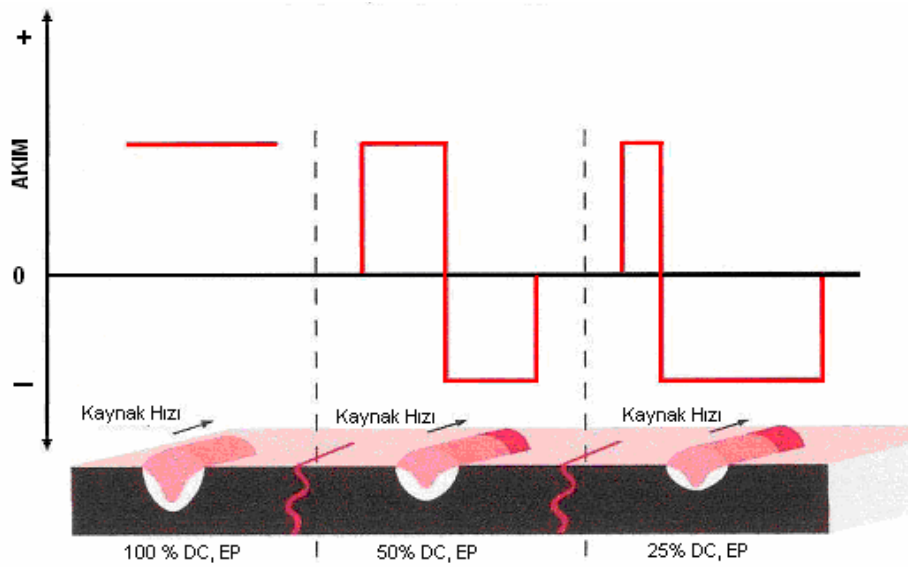
4) Isı girdisi kontrolü ve eriyen elektrottan kopan damlaların adetlerindeki kontrol ince malzemelerin (et kalınlığı= 0,6-1,5 mm) kaynağının yapılmasına olanak sağlamaktadır. Damla kontrolü ince malzemelerle yapılan kaynak işlemlerinde aralık doldurmadaki problemlerin çözülmesini de sağlar.

5) Konvansiyonel kaynak makinalarıyla yapılamayan ince ve kalın parçaların kaynakları (yanma olukları ya da kaynak hataları oluşmadan) dalga formu kontrolü ile yapılabilmektedir.

6) Kaynakta ark üflemesinden kaynaklanan problemler, arkın negatif ve pozitif kutuplama alanlarındaki değerinin kontrolü ile minimuma indirilir.

7) Kaynak dikişlerinde meydana gelen, yanma oluğu, çatlak ve gözenek gibi hataların oluşması en aza indirilir.

8) Kaynak işleminin verimliliğinin artırılması için kaynak hızının artırılması önemli bir parametredir. Akımın negatif ve pozitif kutuplamadaki oranlarının değiştirilmesi ile kaynak hızında artış elde edilebilir (Şekil 5.13). (ASM, 1993)



Şekil 5.13 Kutuplama yüzdelerinin kaynak hızına etkisi (ASM, 2009)

#### 5.4 Tozaltı Kaynağında Dalga Formu Kontrol Teknolojisi

Kaynak arkının koruyucu kaynak tozu altında oluştuğu ve elektrodun eriyerek kaynak dolgusunun oluşmasını sağladığı toz altı kaynağında hem doğru akım hem de alternatif akımlı kaynak üreteçleri kullanılır. Negatif ve pozitif kutupların elektrot ve esas metalde bulunma yüzdeleri toz altı kaynağı ile üretilen kaynak dikişleri için de önemlidir.

Elektrodun negatif kutuba bağlandığı durumlarda, elektrot erime oranındaki artışa bağlı olarak dikiş formunda birikmenin arttığı, elektrodun pozitif kutba bağlandığı durumlarda ise esas metale olan ısı girdisindeki artışa bağlı olarak nüfuziyetin arttığı genel kutuplama prensibinden bilinmektedir. (Cary, 1998)



Kutuplama durumundaki etkiler dikkate alınarak alternatif akımla kaynakta TIG ve MIG kaynaklarında kullanılan dalga formu kontrol teknolojisi toz altı kaynak uygulamaları için de geliştirilmiştir. Bu teknolojinin kullanılmasındaki temel amaç diğer yöntemlerde olduğu gibi kaynak bölgesinin özelliklerini geliştirmektir.

### **5.5 Dalga Formu Kontrol Teknolojisinin Kaynak İşleminin Ekonomisine Etkileri**

Gelişen teknoloji ve kaynak işlemine duyulan ihtiyacın artması kaynak işleminin de günümüz isteklerine cevap verir bir imalat yöntemi olmasını zorunlu kılar. Bu talep kaynak yöntemlerinin daha ekonomik ve daha kaliteli kaynaklı birleştirmeler ortaya çıkarması için yapılan çalışmaların artmasını sağlamaktadır. Bu çalışmaların ürünü olarak ortaya çıkan dalga formu kontrol teknolojisinin kaynak işlemlerinin verimliliğini arttırdığı yapılan testlerde ve üretim faaliyetlerinde görülmektedir. Dalga formu kontrol teknolojisinin kaynak işleminde, kaynak dikişine, esas metale, ısı tesiri altında kalan bölgeye sağladığı iyileştirmelerin kaynak işleminin ekonomikliğine ve verimliliğine etkilerini şöyle açıklayabiliriz;

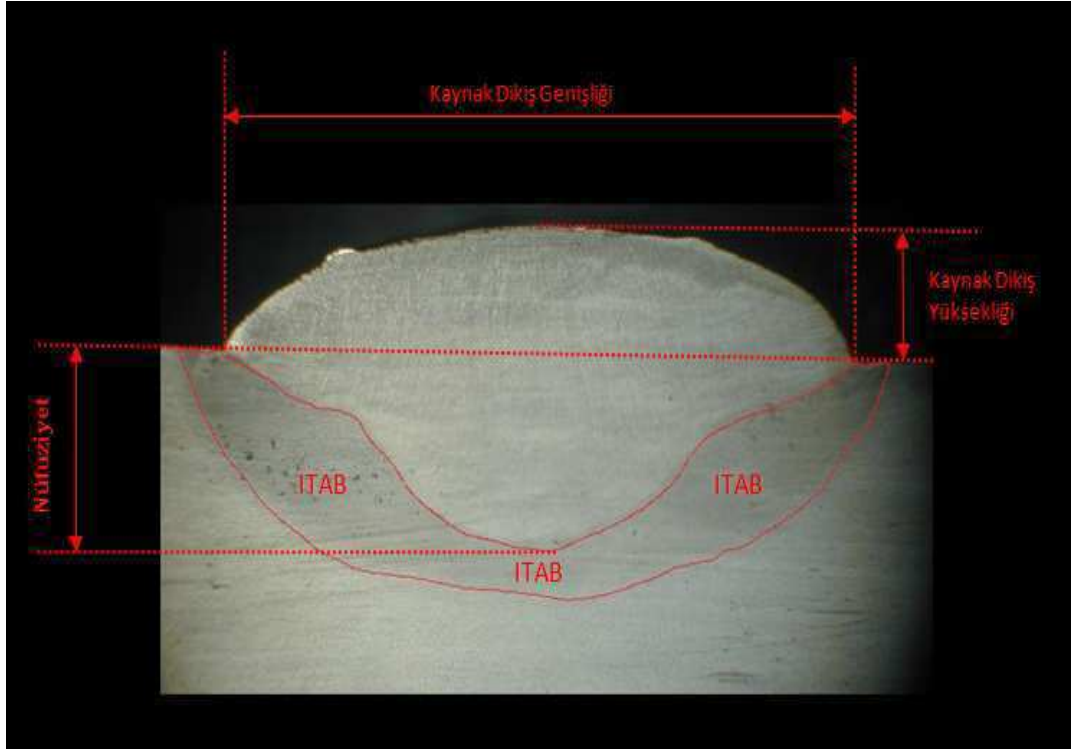
1. Kullanılan makinalar ve kaynak işlemdeki kayıplar en aza indirilerek verimlilik artışı,
2. Kaynak hızında sağlanan artış ile kaynak süresinin azalması,
3. Kaynak bölgesindeki birikme, nüfuziyet ve ısı girdisi kontrolünün sağlanması ve böylece istenen kaynak dikiş formunun elde edilmesi,
4. Kaynak bölgesinde oluşan hataların en aza inmesi ve daha az tahribatsız muayene yapılması,
5. Kaynak akım üreticilerinin ebatlarının küçülmesi ve kolay taşınması,
6. Kaynak işleminin kararlılığının sağlanması otomasyon uygulamalarına imkan verir ve böylece daha az ayar ve daha az hatalı kaynak işlemi sağlanır. (ASM, 1993)

## BÖLÜM ALTI

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 6.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler

Deneysel çalışmalarda TIG, MIG ve Toz altı kaynak yöntemlerinde kutup değişikliğinin kaynak dikiş formu üzerinde etkileri incelenmiştir. Elde edilen kaynak dikişlerinde, kaynak dikiş formunun dikiş yüksekliği, dikiş genişliği ve nüfuziyet değerlerinin ters ve düz kutuplama durumunda akım ve kaynak hızı ile değişimi incelenmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Toz altı kaynak yöntemi ile kaynaklanmış numunenin kesit alanında kaynak dikiş formu değişkenlerinin gösterilişi

Üç farklı kaynak yöntemi ile yapılan deneysel çalışmalarda deney numunesinin kimyasal özelliklerinin değişiklik göstermemesi için tek tip bir malzeme seçilmiştir. Ancak kaynak yöntemlerinin farklılığından dolayı kullanılan ilave malzemeler (elektrot, kaynak tozu vb.) çeşitlilik gösterir.

Deney numunelerine herhangi bir kaynak ağzı açılmamış kaynak dikişleri direk parça yüzeyine çekilmiştir. Kaynak işleminden sonra iç yapı incelenmesi için deney numuneleri su soğutmalı tezgahta 15 mm x 30 mm boyutlarında kestirilmiştir. İncelenecek yüzeylerde daha iyi bir görüntü alabilmek için deney numuneleri 400, 600 ve 1200' lük zımparalarda zımparalanmıştır. Daha sonra nital (% 85 etil alkol, %15 nitrik asit) solüsyonunda dağlanmıştır. Dağlama işlemi tamamlanan numuneler stereo mikroskopunda incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar ölçekli olarak "D-Tect" programına aktarılmış ve ölçümler alınmıştır.

## 6.2 TIG Kaynağı ile Yapılan Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Ekipman

TIG kaynağı ile yapılan deneylerde akım değeri ve kutuplama değişken seçilerek kaynaklı numuneler hazırlanmıştır. Kaynak hızının sabit olması için TIG kaynak makinası torcu MIG kaynağı ile yapılan çalışmalarda olduğu gibi toz altı kaynak makinasının arabasına (elektrod taşıyıcı ünitesi) bağlanmıştır. Ancak arkın tam bir gaz örtüsü ile korunması ve arkın oluşması için önemli bir parametre olan ark gerilimi (ark boyu) değeri istenen değere getirilememiştir. Bu nedenle bu yöntemdeki testler kaynak operatörü tarafından manuel olarak yapılmıştır. Hız değişkeni sabit değerine yakın tutulmaya çalışılmıştır. Ancak sonuçlar incelenirken hızında üçüncü bir değişken olarak sonuçlara etki ettiği unutulmamalıdır.

TIG kaynağı yöntemindeki testler için kullanılan esas metal;

Malzeme Çeşidi	Kimyasal Değerler								
	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cu	%Al	%Ni	%Fe
Erdemir 6252 (ST52)	0.2	1.60	0.025	0.025	0.55	0.55	0.02	0.012	Geri Kalan

TIG kaynağı için kullanılan diğer ilave malzemeler;

- 1) Kullanılan elektroda ait özellikleri; Çapı = 3,2 mm, %2 toryumlu kırmızı uçlu tungsten elektrot.
- 2) İlave kaynak metali kimyasal bileşimi; östenitik krom nikelli elektrod (çap=3.2 mm).
- 3) Koruyucu gaz; Argon'dur. Gaz akışı testler esnasında 10 l/ dk' dır.

