

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KORUYUCU GAZ KAYNAĞINDA (MIG/MAG)  
GAZ DEBİSİNİN KAYNAK NÜFUZİYETİ VE  
KAYNAK HIZINA ETKİSİ**

**Gürel TÜRKKAN**

**Mart, 2008**

**İZMİR**

**KORUYUCU GAZ KAYNAĞINDA (MIG/MAG)  
GAZ DEBİSİNİN KAYNAK NÜFUZİYETİ VE  
KAYNAK HIZINA ETKİSİ**

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

**Gürel TÜRKKAN**

**Mart, 2008**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**GÜREL TÜRKKAN**, tarafından **PROF. DR. SÜLEYMAN KARADENİZ** yönetiminde hazırlanan “**KORUYUCU GAZ KAYNAĞINDA (MIG/MAG) GAZ DEBİSİNİN KAYNAK NÜFUZİYETİ VE KAYNAK HIZINA ETKİSİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

---

Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ

---

Danışman

---

Prof. Dr. Sami AKSOY

---

Jüri Üyesi

---

Prof. Dr. Vural CEYHUN

---

Jüri Üyesi

---

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Sileyman KARADENİZ'e ve Dokuz Eylöl Üniversitesi öğretim üyelerine en içten teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmamın her aşamasında yardımcı olan Sayın Ar. Gör. Fatih KAHRAMAN ile Ar. Gör. M. Murat TOPAÇ'a, Öğr. Gör. İlker SEVER'e, kaynak işlemleri ve numunelerin çıkarılması aőamalarında yardımcı olan Teknisyen Faik SOYSAL ile Teknisyen Ahmet YİĞİT'e, beni yetiőtirip bu başarıları elde etmemi sağlayan başta annem-babam olmak üzere tüm aileme ve en son – en zor dönemlerde yardımını esirgemeyen biricik eőim Bengisu TÜRKKAN'a teşekkür ederim.

Gürel TÜRKKAN

# KORUYUCU GAZ KAYNAĞINDA (MIG/MAG) GAZ DEBİSİNİN KAYNAK NÜFUZİYETİ VE KAYNAK HIZINA ETKİSİ

## ÖZ

Kaynak, günümüzde bağlantı yöntemlerinden biri olarak imalatın birçok aşamasında sıkça karşımıza çıkmasının yanı sıra, bakım – onarım işlemlerinde de sıkça başvurulan bir yöntemdir.

Yöntemin ilk keşfedilişinden günümüze kadar, birçok farklı şekilde uygulaması bulunmasına rağmen sonsuz kaynak teli kullanımı, mekanize oluşu, her pozisyonda kolaylıkla kaynak yapılabilmesi vb. gibi nedenlerle MIG – MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi diğer yöntemlere nazaran daha fazla kullanım şansı bulmuştur.

Kaynak işlemi sırasında elektrodun kaynak dikişi boyunca ilerleme hızı; birleştirilecek malzemelere verilen ısıyı, dolayısı ile kullanılan enerjiyi, dolgu teli miktarını ve nüfuziyet gibi bir takım değişkenleri etkileyeceğinden optimum bir değerde seçilmelidir.

Birleştirme işlemi yapılırken birleştirilecek malzemelere enerjinin yanı sıra gerekli hallerde dolgu metali verilerek malzemelerin tek bir parça şeklinde birleştirilmesi sağlanır. Bu nedenle malzemelere mümkün olduğunca yoğun enerji verilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar arkın soğutulması enerji yoğunluğunun arttırılabileceğini göstermektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında, kaynak hızının nüfuziyet üzerindeki etkisi ile arkın çevresinden geçmekte olan gazı soğutmanın nüfuziyete etkisi incelenmiş, ikinci aşamada ise kaynak ağzı açılmamış numunenin su soğutmalı ve su soğutmasız nozul ile kaynak yapılması sonucunda oluşan nüfuziyet miktarları ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Termik sıkıştırma, nüfuziyet, kaynak hızı, gaz debisi

# INFLUENCE OF GAS FLOW ON WELDING PENETRATION AND WELDING RATE WITH PROTECTIVE GAS WELDING

## ABSTRACT

Welding as one of the joint methods of today has a wide range of application as a method of joint during several stages of manufacture as well as a frequently used system during maintenance and repair works.

Although many different implementation routes were developed from the date it is first explored up to date, MIG-MAG Shielded Inert Gas Welding Method has a more common use than other methods because of endless welding wire use capacity, being mechanized, easy to carry welding under all positions etc.

The deposition rate of electrode through the welding region should be selected at an optimum level since it would affect some variables like the heat to be implied to the materials to be jointed, the amount of deposit wire and penetration.

While fusion process is carried, with the energy implied to the components to be jointed deposit material also used to have the pieces as a unique component. Therefore, it is necessary to apply energy to the components as intense as possible. The carried studies have shown that the intensity of the energy can be increased by cooling the arc.

During the first stage of my study, the influence of welding speed on penetration and influence of cooling the gas passing around the arc on penetration and during the second stage the penetration amounts resulted by application of welding with water cooled nozzle and without water cooling were investigated in detail on the sample with unopened welding outlet.