TIG kaynak yöntemi için kullanılan kaynak makinası ve özellikleri;

<b>Precision TIG 375 S</b>	<b>Akım/ Voltaj</b>	<b>Kaynak Akım Aralığı</b>
<b>Gerilim</b>	<b>Çalışma Faktörü</b>	DC: 2-420 A
<b>Faz /Frekans</b>	375 A/ 35 V/ %40	AC: 5-420 A
220-230 V	375 A/ 34 V/ %60	
380-400V		
1 Faz 50/ 60 Hz		



Şekil 6.2 TIG kaynak makinası resmi

### 6.3 TIG Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçları

Tablo 6.1 TIG kaynağı ile yapılan testlere ait değerler ve sonuçlar

	Numune 1*	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
<b>Kutuplama Çeşidi</b>	DCEN	DCEN	DCEN	DCEN	DCEN
<b>Akım (Amper)</b>	50	75	100	125	175
<b>Kaynak Hızı (cm/dk)</b>	40	40	40	40	40
<b>f (parça kalınlığı-mm)</b>	6	6	6	6	6
<b>a (Kaynak dikiş genişliği-mm)</b>		3,58	3,62	4,61	5,02
<b>h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)</b>	-	1,23	0,75	1,27	1,13
<b>p (nüfuziyet-mm)</b>	-	0,73	1,05	1,38	1,67

	Numune 6	Numune 7	Numune 8	Numune 9	Numune 10*
<b>Kutuplama Çeşidi</b>	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP
<b>Akım (Amper)</b>	50	75	100	125	175
<b>Kaynak Hızı (cm/dk)</b>	40	40	40	40	40
<b>f (Parça kalınlığı-mm)</b>	6	6	6	6	6
<b>a (Kaynak dikiş genişliği-mm)</b>	6,82	3,97	5,55	8,54	-
<b>h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)</b>	2,33	1,67	1,36	1,48	-
<b>p (nüfuziyet-mm)</b>	0	0	0,21	0	-

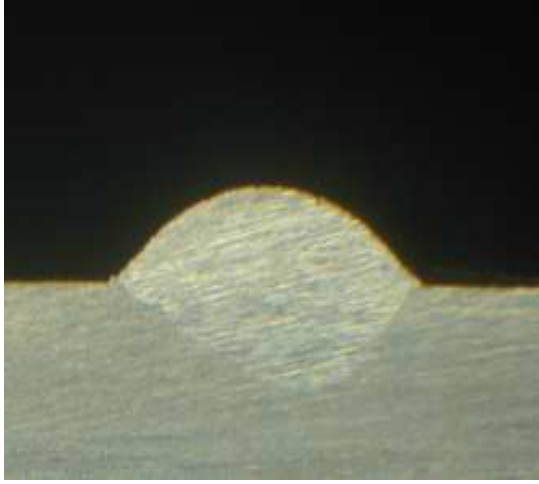
#### Açıklamalar:

\*1 nolu test için akım değeri yeterli gelmediği için ark oluşumu gerçekleşmemiş ve kaynak işlemi yapılamamıştır.

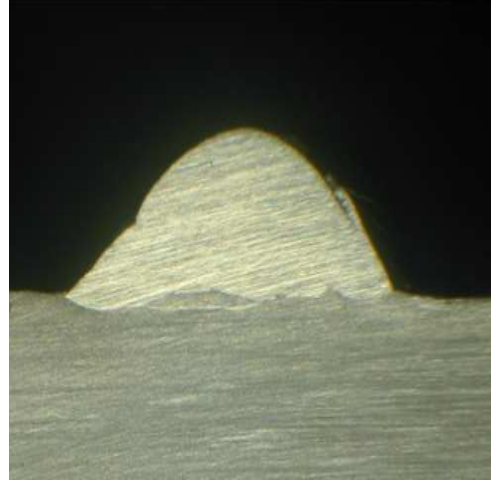
\*\*10 nolu test için akım değeri elektrod pozitif durumunda elektrodun yüklenebileceği akım değerinin üzerinde çıkmıştır. Kaynak yapılmaya çalışılmış ancak başarılı olunamamıştır.

### 6.3.1 TIG Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırması

Deney sonuçların ait kesit ve dikiş görüntüleri;



Şekil 6.3 TIG kaynağı test numunesi kesit görüntüsü. Numune 1, doğru akım elektrod negatif kutuplama



Şekil 6.4 TIG kaynağı test numunesi kesit görüntüsü. Numune 6, doğru akım elektrod pozitif kutuplama



Şekil 6.5 Numune 1 kaynak dikiş görüntüsü. (Doğru akım elektrod negatif kutuplama)



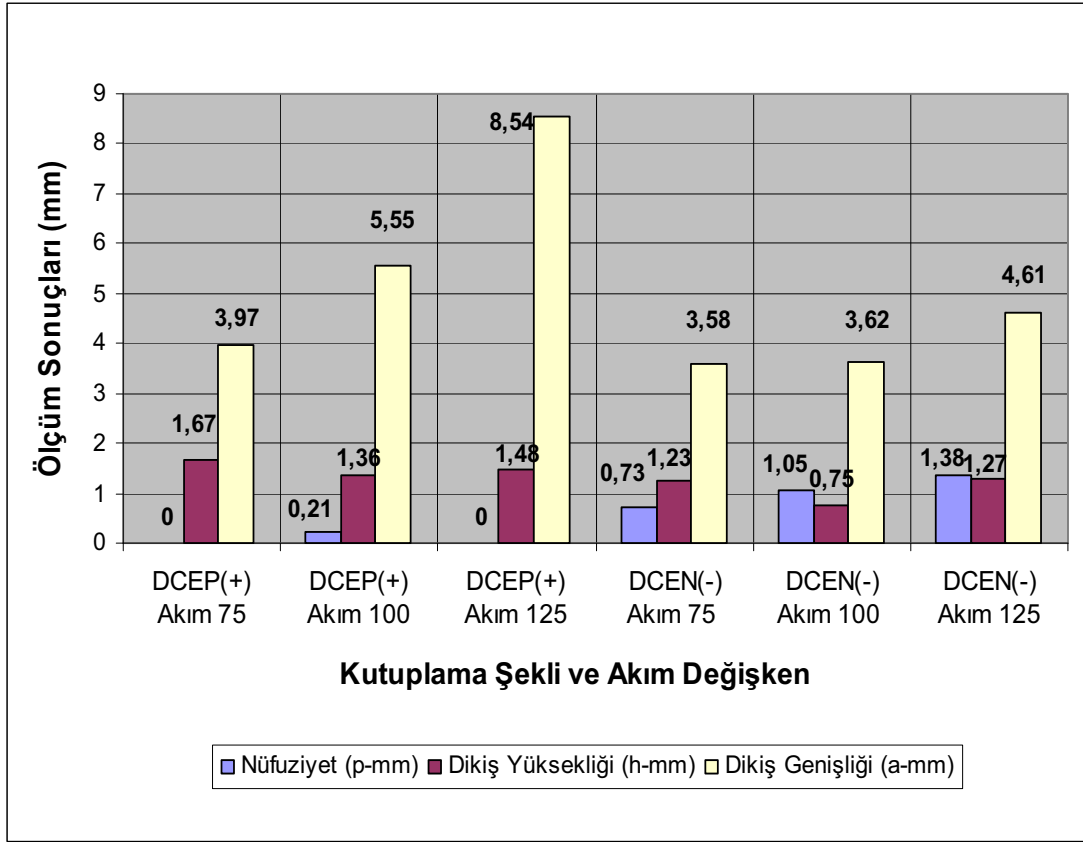
Şekil 6.6 Numune 6 kaynak dikiş görüntüsü. (Doğru akım elektrod pozitif kutuplama)

Erimeyen elektrodlu TIG kaynağı ile yapılan numunelerde düz kutuplama durumunda nüfuziyet ters kutuplama durumuna göre daha yüksektir. Hatta ters kutuplama durumunda hiç nüfuziyet olmamış sadece ilave metal erimiştir.

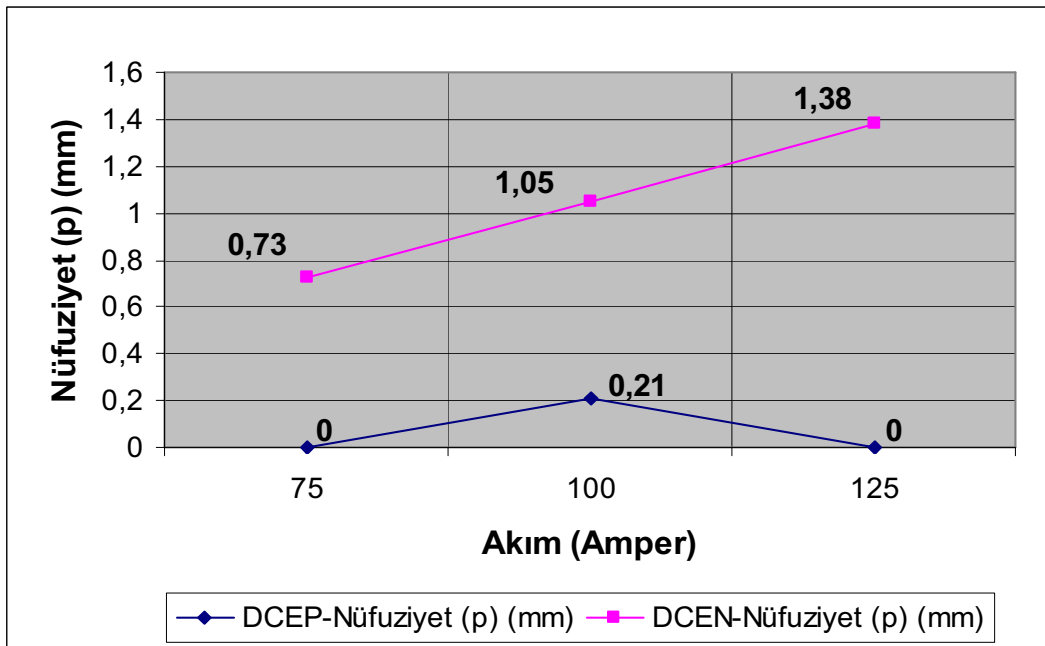
Ters kutuplama durumunda kaynak dikişi düzgün bir dikiş görüntüsü sergilemez. Kaynak esnasında ark çok zor oluşmuş zaman zaman elektrodun ucu eriyerek kaynak banyosuna karışmıştır.

Şekil 6.7 de test yapılan akımlarda nüfuziyet, dikiş genişliği ve dikiş yüksekliği değerleri karşılaştırılmıştır.

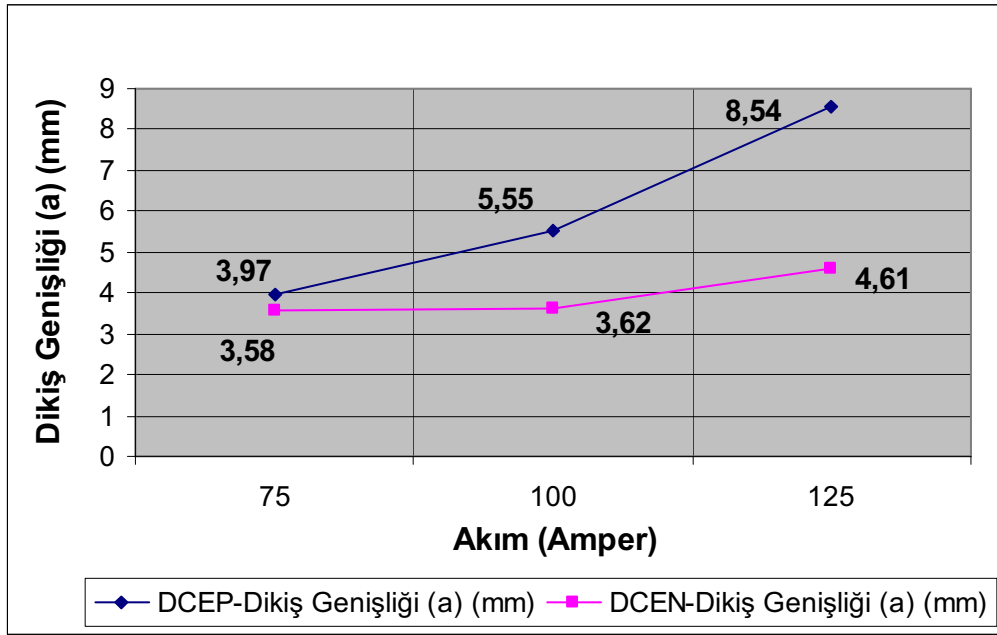
Deney sonuçlarının grafik ile gösterilmesi;



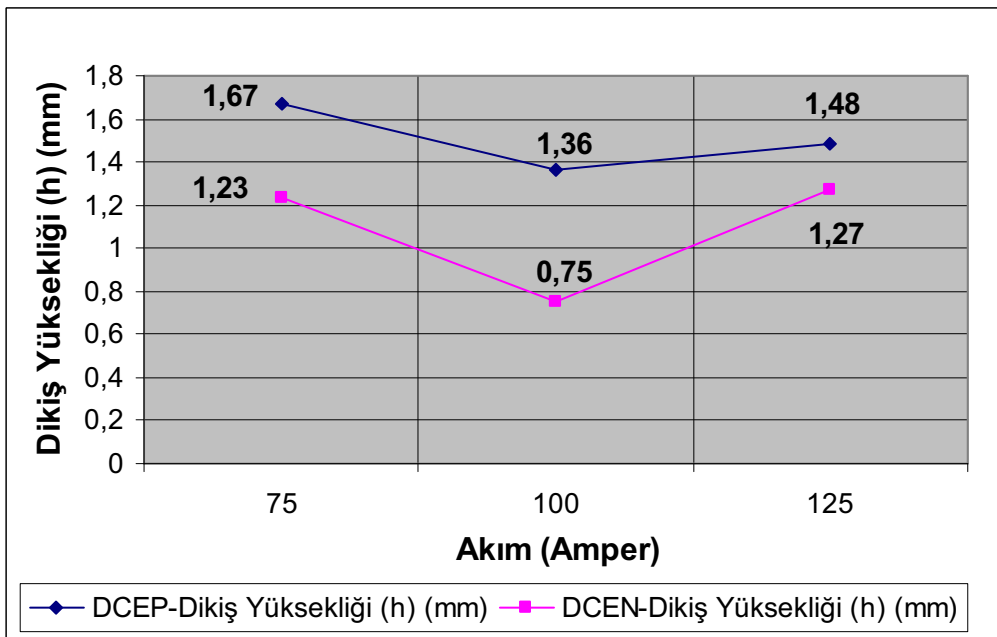
Şekil 6.7 TIG kaynağında kutuplama şekli ve akım değişkenine bağlı nüfuziyet, dikiş yüksekliği ve dikiş genişliği değerleri



Şekil 6.8 TIG kaynağında kutuplama şekli ve akım değişkeninin nüfuziyete (p) etkisi



Şekil 6.9 TIG kaynağında kutuplama şekli ve akım değişkeninin dikiş genişliğine (a) etkisi



Şekil 6.10 TIG kaynağında kutuplama şekli ve akım değişkeninin dikiş yüksekliğine (h) etkisi

Hafif metallerin kaynak işlemleri için önemli olan ters kutuplama ST 52 malzeme için uygun bir kutuplama şekli olmadığı nüfuziyet değerlerinden anlaşılmaktadır.



#### 6.4 MIG Kaynağı ile Yapılan Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Ekipman

MIG kaynağı ile yapılan deneylerde ters ve düz kutuplama durumunda kaynak akımı ve kaynak hızı değiştirilerek deney numunelerine kaynak dikişleri çekilmiştir. Toplamda on altı adet numune hazırlanmıştır. Bunlardan ilk sekiz adedi kaynak akımı değiştirilerek hazırlanmış, diğer sekiz adedinde ise akım değeri sabit tutularak kaynak hızı değiştirilmiştir.

MIG Kaynağı yöntemindeki testler için kullanılan esas metal;

Malzeme Çeşidi	Kimyasal Değerler								
	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cu	%Al	%Ni	%Fe
Erdemir 6252 (ST52)	0.2	1.60	0.025	0.025	0.55	0.55	0.02	0.012	Geri Kalan

MIG kaynağı testlerine kullanılan elektroda ait kimyasal bileşim;

Elektrod Çeşidi	Kimyasal Bileşimi		
	%C	%Si	%Mn
SG 2	0.08	0.85	1.5

Kullanılan SG 2 elektrod çapı: 1.6 mm' dir.

Kullanılan koruyucu gaz; Argon'dur. Gaz akışı testler esnasında 13 l/dk'dır.

Deneysel sırasında kaynak hız değişkeninin sabit tutulabilmesi için torç otomatik bir üniteye bağlanmıştır. Burada otomatik ünite toz altı kaynak makinasının elektrodunu hareket ettiren arabasıdır.



Şekil 6.11 MIG kaynağı testlerinde kullanılan düzeneğe ait fotoğraf

Testlerde kullanılan MIG kaynak makinasına ait özellikler; Murex marka transmig 305 S.

MIG kaynak makinasına ait elektriksel veriler.

3-50 Hz	U1	230V	I1	33A	27A	23A
		400V		19A	16A	13A
		415V		18A	15A	13A
		500V		15A	13A	11A
3-60 Hz	U1	230V	I1	33A	27A	23A
		440V		17A	14A	12A
		550V		14A	12A	10A

Tablo 6.3 MIG kaynağı ile ters ve düz kutuplamada kaynak akımı ve hızı değiştirilerek kaynaklanmış numunelere ait işlem parametreleri ve ölçüm sonuçları.

	Numune 4	Numune 3	Numune 2	Numune 1
<b>Kutuplama Çeşidi</b>	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP
<b>Akım (Amper)</b>	200	220	250	275
<b>Gerilim (Volt)</b>	20	22	26	28
<b>Kaynak Hızı (cm/dk)</b>	50	50	50	50
<b>f (parça kalınlığı-mm)</b>	10	10	10	10
<b>g (ITAB üst genişliği-mm)</b>	10,11	10,78	11,84	13,62
<b>a (Kaynak dikiş genişliği-mm)</b>	7,11	7,78	8,84	10,62
<b>h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)</b>	3,23	3,45	3,76	4,33
<b>p (nüfuziyet-mm)</b>	1,42	2,53	3,21	3,57

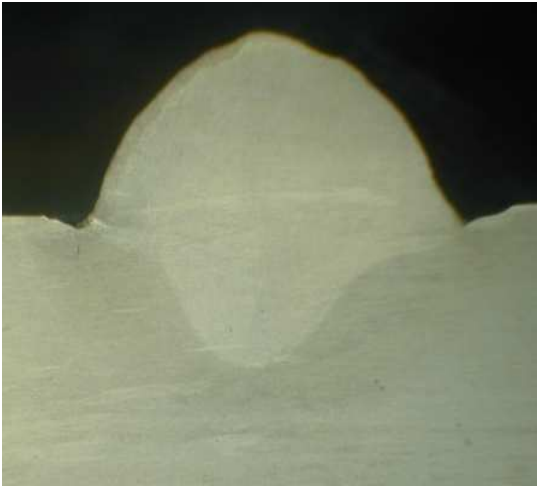
	Numune 8	Numune 7	Numune 6	Numune 5
<b>Kutuplama Çeşidi</b>	DCEN	DCEN	DCEN	DCEN
<b>Akım (Amper)</b>	200	220	250	275
<b>Gerilim (Volt)</b>	30	33	35	38
<b>Kaynak Hızı (cm/dk)</b>	50	50	50	50
<b>f (parça kalınlığı-mm)</b>	10	10	10	10
<b>g (ITAB üst genişliği-mm)</b>	6,62	7,43	10,02	12,61
<b>a (Kaynak dikiş genişliği-mm)</b>	5,62	6,43	8,02	9,61
<b>h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)</b>	4,91	5,42	5,74	5,41
<b>p (nüfuziyet-mm)</b>	0,55	0,84	1,73	2,11

	Numune 12	Numune 11	Numune 10	Numune 9
<b>Kutuplama Çeşidi</b>	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP
<b>Akım (Amper)</b>	200	200	200	200
<b>Gerilim (Volt)</b>	26	26	26	26
<b>Kaynak Hızı (cm/dk)</b>	40	60	80	100
<b>f (parça kalınlığı-mm)</b>	10	10	10	10
<b>g (ITAB üst genişliği-mm)</b>	8,91	6,95	7,21	6,91
<b>a (Kaynak dikiş genişliği-mm)</b>	7,71	6,85	4,21	3,91
<b>h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)</b>	3,74	2,85	2,52	1,67
<b>p (nüfuziyet-mm)</b>	1,63	1,2	0,84	0,62

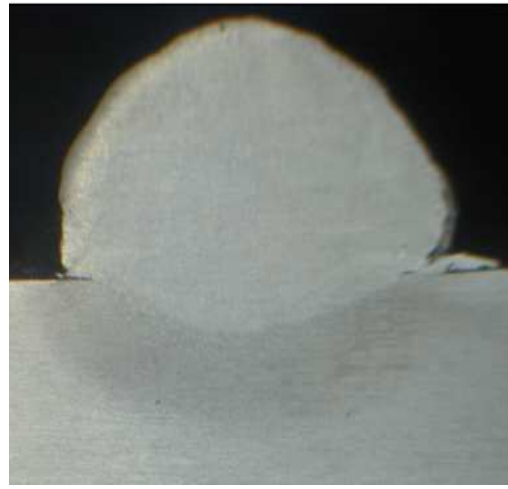
	Numune 16	Numune 15	Numune 14	Numune 13
<b>Kutuplama Çeşidi</b>	DCEN	DCEN	DCEN	DCEN
<b>Akım (Amper)</b>	200	200	200	200
<b>Gerilim (Volt)</b>	32	32	32	32
<b>Kaynak Hızı (cm/dk)</b>	40	60	80	100
<b>f (parça kalınlığı-mm)</b>	10	10	10	10
<b>g (ITAB üst genişliği-mm)</b>	8,38	7,84	5,36	4,34
<b>a (Kaynak dikiş genişliği-mm)</b>	8,28	7,74	5,26	4,24
<b>h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)</b>	4,92	4,21	4,32	2,98
<b>p (nüfuziyet-mm)</b>	0,84	0,56	0,11	0,03

#### 6.4.1 MIG Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 6.3’de görüldüğü gibi 16 adet test numunesi hazırlanmıştır. Deney sonuçları için numunelerin kesit alanları incelenmiştir. Ve çıkan ölçüm sonuçları aynı tabloda kayıt edilmiştir. Şekil 6.11 ve 6.12 kaynak akımının değişken olduğu durum için elektrod pozitif ve negatif ile kaynaklanan numunelere ait kesit görüntüleridir. Ters kutuplama durumu ile kaynak yapılmış numunelerde belirgin bir nüfuziyet ve kaynak dikiş kökü görülürken düz kutuplama ile yapılmış numunelerde nüfuziyet düşüktür.

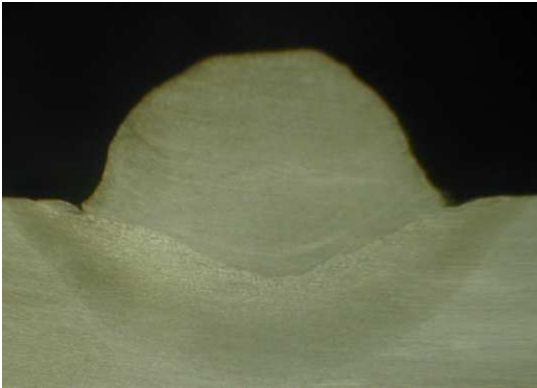


Şekil 6.11 MIG kaynağı test numunesi kesit görüntüsü, numune 1, ters kutuplama

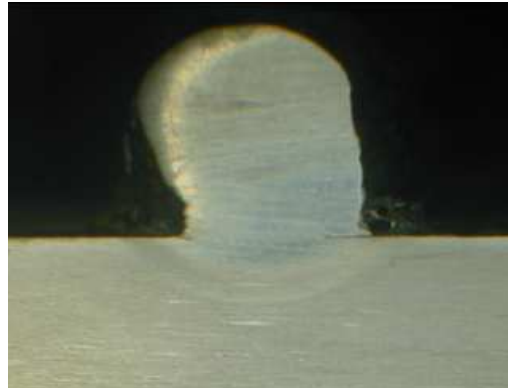


Şekil 6.12 MIG kaynağı test numunesi kesit görüntüsü, numune 5, düz kutuplama

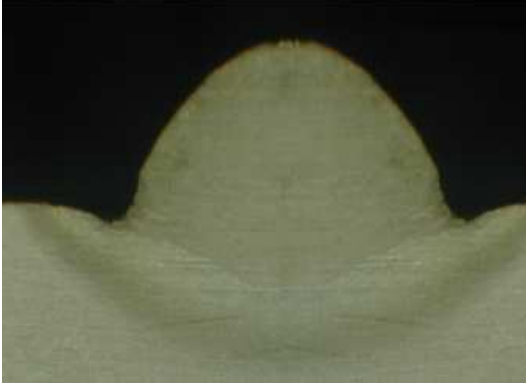
Şekil 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16 kaynak hızının değişken olduğu durum için elektrod pozitif ve negatif ile kaynaklanan numunelere ait kesit görüntüleridir.



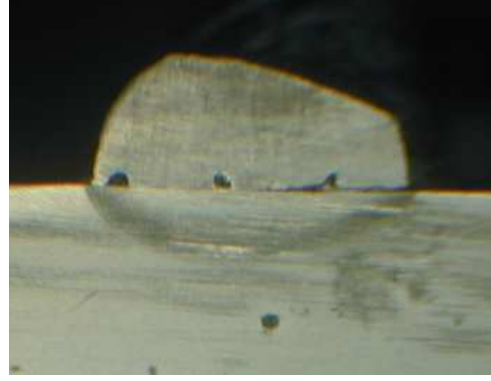
Şekil 6.13 MIG kaynağı test numunesi, numune 12, ters kutuplama



Şekil 6.14 MIG kaynağı test numunesi, numune 16, düz kutuplama



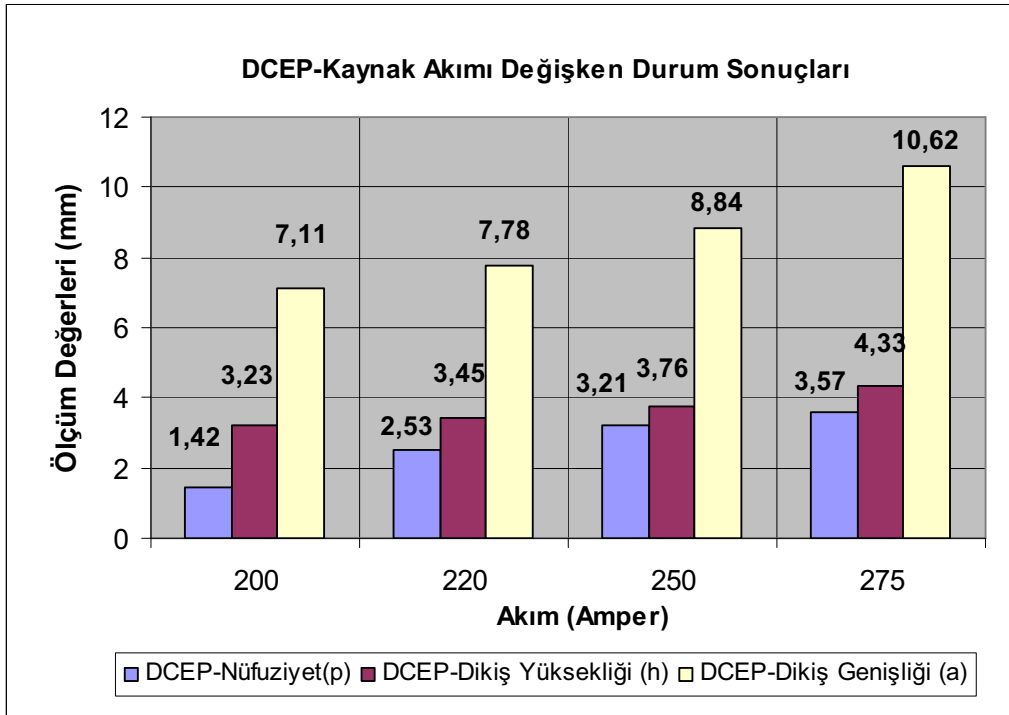
Şekil 6.15 MIG kaynağı test numunesi,  
numune 9, ters kutuplama