**Key words:** Thermic pinch, penetration, welding rate, gas flow

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
Yöntemin Tanımı Ve Tarihçesi.....	1
<b>BÖLÜM İKİ - MİG/MAG KAYNAĞI VE DONANIMI.....</b>	<b>3</b>
2.1 Elektrik Arkı .....	3
2.2 Elektrik Boşalması İle Plazma Elde Edilişi.....	4
2.3 Plazmanın Özellikleri .....	10
2.4 Mig Mag Kaynağında Kullanılan Akım Üreteçleri .....	11
2.4.1 Generatör Tip Akım Üreteçleri.....	15
2.4.2 Redresör Tip Akım Üreteçleri.....	15
2.4.3 Darbeli Akım Üreteçleri.....	15
2.4.4 İnverter Tür Akım Üreteçleri.....	16
2.5 Mig – Mag Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar.....	17
2.5.1 Koruyucu Gaz Sağlama Sistemleri.....	19
2.5.2 Soygazlar.....	20
2.5.2.1 Argon.....	21
2.5.2.2 Helyum.....	22

2.5.3 Karbondioksit.....	22
2.5.4 Karışım Gazlar.....	24
2.5.4.1 Argon – Helyum Karışımları.....	25
2.5.4.2 Argon – Karbondioksit Karışımları.....	25
2.5.4.3 Helyum – Argon – Karbondioksit Veya Oksijen Karışımları.....	26
2.6 Mıg – Mag Yönteminde Kullanılan Tel Elektrodlar.....	27
2.7 Tel Sürme Tertibatı.....	29
2.8 Su Soğutma Sistemi.....	30
2.9 Mig/Mag Kaynak Torçları.....	31
2.9.1 Torç Bağlantı Paketi.....	33
<b>BÖLÜM ÜÇ - TERMİK SIKIŞTIRMA.....</b>	<b>34</b>
3.1 Manyetik Sıkıştırma.....	34
3.1.1 Plazmanın Kendi Manyetik Alanından Dolayı.....	34
Ortaya Çıkan Sıkıştırma	
3.1.2 Plazmanın Dışarıdan Tatbik Edilecek Bir.....	35
Manyetik Alanla Sıkıştırılması	
3.2 Termik Sıkıştırma.....	36
3.2.1 Plazmayı Çevreleyen Ortamın Termik Sıkıştırması.....	36
3.2.2 Plazmanın Dıştan Cebri Olarak Soğutulması Ve Sıkıştırılması.....	36
3.2.2.1 Plazmanın Dışarıdan Gaz Yardımıyla Soğutulması.....	37
3.2.2.2 Nozulun Su İle Soğutulması.....	37
3.2.2.3 Anot Memesinin Su İle Soğutulması.....	37
3.3 Torç Çeşitleri.....	38
3.3.1 Gaz Soğutmalı Torçlar.....	38



3.3.2 Su Soğutmalı Torçlar.....	39
3.4 Nozul Çeşitleri.....	39
3.5 Termik Sıkıştırma Uygulamaları.....	42
3.5.1 Elektrik Ark Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları .....	42
3.5.2 TIG Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları.....	44
3.5.3 MIG-MAG Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları.....	44
3.5.4 Tozaltı Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları.....	45
3.5.5 Termik Kesme Yöntemlerinde Termik Sıkıştırma Uygulamaları..	46
3.5.5.1 Hava Ark İle Kesme.....	46
3.5.5.2 Plazma İle Kesme.....	47
3.5.6 Atomik Hidrojen Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları...	48
3.5.7 Su Altında Kaynak Yönteminde Termik Sıkıştırma Uygulamaları.	49
3.5.7.1 Su Altında Islak Kaynak Yöntemi.....	49
3.5.7.2 Su Altında Kuru Kaynak Yöntemi.....	49
3.5.8 Plazma Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları.....	49
3.5.8.1 Yüksek Güç Plazma Birleştirme Kaynağı.....	49
3.5.8.2 Mikroplazma Kaynağı.....	51
3.5.8.3 Plazma Dolgu Kaynağı.....	51
3.5.8.4 Plazma İle Yüzey Kaplama.....	52
3.5.8.5 Plazma İle Taş Delme.....	53
<b>BÖLÜM DÖRT - DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>	<b>54</b>
4.1 Deneye Hazırlık Ve Deneyin Yapılışı.....	54
<b>BÖLÜM BEŞ – SONUÇ.....</b>	<b>71</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>78</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Yöntemin Tanımı Ve Tarihçesi

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve eriyen tel elektrodun üzerinden geçen akıma gösterdiği direnç ile oluşur. Elektrod çıplak bir tel olup, bir elektrod besleme tertibatı ile kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur.