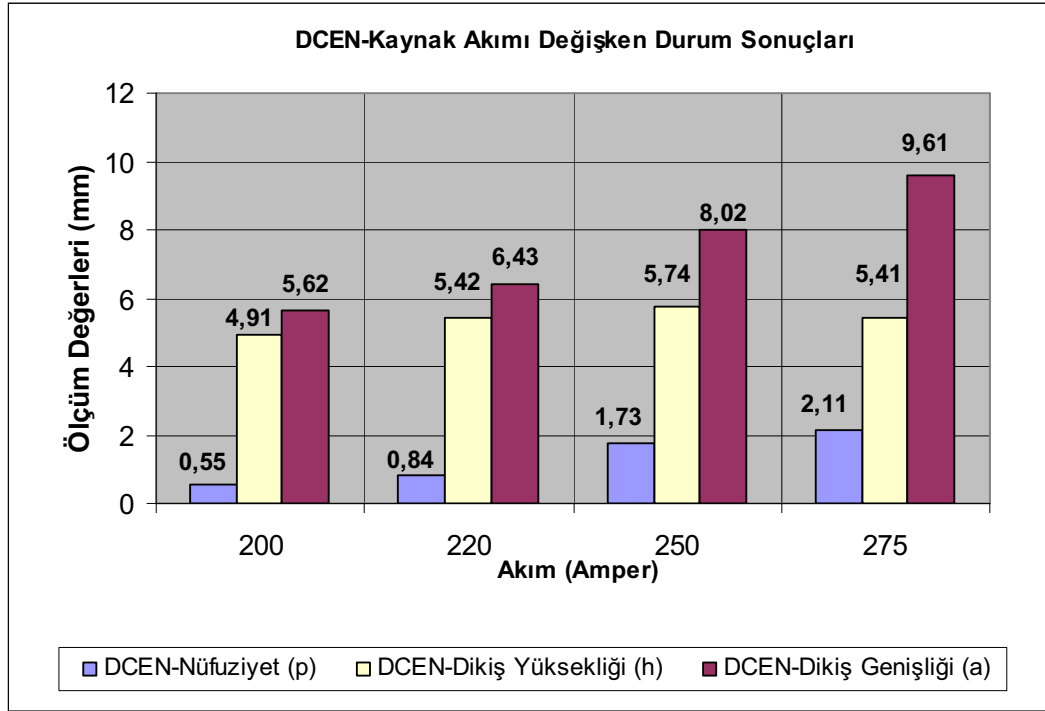
Şekil 6.16 MIG kaynağı test numunesi,  
numune 13, düz kutuplama

Hızın değişken seçildiği durumda kaynak hızı arttıkça düz kutuplama durumu için nüfuziyet çok azalmıştır.

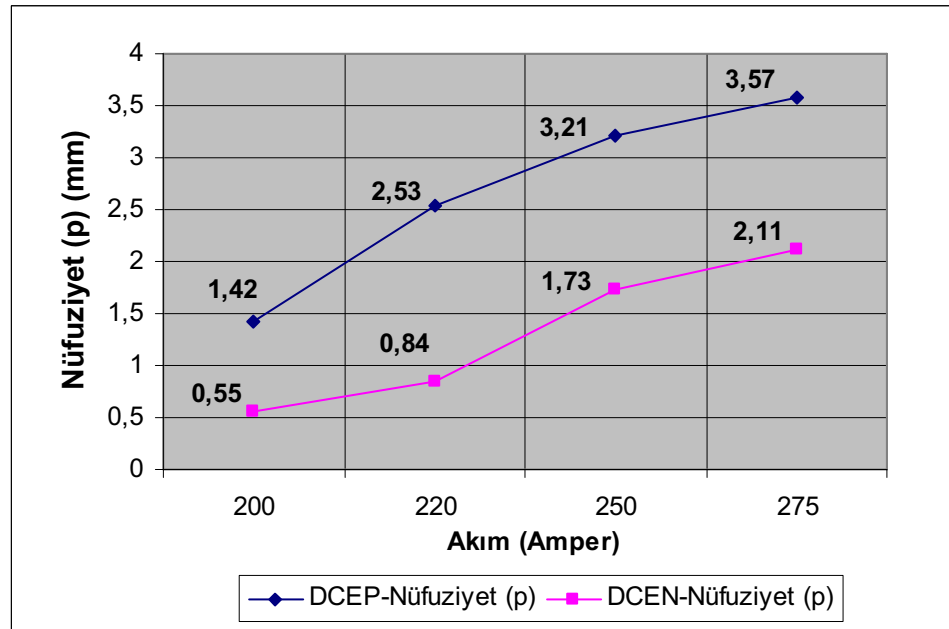
Deneyle sonuçunda oluşan değerler aşağıdaki grafiklere aktarılmıştır.



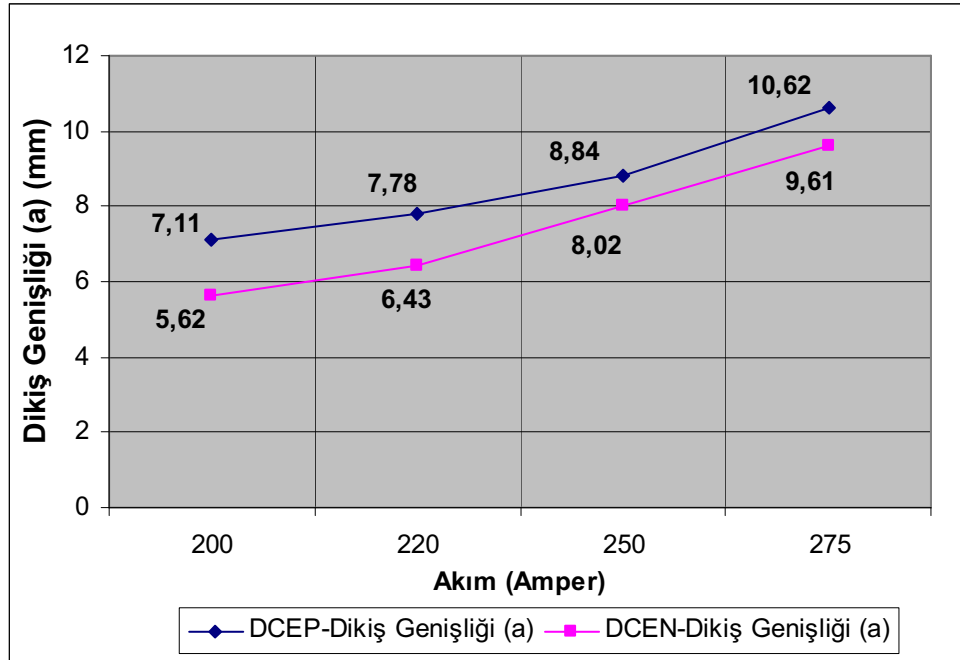
Şekil 6.17 MIG kaynağı ters kutuplama (DCEP) durumunda kaynak akımının nüfuziyet, dikiş yüksekliği ve kaynak dikiş genişliğine etkisi



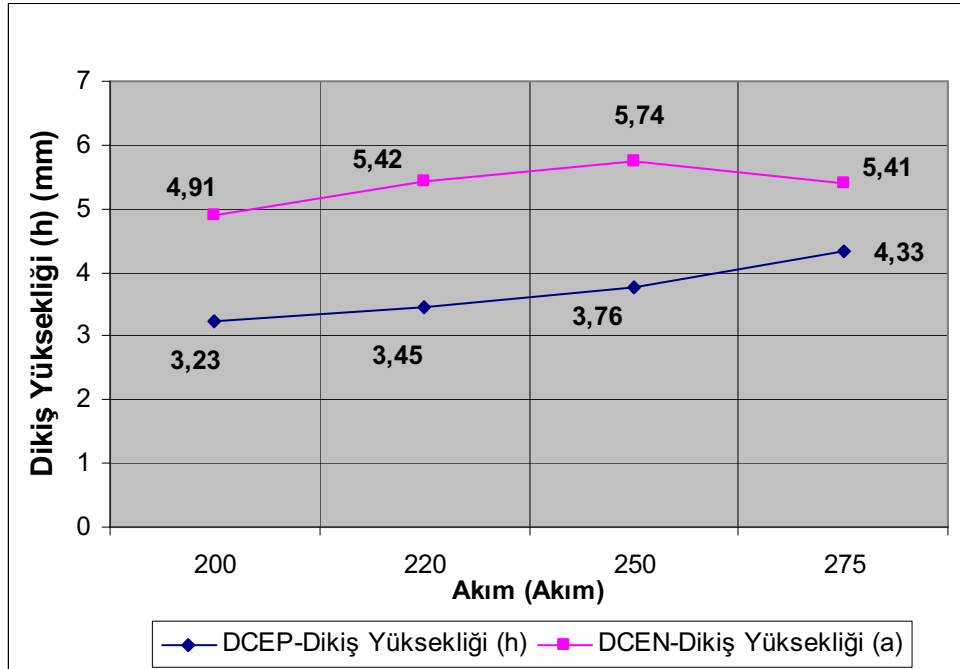
Şekil 6.18 MIG kaynağı düz kutuplama (DCEN) durumunda kaynak akımının nüfuziyet, dikiş yüksekliği ve kaynak dikiş genişliğine etkisi



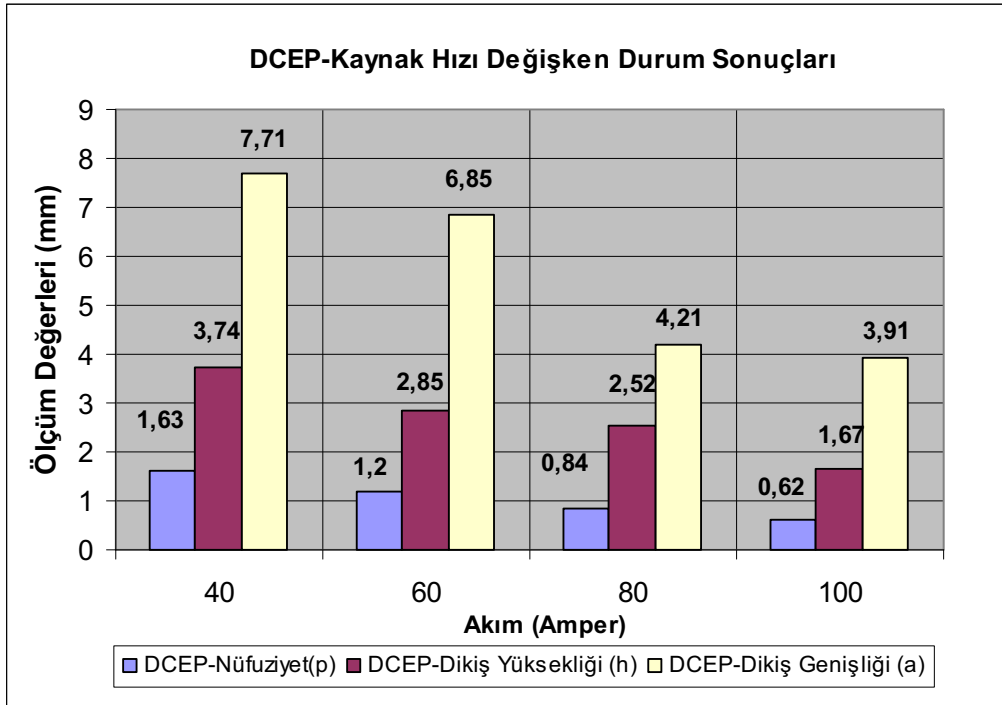
Şekil 6.19 MIG kaynağında kaynak akımının ters ve düz kutuplamada nüfuziyete (p) etkisi



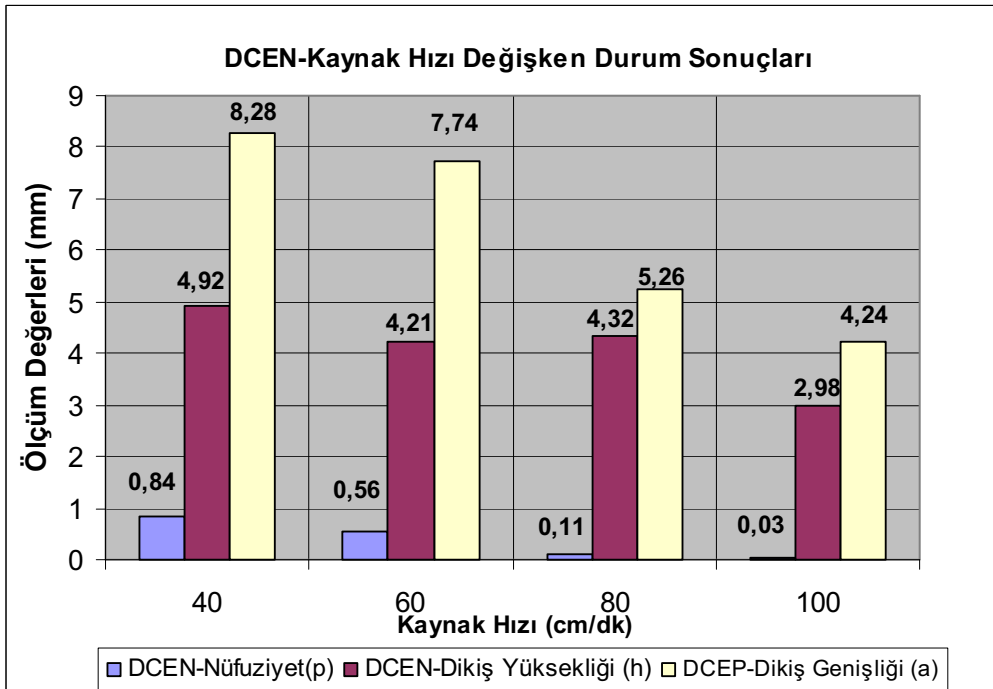
Şekil 6.20 MIG kaynağında kaynak akımının ters ve düz kutuplamada dikiş genişliğine (a) etkisi



Şekil 6.21 MIG kaynağında kaynak akımının ters ve düz kutuplamada dikiş yüksekliğine (h) etkisi

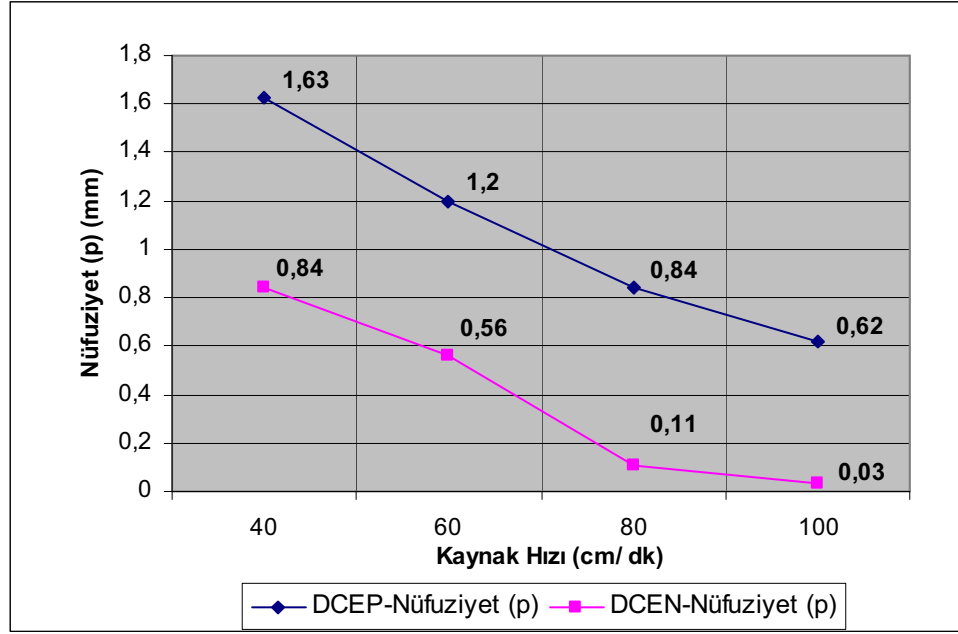


Şekil 6.22 MIG kaynağı ters kutuplama (DCEP) durumunda kaynak hızının nüfuziyet, dikiş yüksekliği ve kaynak dikiş genişliğine etkisi

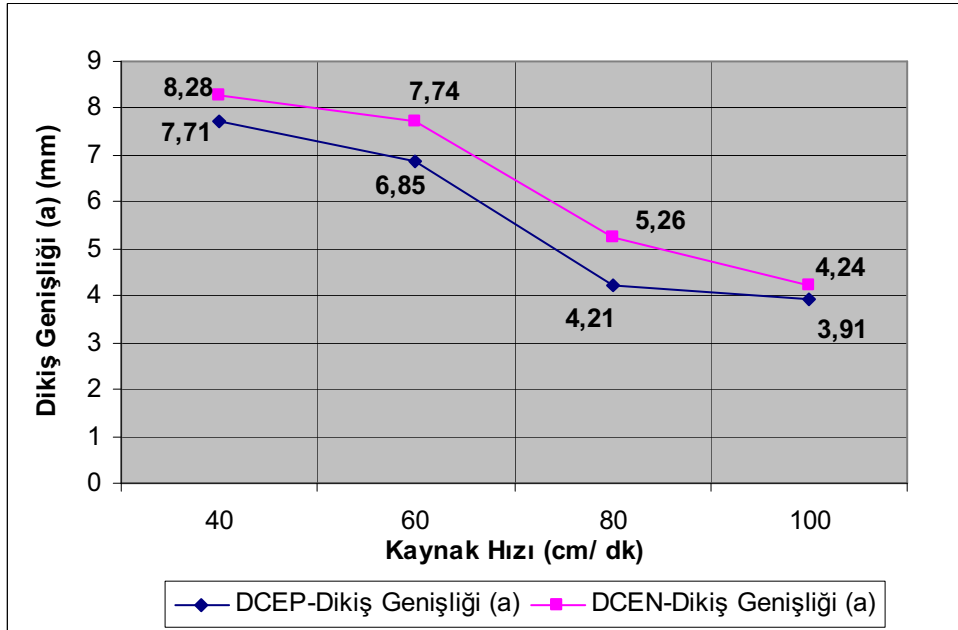


Şekil 6.23 MIG kaynağı düz kutuplama (DCEN) durumunda kaynak hızının nüfuziyet, dikiş yüksekliği ve kaynak dikiş genişliğine etkisi

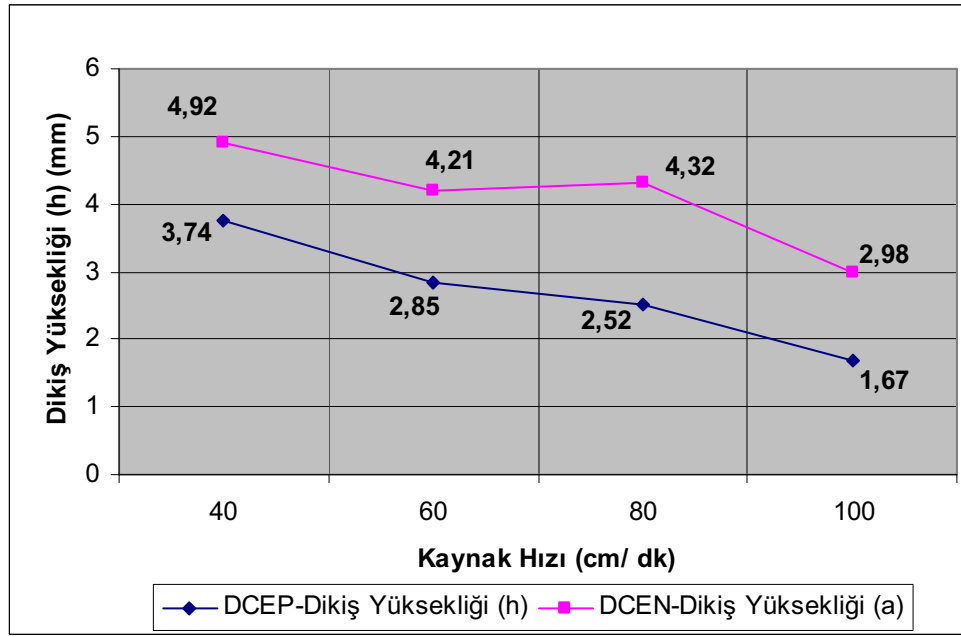




Şekil 6.24 MIG kaynağında kaynak hızının ters ve düz kutuplamada nüfuziyete (p) etkisi



Şekil 6.25 MIG kaynağında kaynak hızının ters ve düz kutuplamada dikiş genişliğine (a) etkisi



Şekil 6.26 MIG kaynağında kaynak hızının ters ve düz kutuplamada dikiş yüksekliğine (h) etkisi

Şekillerden de görüldüğü gibi MIG kaynağı için ters kutuplama durumu düz kutuplama durumuna göre daha doğru bir seçimdir. Düz kutuplama durumunda oluşan sıçrıntı ve yetersiz nüfuziyet kaliteli bir kaynak dikişi için kabul edilemez değerlerde olduğu görülmüştür.

### 6.5 Tozaltı Kaynağı ile Yapılan Deneylerde Kullanılan Ekipman

Toz altı kaynağı ile yapılan deneylerde ters ve düz kutuplama durumları için akım ve kaynak hızı değiştirilerek on altı adet numune hazırlanmıştır. İlk sekiz numunede kaynak hızı sabit ve kaynak akımı ile kutuplama durumu değiştirilmiştir. Sonraki sekiz numunede ise akım sabit kaynak hızı ve kutuplama durumu değiştirilerek kaynak dikiş formu incelenmiştir.

Toz altı kaynağı ile yapılan testler için kullanılan esas metal;

Malzeme Çeşidi	Kimyasal Değerler								
	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cu	%Al	%Ni	%Fe
Erdemir 6252 (ST52)	0.2	1.60	0.025	0.025	0.55	0.55	0.02	0.012	Geri Kalan

Kullanılan S 2 elektrodun çapı: 3.2 mm ve kimyasal bileşimi aşağıdaki gibidir;

Elektrot Çeşidi	Kimyasal Bileşimi				
	%C	%Si	%Mn	%S	%Cu
S 2	0.05	0.2	1.2	0.020	0.15

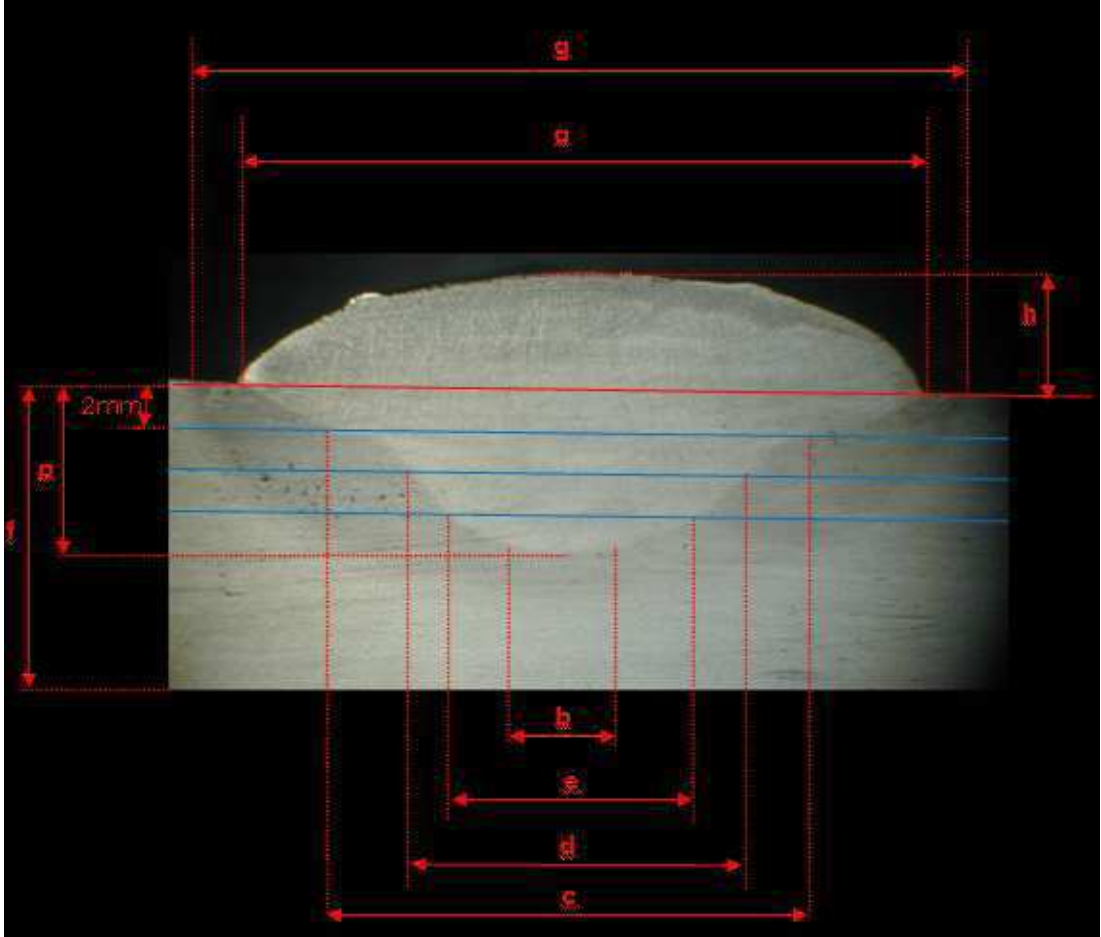
Koruyucu atmosfer için L-760 nötr kaynak tozu kullanılmıştır.

Toz altı kaynak testlerinin yapıldığı makina Messer Greisheim toz altı kaynak makinasıdır.



Şekil 6.27 Toz altı kaynak makinası fotoğrafı

Toz altı kaynağı ile yapılan testlerde daha yüksek akım şiddetleriyle çalışılmıştır. Bu sebepten numunelerdeki nüfuziyet değerleri yüksektir. Numunelerin kesitleri alındıktan sonra ana metal nüfuziyet bölgesi boyunca 2 mm aralıklara bölünmüş ve bu hatlardaki kaynak dikiş genişliği ölçülmüştür. Şekil 6.21' de numuneye ait kesit görüntüsü ve ölçüm yapılan değerler harflendirilerek gösterilmiştir.