Eriyen elektrodla gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri yöntem soygaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağında kullanılmıştı. Eriyen metal elektrod ve soygaz kullanılması nedeni ile yönteme MIG ( Metal Inert Gas ) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunlukları ile ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazları ( CO<sub>2</sub> ) ve gaz karışımları kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG ( Metal Active Gas ) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayrımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır. Örneğin, Amerika'da yönteme Gaz Metal Ark Kaynağı ( GMAW ), İngiltere'de ve Almanya'da MIG / MAG kaynağı adı verilmektedir. Ülkemizde ise Eriyen Elektrodla Gazaltı ve MIG / MAG kaynağı adları kullanılmaktadır. Başlangıçta argonun çok pahalıya mal olması nedeni ile alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan yöntem 1960'dan itibaren argon fiyatlarının düşmesiyle argon karbondioksit karışımı gazlar ile daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Saf karbondioksite oranla daha pahalı olmasına rağmen koruyucu gazlar çok gelişmiş ve günümüzde MAG kaynağında %80 oranında karışım gaz kullanılmaya başlanmıştır.

Bu yöntemle ilgili diğer bir gelişme de elektroda meydana gelmiştir. Dolu tel yerine içi metal tozu doldurulmuş tüpten oluşturulmuş “ özlü elektrodlar “ geliştirilmiştir. Böylece örtülü elektrodlardaki örtünün bazı görevlerini özün, çekirdek telinin görevlerini de özü saran çelik tüpün görmesi sağlanmıştır.

Gazaltı kaynağında ark boyu kaynak makinası tarafından kontrol edilir. Kaynakçıdan beklenen, gaz memesini kaynak banyosu üzerinde sabit bir yükseklikte tutarak belirli bir hızda hareket ettirmesidir. Ark boyunun kaynak makinası tarafından kontrol edilmesi nedeniyle bu yöntem “yarı otomatik” kaynak yöntemi adı verilmiştir. Otomatik kaynak yönteminde yukarıda açıklanana ek olarak gaz memesi de iş parçası üzerinde belirli bir hızda otomatik olarak hareket eder. Bu durumda kaynakçının kaynak işlemine fiili bir katkısı yoktur.

Alaşımız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenlerini seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler.

Bilinen tüm eritme yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş dikişler arasında MIG/MAG metal ark kaynağı ile yapılan kısım %70’lik bölümü oluşturmakta ve gelişimini sürdürmektedir.

## **BÖLÜM İKİ**

### **MİG/MAG KAYNAĞI VE DONANIMI**

Kaynak, genel olarak iki veya daha fazla malzemenin aralarında sürekliliklerini sağlamak suretiyle birleştirilmesi olarak adlandırılabilir. Bu tanımı biraz daha genişletecek olursak, kaynak, birleştirilecek malzemelerin birleşme yüzeylerindeki atomlarının karşılıklı çekme bölgelerine getirilmesidir.

Katı bir malzeme düşünelim. Bu malzemenin atomları birbirinden belli bir “a” mesafesi uzaklığında dengede bulunmaktadır. Bu malzemeyi koparmak demek, kopma bölgesindeki atomların çekme kuvvetlerini yenerek o atomları birbirinden uzaklaştırmak demektir. Kaynak yapmak ise bunun tam tersidir. Yani kaynak, kaynak yapılacak parçaların karşılıklı gelen yüzeylerindeki atomlarını “a” atomlar arası mesafesine kadar yaklaştırarak, atomların birbirini çekmesini sağlamaktır. Bu işlem ise kaynak bölgesine enerji verilmesi suretiyle gerçekleştirilebilir. Kaynak bölgesine verilen enerji türüne göre çeşitli kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. (Karadeniz, 2000)

#### **2.1 Elektrik Arkı**

Maddenin kendine has özellikleri bulunan 4 hali vardır. Bunlar katı, sıvı, gaz ve plazmadır. Bu haller arasındaki esas fark sahip oldukları enerjidir. Yani maddenin sahip olduğu enerjisini değiştirerek bulunduğu hali değiştirebiliriz.

Katı + E1      ← katılaşma SIVI  
                    → erime

Sıvı + E2      ← yoğuşma GAZ  
                    → buharlaşma

Gaz + E3      ← rekombinasyon PLAZMA  
                    → iyonizasyon

Plazma, içerisinde iyon (atomun, çekirdeğinin etrafındaki elektronlardan en az birini kaybedip pozitif yüklü hale gelmesi), elektron (atomun negatif yükü), uyarılmış atom (üzerine iyonizasyon enerjisinden daha az enerji almış ve bu nedenle atom çevresindeki elektronlardan bir veya birkaçı bir üst enerji seviyesine çıkmış atom), foton (enerji yüklü ışın parçacığı) ve nötral atom veya moleküller (içerdikleri pozitif veya negatif yüklerinin sayısı eşit olan atomlar) içerir. Plazma tabiatta güneş ve bazı yıldızların içinde, yıldırımlarda ve elektrik boşalmalarında görülür.