Şekil 6.28 Kaynaklı numune kesit görüntüsünde ölçüm alınan değerlerin gösterilişi

Tablo 6.4 Toz altı kaynak yönteminde akım ve kutuplamanın değişken durum olarak seçilerek hazırlanan numunelere ait değerler tablosu

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
Kutuplama Çeşidi	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP
Akım (Amper)	500	600	700	800
Gerilim (Volt)	28-30	34-36	38-40	44-46
Kaynak Hızı (cm/dk)	60	60	60	60
f (parça kalınlığı-mm)	20	20	20	20
g (ITAB üst genişliği-mm)	16,73	19,33	21,31	27,87
a (Kaynak dikiş genişliği-mm)	15,13	17,53	19,31	25,67
c (mm)	9,51	11,75	14,29	13,33
d (mm)	7,06	8,35	11,76	8,46
e (mm)	-	5,67	7,56	4,73
b (Kaynak kök genişliği-mm)	3,87	4,29	4,47	4,75
h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)	2,98	3,17	2,44	2,78
p (nüfuziyet-mm)	5,12	6,42	7,19	6,23

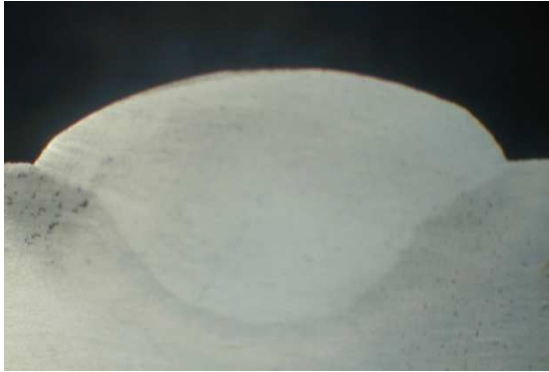
	Numune 5	Numune 6	Numune 7	Numune 8
Kutuplama Çeşidi	DCEN	DCEN	DCEN	DCEN
Akım (Amper)	500	600	700	800
Gerilim (Volt)	20-22	22-24	26-28	30-32
Kaynak Hızı (cm/dk)	60	60	60	60
f (parça kalınlığı-mm)	20	20	20	20
g (ITAB üst genişliği-mm)	13,7	14,3	16,5	20,2
a (Kaynak dikiş genişliği-mm)	12,1	12,5	14,5	18
c (mm)	6,76	9,83	8,8	12,63
d (mm)	-	8,45	5,82	9,11
e (mm)	-	5,64	-	-
b (Kaynak kök genişliği-mm)	3,32	4,04	4,12	4,32
h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)	3,14	3,23	3,28	4,74
p (nüfuziyet-mm)	3,67	6,24	6,78	4,76

Tablo 6.5. Toz altı kaynak yönteminde kaynak hızı ve kutuplamanın değişken durum olarak seçilerek hazırlanan numunelere ait değerler tablosu

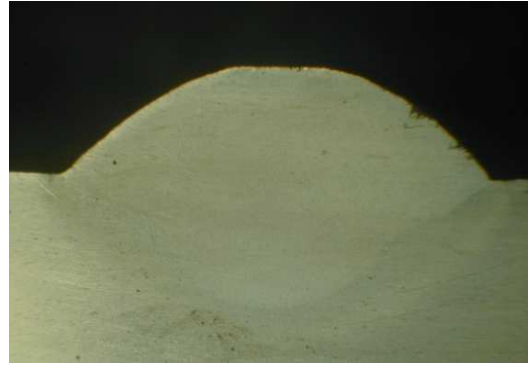
	Numune 9	Numune 10	Numune 11	Numune 12
Kutuplama Çeşidi	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP
Akım (Amper)	600	600	600	600
Gerilim (Volt)	34-36	34-36	34-36	34-36
Kaynak Hızı (cm/dk)	50	60	70	80
f (parça kalınlığı-mm)	20	20	20	20
g (ITAB üst genişliği-mm)	19,6	20,6	17	15,7
a (Kaynak dikiş genişliği-mm)	18	18,8	15	13,5
c (mm)	10,28	11,32	8,54	11,91
d (mm)	7,72	7,61	-	-
e (mm)	-	-	-	-
b (Kaynak kök genişliği-mm)	4,19	4,01	3,94	5,77
h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)	3,11	3,24	4	2,9
p (nüfuziyet-mm)	5,37	4,61	4,12	2,86

	Numune 13	Numune 14	Numune 15	Numune 16
Kutuplama Çeşidi	DCEN	DCEN	DCEN	DCEN
Akım (Amper)	600	600	600	600
Gerilim (Volt)	22-24	22-24	22-24	22-24
Kaynak Hızı (cm/dk)	50	60	70	80
f (parça kalınlığı-mm)	20	20	20	20
g (ITAB üst genişliği-mm)	15,7	16,3	15,7	14,64
a (Kaynak dikiş genişliği-mm)	14,1	14,5	13,7	12,44
c (mm)	7,78	6,85	8,51	8,14
d (mm)	-	-	-	-
e (mm)	-	-	-	-
b (Kaynak kök genişliği-mm)	3,32	4,51	4,31	3,29
h (Kaynak dikiş yüksekliği-mm)	3,22	2,56	4,34	3,43
p (nüfuziyet-mm)	2,81	2,54	2,72	1,34

Tablo 6.4 ve 6.5' de görüldüğü gibi 16 adet test numunesi hazırlanmıştır. Deney sonuçları için numunelerin kesit alanları incelenmiştir. Ve çıkan ölçüm sonuçları Tablo 6.4 ve 6.5' e kayıt edilmiştir. Şekil 6.29 ve 6.30 kaynak akımının değişken olduğu durum için elektrod pozitif ve negatif ile kaynaklanan numunelere ait kesit görüntüleridir. Bu şekillerde ters kutuplama ile düz kutuplamanın kaynak dikiş genişliğine etkisi gösterilmiştir.

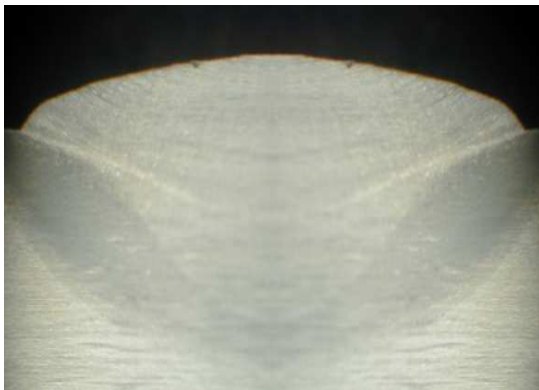


Şekil 6.29 Doğru akım elektrod pozitif kutuplamada yapılan deney numunesi kesit görüntüsü (Numune 1)

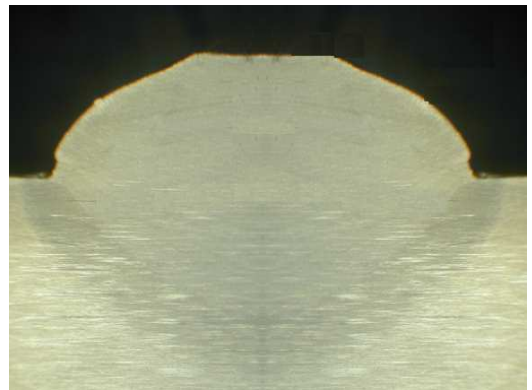


Şekil 6.30 Doğru akım elektrod negatif kutuplamada yapılan deney numunesi kesit görüntüsü (Numune 5)

Şekil 6.31 ve 6.32 kaynak akımının değişken olduğu durum için elektrod pozitif ve negatif ile kaynaklanan numunelere ait kesit görüntüleridir. Bu şekillerde ters kutuplama ile düz kutuplamanın kaynak dikiş yüksekliğine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.31 Doğru akım elektrod pozitif kutuplamada yapılan deney numunesi kesit görüntüsü (Numune 9)

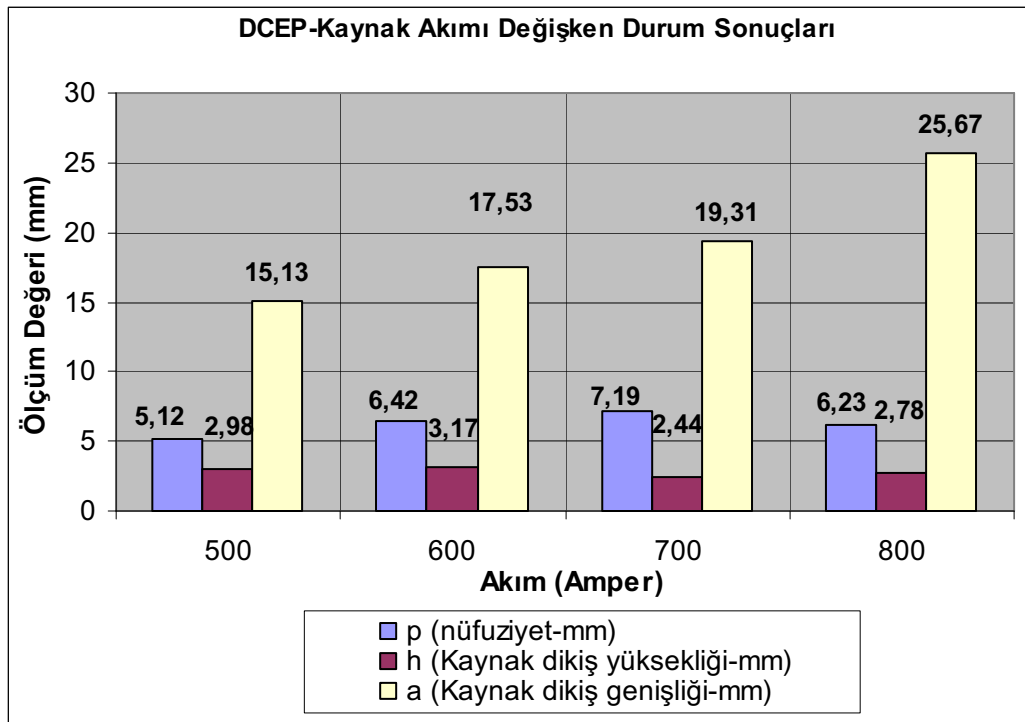


Şekil 6.32 Doğru akım elektrod negatif kutuplamada yapılan deney numunesi kesit görüntüsü (Numune 13)

### 6.5.1 Tozaltı Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

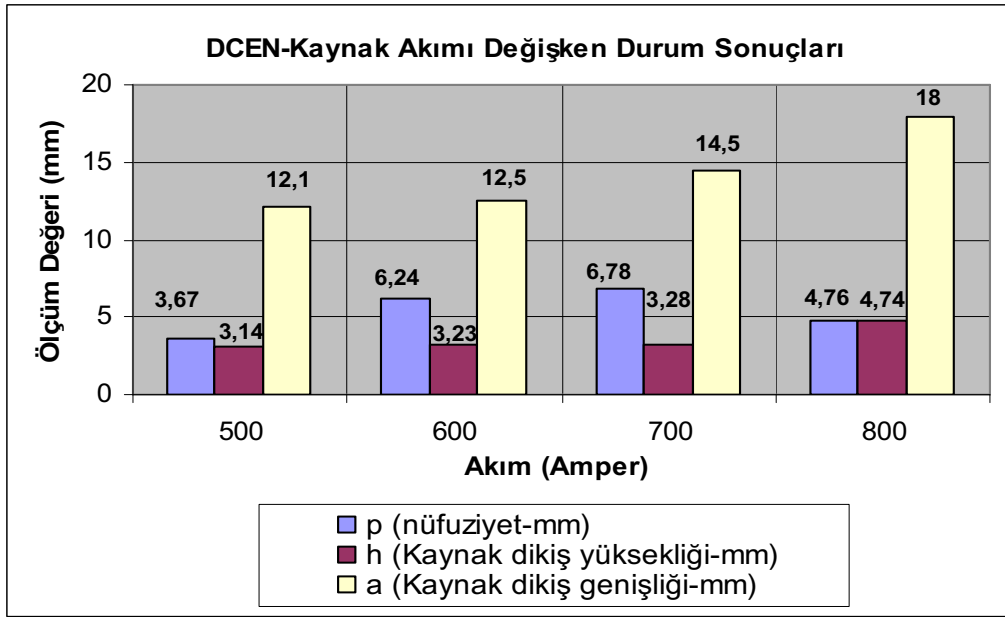
Tozaltı kaynağı ile yapılan deneylerde akım şiddetinin kaynak dikiş formunda önemli etkisi olduğu görülmüştür. Ters kutuplama durumunda elde edilen nüfuziyet değerleri düz kutuplama durumundaki değerlerden yüksektir. Kaynak dikiş yüksekliği ise düz kutuplamada daha yüksektir.