→ **disyasyon**



→ **iyonizasyon**



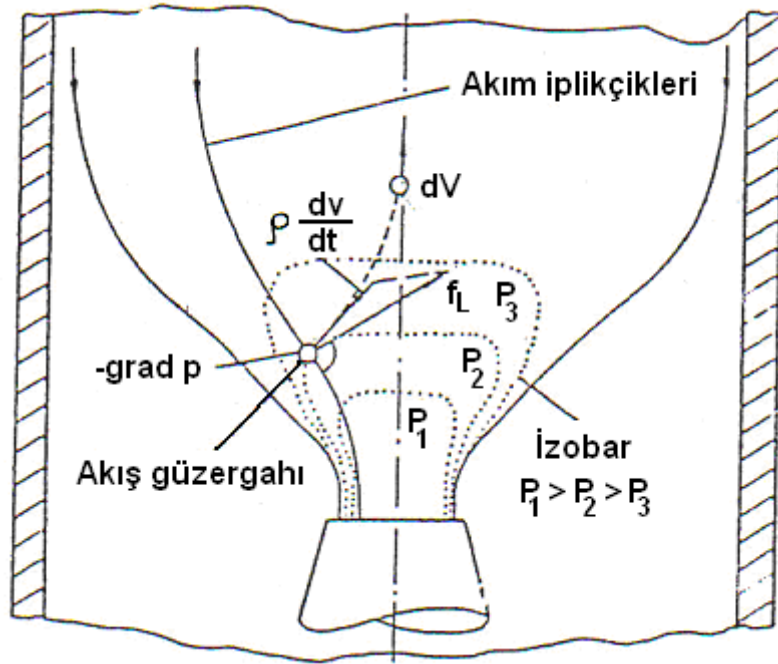
→ **iyonizasyon**

Pratikte plazma elde edilişi, ısı enerjisi vererek, sıkıştırma ile (mekanik), ışınla ve elektrik boşalması ile dir. Bunlardan en çok kullanılanı ve en önemli olanı elektrik enerjisi ile elde edilen plazmadır.

## 2.2 Elektrik Boşalması İle Plazma Elde Edilişi

Bir elektrikli gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanır, belirli şartlar gerçekleşirse, uygulanan gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerine çıkar. Böylece bu iki plaka arasında bir elektrik boşalması olur. Aynı zamanda bu iki iletken plaka arasında bir elektrik akımı akar. Eğer plakalar arasında akan bu akımın şiddeti 10 A'den büyük ise elde edilen sistem elektrik arkı adını alır.

Bir gaz içerisindeki atom ve moleküller sürekli hareket halindedir. Bu hareketin hızı ve yönü istatistik kanunlarına göre belirlenir. Bu gaz içerisindeki bir parçacığın



Şekil 2.1 Elektrik arkında plazma akışının şematik gösterilişi.

ortalama hızı ve gazın sıcaklığı arasındaki bağıntı plazma ve plazma içerisindeki parçacıklar içinde geçerlidir ve

$$\frac{1}{2} m V_{\text{ort}}^2 = \frac{3}{2} k \cdot T = W$$

formülü ile ifade edilir. Burada:

**m** = parçacığın kütlesi

**V<sub>ort</sub>** = ortalama hız

**k** =  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Ws/k (Boltzman sabiti)

**T** = gazın sıcaklığı

**W** = parçacığın enerjisidir

Bu eşitlikten plazma içerisindeki bir parçacığın ortalama hızı:

$$V_{\text{ort}} = \sqrt{\frac{3 k \cdot T}{m}}$$

olur.

Burada kütle ( m ) her madde için farklı olmakla birlikte azot gazı için düşünecek olursak; bir azot gazı kütlesi:

$$m_{\text{iyon}} = 48 \cdot 10^{-24} \text{ gr}$$

iken, bir elektron kütlesi:

$$m_{\text{elektron}} = 9 \cdot 10^{-28} \text{ gr}$$

dır. ( Yaklaşık 50000 kat küçüktür )

Görüldüğü üzere bir elektronun kütlesi bir iyonla nazaran çok küçüktür. Fakat elektron ile iyonun elektrik yükleri aynı olduğundan elektrik alanı ve manyetik alan nedeniyle üzerlerine etki eden kuvvetler aynıdır.

Plazma içerisinde bulunan iyon ile elektronun ortalama hızlarının oranı buldukları ortam aynı olduğundan sadece kütleleri ile orantılıdır ve yaklaşık:

$$\frac{V_{\text{elek}}}{V_{\text{iyon}}} = 100 \dots 1000$$

Buna ek olarak elektron hacminin iyon hacminden küçük olması nedeni ile elektronlar ile iyonlar arasındaki ortalama serbest yol uzunlukları “ $\lambda$ ” da farklı olup

$$\lambda_{\text{elek}} > \lambda_{\text{iyon}}$$

dur.

Ayrıca bir elektrik arkında üreticinin (+) kutbunun bağlandığı iletken olan anot ile (-) kutbunun bağlandığı iletken olan katot arasına uygulanan elektrik gerilimi sonucu;

$$E = \frac{V}{I} \text{ ( Volt / cm )}$$

büyükliğünde bir elektrik alanı oluşur.

$V$  = Anot katot arası gerilim

$I$  = Anot katot arası uzaklık

$E$  = Elektrik alanı

Bu elektrik alanı ark içerisindeki yüklü parçacıklara  $F = q \cdot E$  büyüklüğünde bir kuvvet etki ettirir. Bu kuvvet elektronlar ve tek katlı iyonize atomlar için

$F$  iyon = (+)  $q \cdot E$

$F$  elektron = (-)  $q \cdot E$  'dır.