Tozaltı kaynağı ile yapılan testlerden akım ve kutup değişimi ile elde edilen sonuçlar ters kutuplama ve düz kutuplama durumları için aşağıdaki gibidir;

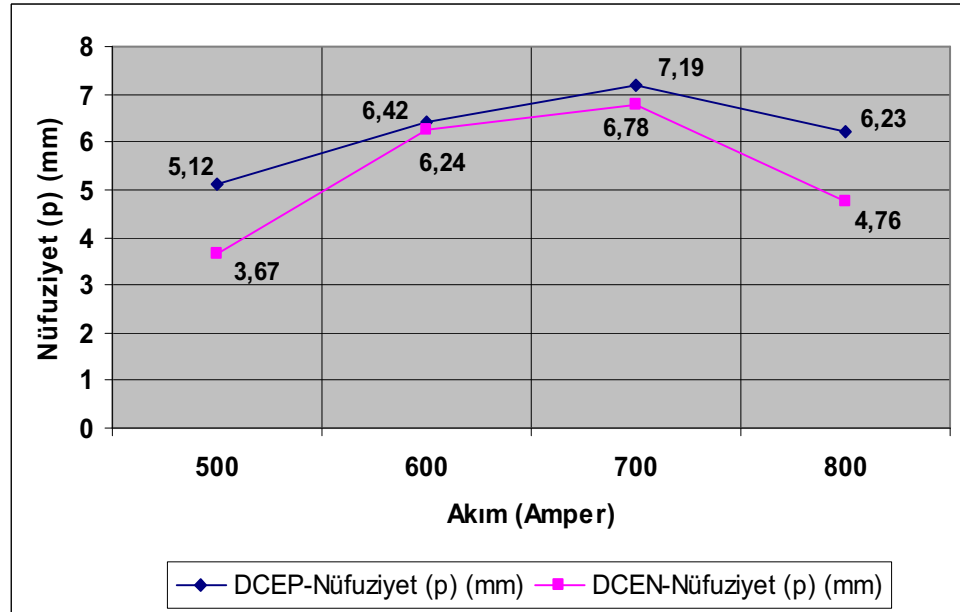


Şekil 6.33 Toz altı kaynağında akım-kutuplama ilişkisinin ters (DCEP) kutuplama durumu için nüfuziyet, kaynak dikiş yüksekliği, kaynak dikiş genişliğine etkisi

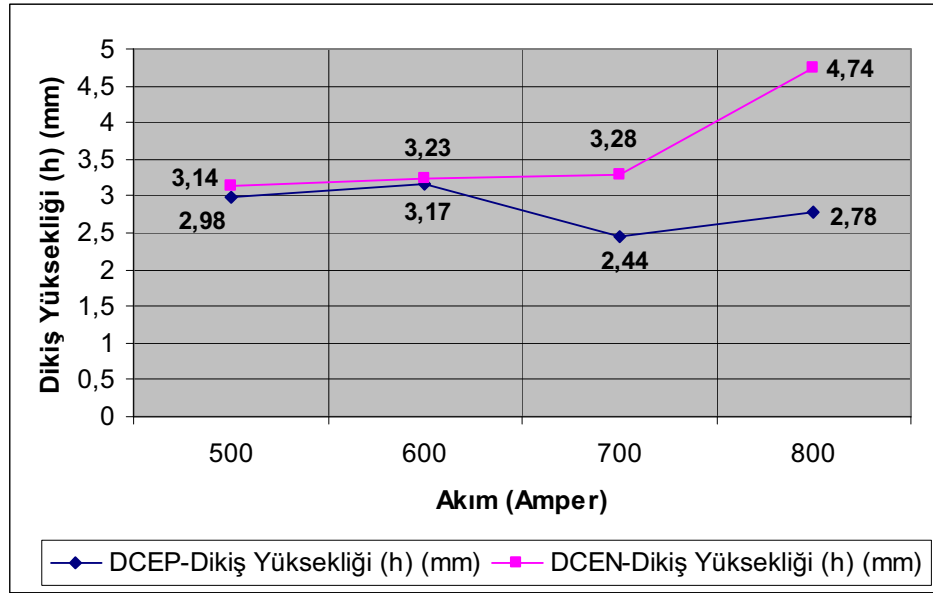




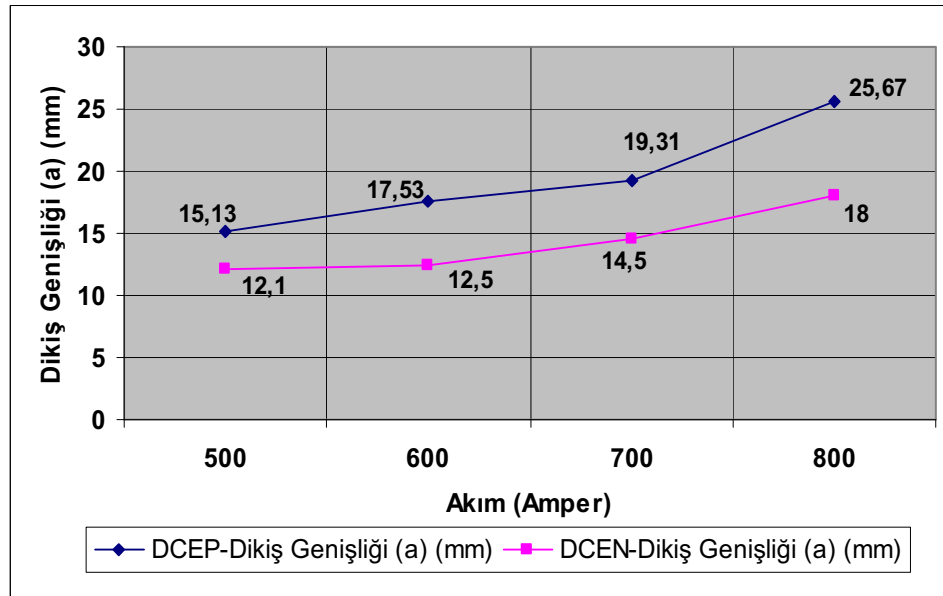
Şekil 6.34 Toz altı kaynağında akım-kutuplama ilişkisinin düz (DCEN) kutuplama durumu için nüfuziyet, kaynak dikiş yüksekliği, kaynak dikiş genişliğine etkisi



Şekil 6.35 Toz altı kaynağında değişken akımda ters ve düz kutuplama durumunun nüfuziyete (p) etkisi

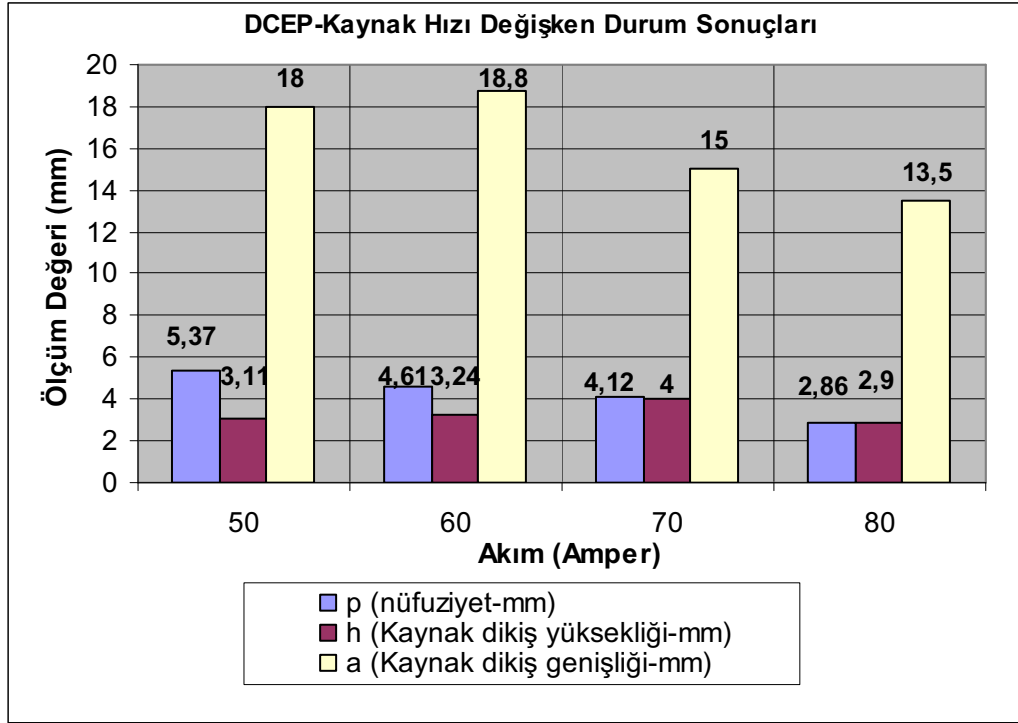


Şekil 6.36 Toz altı kaynağında değişken akımda ters ve düz kutuplama durumunun kaynak dikiş yüksekliğine (h) etkisi

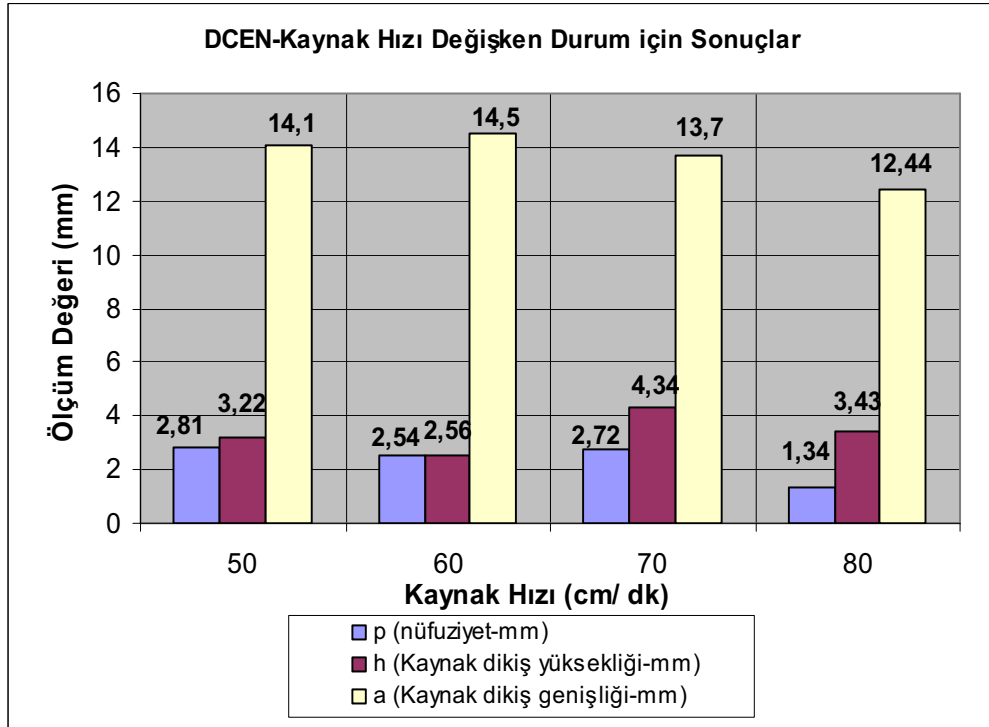


Şekil 6.37 Toz altı kaynağında değişken akımda ters ve düz kutuplama durumunun kaynak dikiş genişliğine (a) etkisi

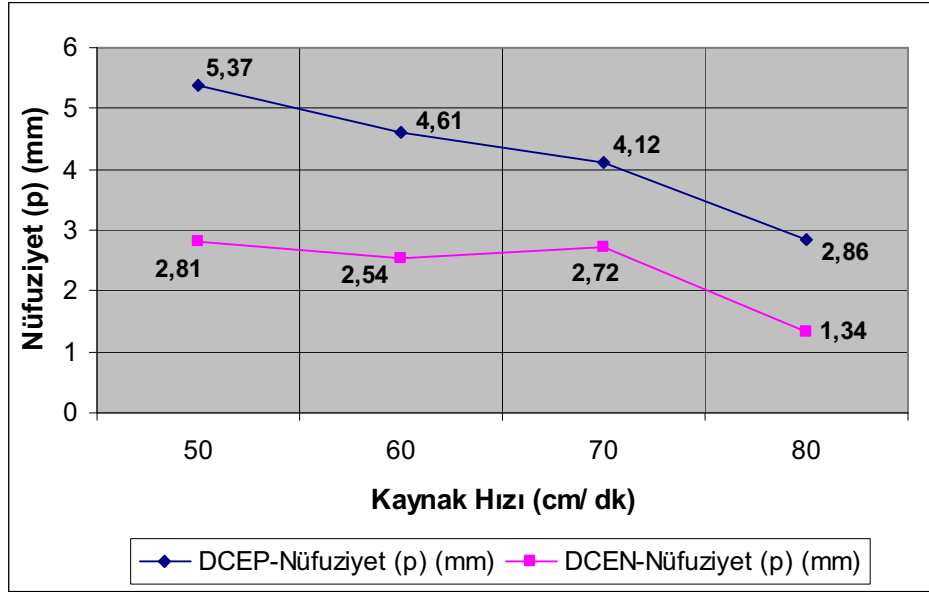
Kaynak hızının değişken durumu için elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerdeki gibidir.