$F$  = Elektrik alan kuvveti

$q$  = Elektrik yükü

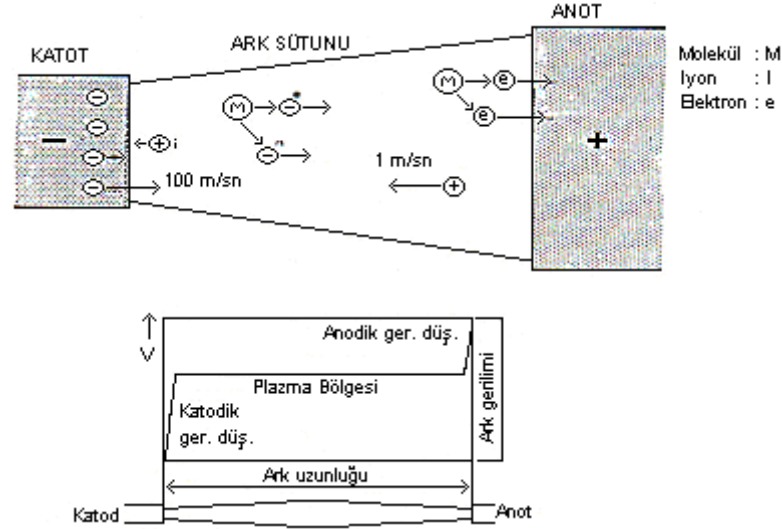
$E$  = Elektrik alanı

Bu kuvvet iyonları (+) kutuptan (-) kutuba, elektronları ise (-) kutuptan (+) kutuba doğru hareketlendirir.

Hareket halindeki bu parçacıkların oluşumuna elektron emisyonu denir. Elektron emisyonu dört yöntemle oluşur.

1. Katı malzemeye bir elektrik alanı uygulanarak
2. Katı malzemeye ısı enerjisi uygulayarak
3. Katı malzemeye küçük kütlelerin bombardımanı ile
4. Işın enerjisi ile





Şekil 2.2 Elektrik arkı oluşumu.

Elektrik arkı oluşmadan önce anot ile katot arasında gaz atomları vardır. Anot – katot arasına uygulanan elektrik gerilimi sonucu katot önünde oluşan elektrik alanı sayesinde katottan elektronlar çıkmaya başlar. Elektrik geriliminin ( - ) yüklü bu taneciklere uyguladığı kuvvet nedeni ile katottan çıkan elektronlar anota doğru gitmeye başlar ve yol boyunca karşılına çıkan atomlara çarparak kazandıkları kinetik enerjileri o atomlara vermek suretiyle (bombardıman) atomlardan elektron çıkartır, onları iyonize ederler. Böylece ark içindeki iyon miktarını artırırlar. Bunlardan başka birde zamanla katodun ısınmasıyla ısı enerjisi ile de emisyon devreye girer. Ayrıca anottaki atomların kütleyle olan bağ enerjilerinden daha fazla enerji almaları nedeniyle kopmaları sonucu ark içine karışmaları olayı söz konusudur.

Tüm bu aşamalar nedeniyle elektrik arkı kendi kendini idama edebilen bir elektrik boşalmasıdır. Böyle bir elektrik boşalmasının oluşması için iki temel şart mevcuttur:

- Gaz Atomlarının Çarpışma Yoluyla İyonizasyonu

İyonizasyon için önce çarpışmanın elastik olmayan bir çarpışma olması, yani çarpan elektronun kinetik enerjisinin çoğunu çarpılana aktarması gerekir. Elastik çarpışmada ise enerjinin çok az bir kısmı aktarılır.

- Pozitif iyonların katoda gelip çarptıklarında katottan elektron çıkarması (sekonder elektron emisyonu = parçacık bombardımanı)

$$\lambda \cdot |E| > U_i \text{ olmalı}$$

$\lambda$  = Ortalama serbest yol uzunluğu ; bir parçacığın bir gaz ortamı içerisinde hiçbir kütleye çarpmadan alabildiği yoldur. Elektronun serbest yol uzunluğu kütlesinin çok küçük olması nedeniyle iyonunkinden çok daha fazladır. Bu durum elektronun çok daha fazla hızlanmasına, hızının karesiyle orantılı olarak da kinetik enerjisinin artmasına ve iyonizasyon olayının gerçekleşmesi için şartların uygun hale gelmesine neden olur.

$E$  = Ark içindeki elektrik alanı şiddeti

$U_i$  = İyonizasyon gerilimi

Kısaca kendi kendini devam ettirebilen bir elektrik boşalmasında katottan çıkan bir elektron anoda giderken o kadar çok atoma veya moleküle çarpmalı ve onlardan o kadar çok iyon ortaya çıkarmalı ki bunlardan en az biri katoda çarptığında katottan bir elektron çıkartıp bu sürecin tekrarını sağlamalı.

Daha önce bahsettiğimiz gibi bir elektronun kütlesinin bir iyondan küçük olmasına karşın içinde buldukları elektrik alanının etki ettirdiği kuvvetin büyüklüğünün aynı; yönlerinin farklı olması elektronların iyonlara göre çok daha hızlı hareket etmelerine neden olur. Bunda elektronların serbest yol uzunluklarının ( $\lambda$ ) etkisi de büyüktür. Yüklü parçacıkların bu hareketi elektrik akımını yaratacağından plazmada oluşan elektrik akımında iyonların etkisini ihmal ederek bu akımı sadece elektronların oluşturduğunu söyleyebiliriz.

### 2.3 Plazmanın Özellikleri

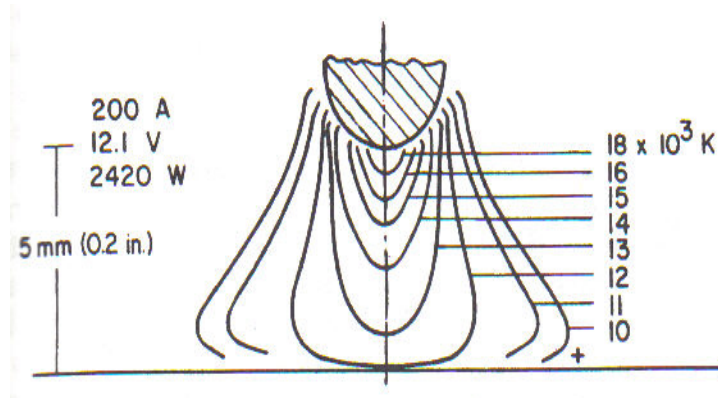
a) Plazma dış ortama karşı elektriki olarak nötrdür. Yani plazma içerisindeki pozitif yüklerin (iyonların yüklerinin toplamı) sayısı ile negatif yüklerin (elektronların) sayısı birbirine eşittir.

b) Plazma kendi kendini idame ettirdiği sürece disyasyon (molekülün atomlarına ayrılması) , iyonizasyon (atomun elektron kaybederek iyon haline geçmesi) ve rekombinasyon (tekrar birleşme) olayları sürekli olarak devam eder.

c) Plazma içindeki parçacıklar enerji taşıyıcısı olduklarından (enerjinin çoğunu elektronlar taşır) plazma iyi bir ısı ve elektrik iletkenidir.

d) Plazma rotasyon simetrik bir yapıya sahiptir. Silindirik simetrisi sağlar.

e) Plazma yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Plazmanın sıcaklığı, enerji yoğunluğu, iyonizasyon derecesi (iyonize olmuş atom sayısının toplam atom sayısına oranı) ve plazma çıkış hızı (elektron hızı) plazma ekseninde maksimum olup; radyal yönde dışa doğru bu değerler hızla azalır.



Şekil 2.3 Plazmanın sıcaklık dağılımı.

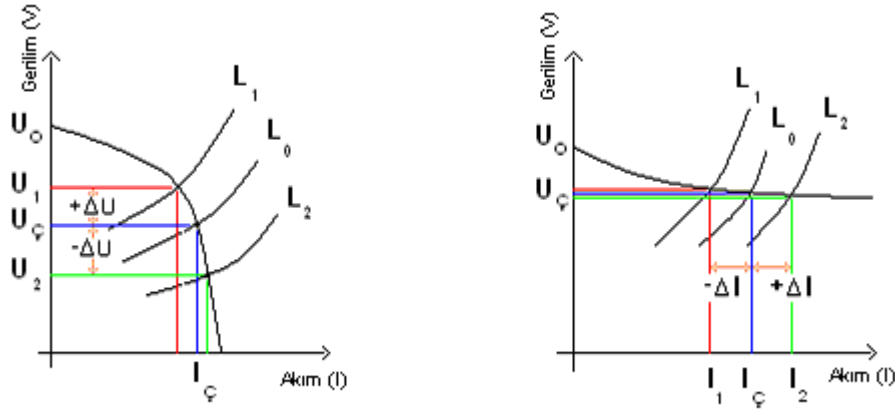
f) Plazmaya elektrik ve manyetik alanla etki edilebilir. Elektrik alan  $\mathbf{F} = \mathbf{q} \cdot \mathbf{E}$  kuvveti ile plazmaya etki ederek plazma içerisindeki parçacıkların hızını (plazma akış hızını) etkilerken; manyetik alan  $\mathbf{F} = \mathbf{q} \cdot (\mathbf{V} \times \mathbf{B})$  kuvveti ile plazmaya etki ederek plazma içerisindeki parçacıklara hıza dik doğrultuda etki ederek hızını değil sadece yönünü etkiler.

g) Plazma manyetik ve termik olarak sıkıştırılarak enerji yoğunluğu ve sıcaklığı sınırsız olarak artırılabilir.

## 2.4 Mig Mag Kaynağında Kullanılan Akım Üreteçleri

Ark kaynak yöntemlerinde farklı türlerde akım şiddeti, gerilim ve voltamper karakteristiğinde elektrik akımı gerekli ve bu bakımdan da her kaynak yöntemi için farklı tür ve büyüklükte akım üretici geliştirilmiştir. Kaynak için gerekli koşullardaki elektrik akımı işyerinde özel bir generatör tarafından üretildiği gibi, şebeke akımının dönüştürülmesi ile de elde edilebilir.