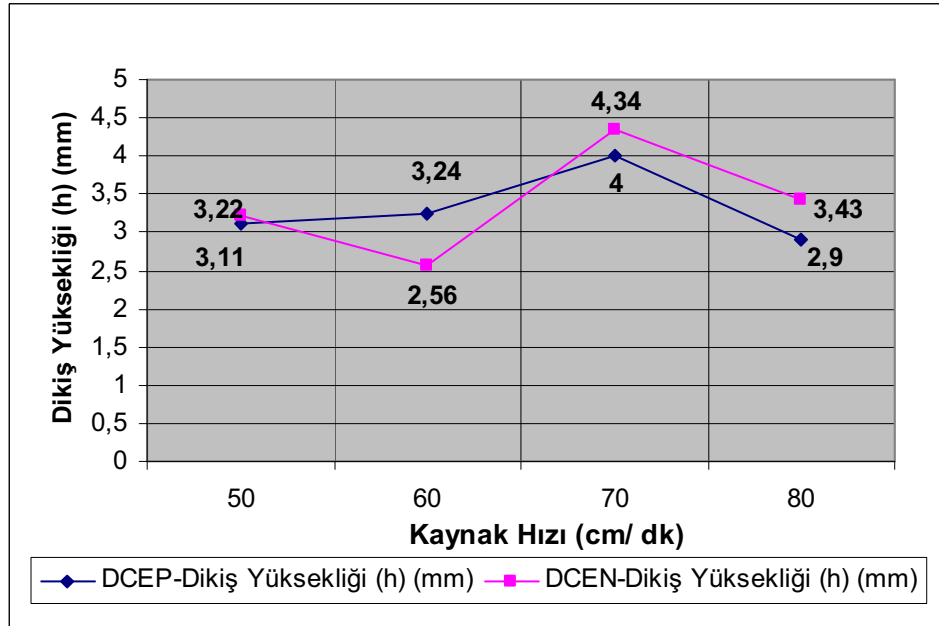
Şekil 6.38 Toz altı kaynağında kaynak hızı-kutuplama ilişkisinin ters kutuplama durumu için nüfuziyet, kaynak dikiş yüksekliği, kaynak dikiş genişliğine etkisi



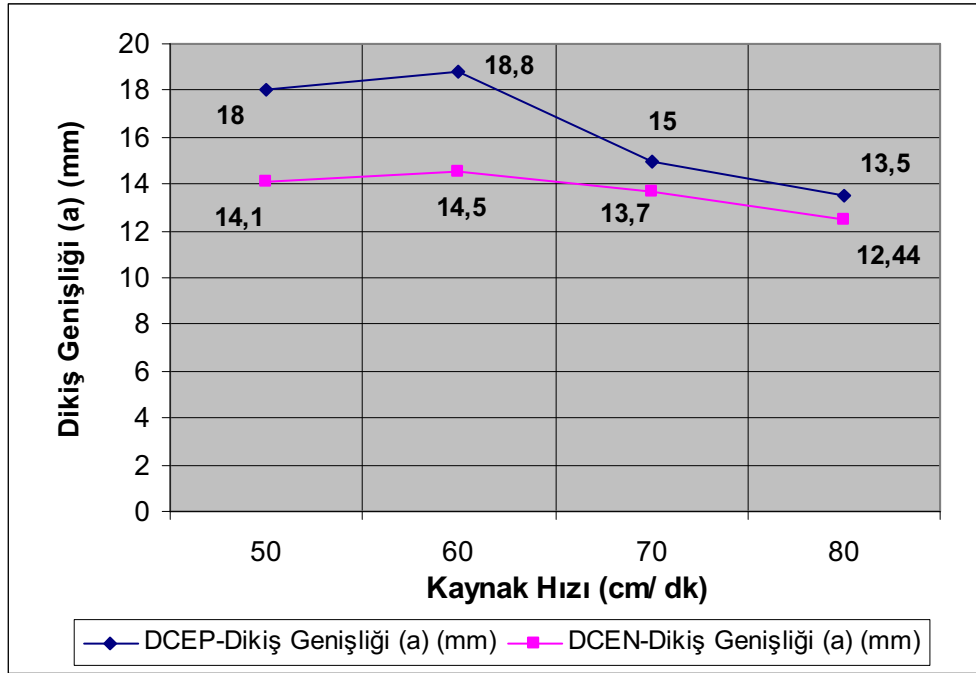
Şekil 6.39 Toz altı kaynağında kaynak hızı-kutuplama ilişkisinin düz kutuplama durumu için nüfuziyet, kaynak dikiş yüksekliği, kaynak dikiş genişliğine etkisi



Şekil 6.40 Toz altı kaynağında değişken kaynak hızında ters ve düz kutuplama durumunun nüfuziyete (p) etkisi



Şekil 6.41 Toz altı kaynağında değişken kaynak hızında ters ve düz kutuplama durumunun dikiş yüksekliğine (h) etkisi



Şekil 6.42 Toz altı kaynağında değişken kaynak hızında ters ve düz kutuplama durumunun dikiş genişliğine (a) etkisi

## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇLAR

Bu çalışmada TIG, MIG ve tozaltı ark kaynak yöntemlerinde doğru akımda kutuplamanın kaynak dikiş formuna etkileri incelenmiştir. Erdemir 6252 (ST 52) malzemedен hazırlanan numunelere kaynak ağzı açılmadan akım, hız ve kutuplama parametreleri değiştirilerek kaynak dikişi çekilmiştir.

Yapılan testlerde doğru akımda düz (elektrod negatif) ve ters (elektrod pozitif) kutuplama durumlarında kaynak dikiş formunun nüfuziyet, dikiş genişliği ve dikiş yüksekliği değerlerindeki değişim incelenmiştir. Kutuplama durumu değiştirilirken ikinci bir değişken olarak kaynak akım şiddeti ve kaynak hızı seçilmiştir. Kaynak akım şiddeti tüm kaynak yöntemlerinde kaynak dikiş formunu etkileyen önemli bir değişkendir. Seçilen diğer parametre olan kaynak hızı da kaynaklı imalatta işlemin ekonomisi için önemli bir parametredir.

Numunelerin incelenmesi ve değerlerin analizi ile yukarıda belirtilen kaynak yöntemlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

– TIG kaynağında değişken olarak kaynak akımı ve kutuplama seçilmiştir. Torcun otomatik olarak hareket ettirildiği sistemde kaynak işleminin gerçekleştirilememesinden dolayı testler manuel olarak yapılmıştır. Kaynak hızı operatör tarafından ayarlanmış ve sabit değere yakın tutulmuştur. Düz kutuplama (elektrod negatif) ve ters kutuplama (elektrod pozitif) durumları için aynı akım şiddetleri seçilmiş ve numunelere kaynak dikişleri çekilmiştir.

– Düz kutuplama (elektrod negatif) ile yapılan numunelerle ters kutuplama ile yapılan numuneler karşılaştırıldığında ters kutuplama durumunda nüfuziyetin çok düşük olduğu hatta olmadığı gözlemlenmiştir. Buna karşın ters kutuplama (elektrod pozitif) ile yapılan numunelerde ilave metaldeki yüksek erime miktarı kaynak dikiş yüksekliğinin ters kutuplamada daha yüksek olması sonucunu ortaya çıkarmıştır.

– Erimeyen elektrodlu ark kaynağı metodu olan TIG kaynağında kaynak arkında oluşan maksimum ısının anodda (pozitif kutup) toplanması düz kutuplama durumunda derin nüfuziyet sağlarken ters kutuplama durumunda nüfuziyetin sığ olmasını sağlamıştır. Bu durumda kaynak dikiş genişliği ters kutuplama durumunda geniş, düz kutuplamada ise dar olduğu gözlenmiştir.

– MIG kaynağında yapılan testlerde ilk 8 numune için akım değerleri değiştirilerek ters (elektrod pozitif) ve düz (elektrod negatif) kutuplama durumları için kaynak dikiş formu incelenmiştir. MIG kaynağında ters kutuplama durumunda ark daha kararlı bir şekilde oluşmuştur. Düz kutuplama durumunda ise ark daha kararsız bir şekilde oluşup sıçrıntılı metal taşınımı gerçekleşmiştir.

– Akım değerinin artırıldığı numunelerde ters kutuplama durumunda nüfuziyet değerleri düz kutuplama durumundaki değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi de eriyen elektrodlu ark kaynak yöntemlerinde maksimum ısının negatif kutupta (katod) oluşmasıdır. Bu durum ters kutuplamada parçaya ısı girdisinin artmasını ve dolayısıyla nüfuziyetin artmasını sağlamıştır. Akım değeri artsa da maksimum elektrod erime miktarı düz kutuplamada gerçekleştiğinden kaynak dikiş yüksekliği değerleri düz kutuplama durumunda daha yüksektir. Dikiş genişliği değerleri incelendiğinde ise ters kutuplama durumunda elde edilen değerler düz kutuplama durumuna göre daha yüksektir.

– Kaynak hızı ile kutuplama arasındaki ilişkiyi görmek içinde 8 adet test numunesine farklı hızlarda ve kutuplama durumu değiştirilerek kaynak dikişi çekilmiştir.

– Kaynak hızının arttırıldığı durumlarda kaynak dikiş formu bu artıştan olumsuz yönde etkilenmiştir. Artan kaynak hızı ile ters kutuplama ve düz kutuplama durumundaki nüfuziyet değerleri azalmıştır ancak ters kutuplamada elde edilen değerler düz kutuplama durumuna göre daha yüksek olmuştur. Kaynak dikiş

genişliği ve dikiş yüksekliği değerleride artan kaynak hızı ile azalmış ancak düz kutuplamada elde edilen değerler ters kutuplamadaki değerlerden daha yüksektir.

– Düz kutuplama durumunda çok düzgün olmayan kaynak dikişi, hızında artması ile daha da kötü bir kaynak dikişi halini almıştır. Düz kutuplama durumunda maksimum kaynak dikiş yüksekliği elde edilmiştir.

– Toz altı kaynağı ile MIG kaynağında ulaşılamayan akım Şiddeti değerlerinde testler yapılarak sekiz adet numune hazırlanmıştır. Akım değeri düz kutuplama (elektrod negatif) için ve ters kutuplama (elektrod pozitif) için aynı değerlerde artırılmıştır. Nüfuziyet değerlerinde ters kutuplama ile yapılan numunelerin, kaynak dikiş yüksekliği değerlerinde ise düz kutuplama ile yapılan numunelerin değerleri yüksek çıkmıştır. Toz altı ark kaynağında nüfuziyetin önemli olduğu durumlarda ters kutuplama, dikiş yüksekliğinin önemli olduğu durumlarda ise düz kutuplama kullanılması fikrine ulaşılmıştır. Dikiş genişliği ölçümlerine bakıldığında ise doğru akım ters kutuplamadaki değerler düz kutuplamadaki değerlerden yüksek çıktığı grlmştir.

– Kaynak hızının etkisi de diğer sekiz numune ile test edilmiştir. Kaynak hızının artması ile kaynak dikiş genişliği, nüfuziyet ve kaynak dikiş yüksekliği değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Kaynak hızının arttırıldığı durumlarda da nüfuziyet bakımından ters kutuplama ile yapılan numunelerde düz kutuplamaya göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Kaynak dikiş genişliği de elektrod pozitif olduğunda daha geniştir ve elektrod negatifte elde edilen değerlerden daha yüksektir. Akımın değişken olduğu durumlarda çıkan sonuçlara benzer olarak hızın değişken olduğu durumda da yine dikiş yüksekliğinin değerleri düz kutuplama durumunda daha yüksek çıkmıştır.

– Doğru akımda kutuplama durumunun değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar kullanılarak istenilen kaynak dikiş formlarına ulaşılabilir.



– Doğru akımda kutuplama durumunun değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar günümüzde dalga formunda değişiklik yapılabilen alternatif akım ile kaynak işlemleri için önemli referanslardır. Önceleri sadece doğru akımlı kaynak makinalarında kutuplama durumu değiştirilebiliyorken günümüzde alternatif akım kaynak makinalarında da kutuplama durumu kullanıcının isteğine bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Dalga formunun kontrol edildiği makinalarda kutuplama durumunun etkilerinden maksimum yararlanılmaya çalışılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Anık, S. ve Tülbentçi, K. (1991). *Elektrik ark kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Anık, S. ve Tülbentçi, K. (1991). *Gazaltı kaynak tekniği*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Anık, S., Tülbentçi, K. ve Kaluç, E. (1990). *Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Anık, S. ve Tülbentçi, K. (1991). *Toz altı kaynak tekniği*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Anık, S. ve Vural, M. (1991). *Gazaltı ark kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Archele, G.(2001). *Kaynak ve kesme teknolojisinde parametre değer tabloları*. (Prof.Dr. S. Anık, M. Vural, Çev.). İstanbul: Birsen yayınevi.
- ASM Metals Handbook, (1993). *Welding, brazing and soldering (9th ed.)*. Volume 6. ASM International: United States of America.
- Cunat, P.J. (2007). *Paslanmaz çeliklerin kaynağı*. Malzemeler ve Kullanımları Serisi, Cilt 3. Lüksemburg: Euro Inox.
- Cary, H.B. (1998). *Modern Welding Technology. (4th ed.)*. Ohio: Prentice Hall.
- Chandel, R.S., Seow, H.P. & Cheong, F.L. (1996). Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds. *Journal of Materials Processing Technology*, 72, 124-128.
- Ghosh, P.K., Dorn, L., Kulkarni, S. & Hofmann, F., (2009). Arc characteristics and behaviour of metal transfer in pulsed current GMA welding of stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1262-1274.
- Jenney, C., & O'Brien, A. (2001). *Welding science and technology*. USA: Copyright Clearance Press.

- Karadeniz, E., Saraç, U. ve Yıldız, C. (2005). The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes. *Materials and Design*, 28, 649–656.
- Karadeniz, S. (2008). *Kaynak makinaları* (1.Baskı). İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Karadeniz, S. (1989). *Kaynak yöntemleri ergitme kaynağı* (1.Baskı). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Karadeniz, S., Gençer, G.M. ve Karadeniz, Ö. (2009). Kaynakta dalga formu kontrol teknolojisi. *7.Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi ve Sergisi*, Ankara.
- Karadeniz S. (1997). *Kaynak arkına etki eden kuvvetlerin damla geçişi ve kaynak kalitesine etkisi*. Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın no:200.
- Messler, R.W. (1999). *Principles of Welding*. NY: John Wiley & Sons, Inc.
- Praveen, P., Yarlagadda, P.K.D.V. & Kang, M.J. (2005). Advancements in Pulse gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 1113-1119.
- Talkington, J. (1998). *Variable polarity gas metal arc welding*. Ohio: Science in the Graduate School of the Ohio State University Master Thesis.
- Tülbentçi, K. (1990). *MIG/ MAG eriyen elektrod ile gazaltı ark kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.