MİG – MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin volt – amper (V-I) karakteristiği örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağında akım üreteçlerinininki gibi düşey karakteristikli veya bunlardan çok farklı ve çok daha yaygın olan yatay karakteristikli tipte olabilmektedir.



Şekil 2.4 Yatay ve düşey karakteristikli kaynak makinalarının çalışma eğrileri.

Düşey karakteristikli akım üreteçlerinde ark gerilimi önemli bir büyüklükte değişmesine karşın akım şiddetindeki değişim çok azdır. Ark boyunun kaynak donanımı tarafından ayarlandığı ve sabit tutulduğu MIG - MAG yönteminde bu karakteristiğe sahip bir akım üretici kullanıldığında ark boyunun değişmesi yani ark boyunu sabit tutabilmek için ark boyundan kumanda alan elektronik bir tertibat yardımı ile tel sürme tertibatının motor devri değiştirilir.

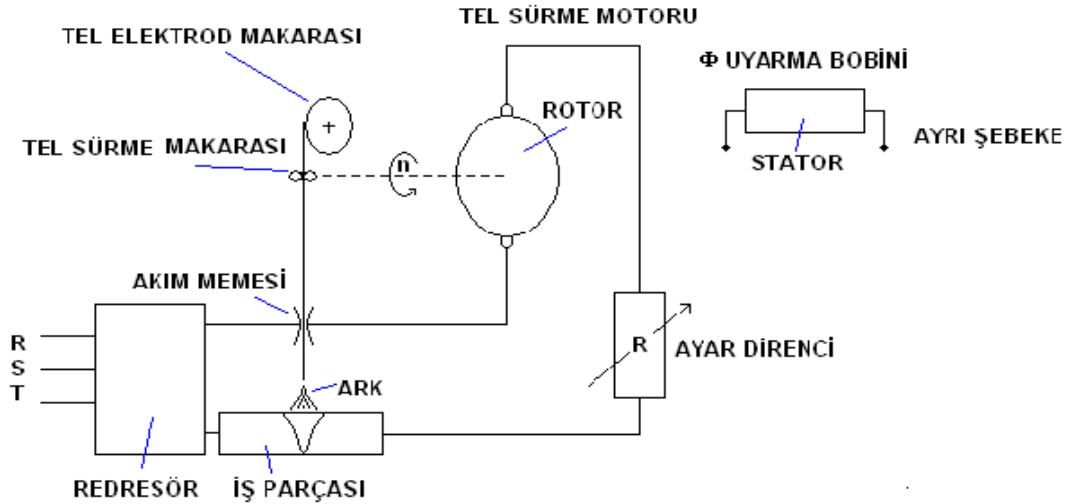
$\Delta U$  gerilim ayarlı kontrol sistemlerinde tel sürme mekanizmasını tahrik eden motorun rotoru ayarlanabilen bir direnç ( R ) üzerinden kaynak gerilimi ( U ) tarafından I akımı ile beslenmektedir. Böylece tel sürme motorundan kaynak gerilimi

ile orantılı bir elektrod sürme hızı elde edilir. Zira bu doğru akım motorunda rotor gerilimi, hız ve uyarılma arasında şöyle bir bağıntı vardır:

$$U = k * n * \Phi$$

Düşey karakterli bir makinenin L0 ark boyunda çalışması sırasında ark boyunun L1 yönünde bir değişim göstermesi kaynak gerilimini arttırır. Böylece ayarlanan referans geriliminden daha büyük bir gerilimle beslenen motor, elektrodu daha hızlı sürerek ark boyunu kısaltır, ark boyu tekrar L0 referans boyuna gelmiş olur. Bu arada çalışma noktaları arasında doğan  $\Delta I$  kadarlık bir akım değişimi de elektrod ergimesini az da olsa geciktirerek bir  $\Delta I$  kontrol etkisi ile olayı takviye eder. Herhangi bir sebeple ark boyunun referans boydan küçülmesi halinde ise ark gerilimi küçülür ve dolayısıyla rotora az gerilim gelir. Bu devir sayısını azaltır ve sonuçta elektrod sürme hızı küçülür. Böylece yine referans noktaya dönülür.

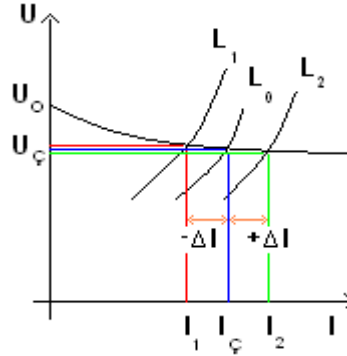
Bu ayar metodu çapı 3 mm'den büyük elektrodlarla kaynak yapan mekanize kaynak yöntemlerinde kullanılır. Bu sınır örtülü bazik elektrodlarda 2,5 mm 'dir.



Şekil 2.5 Düşey karakteristikli (  $\Delta U$  Kontrollü ) bir kaynak makinasının çalışma şeması.

Sabit gerilimli diye adlandırılan yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark geriliminin, dolayısıyla da ark boyunun az miktarda değişimine karşın akım

şiddetinde yani ergime gücünde değişim daha şiddetlidir. Bu tür kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye adlandırılan hiçbir ek donanım gerektirmeden kendinden oluşan bir ark ayarı vardır.

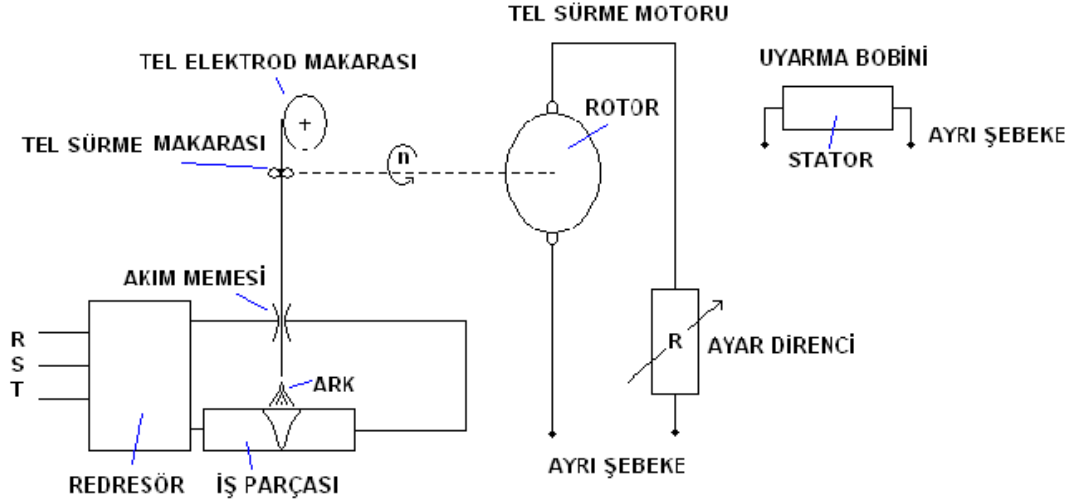


Şekil 2.6 Yatay karakteristikli kaynak makinasının çalışma eğrisi.

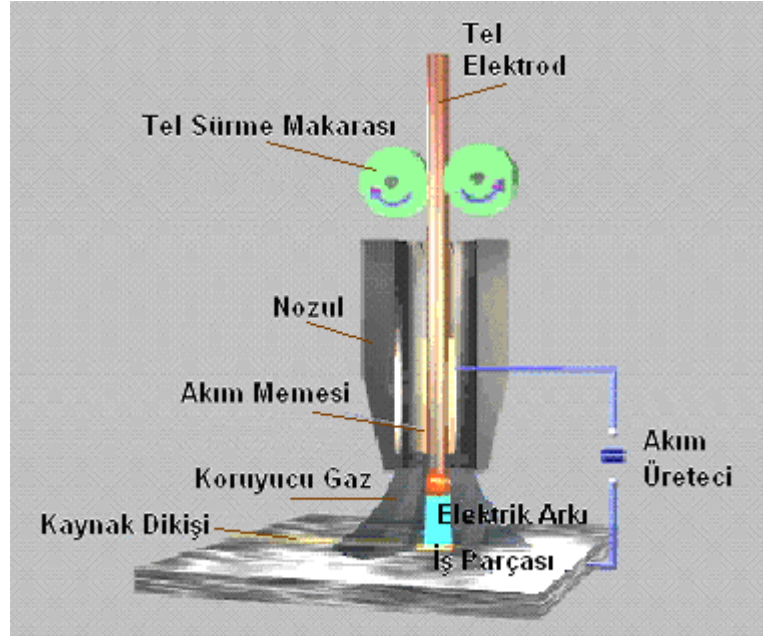
Bir potansiyometre ile doğru akım motorunun hızı, dolayısıyla elektrod sürme hızı sabit bir  $V$  değerine ayarlanmıştır. Buradaki elektrod ergime hızı sabit olan tel sürme hızına eşit olduğu müddetçe ark  $U - I$  diyagramında  $A_0$  çalışma noktası ile belirlenen bir  $L_0$  ark boyunda yanar. Ark boyu uzarsa ( $L_1 > L_0$ ) arkın direnci artar. Gerilim değişmediği için akımda  $\Delta I$  kadar azalma görülür. Akım şiddeti ile orantılı olarak değişen elektrod ergime hızı yavaşlayarak normal  $L_0$  durumundaki tel sürme hızından daha düşük olacaktır.

$$E = I^2 * R * t$$

Enerji girişi azalınca elektrod daha yavaş ergiyecek, böylece ergimesi geciken elektrod daha hızlı uzayacak ve ark tekrar  $L_0$  konumunu alıncaya kadar ark boyu kısalmaktadır. Ark boyu kısalmasında ise olay tersine olacak böylece ark, boyunu kendi kendine ayarlamış olacaktır. Bu ayar metodu çapı 3 mm'den küçük elektrodlarla kaynak yapan, ki bu sınır rutil elektrodalarda 2,5 mm'dir, mekanize kaynak yöntemlerinde kullanılır.



a)



b)

Şekil 2.7 Yatay karakteristikli (  $\Delta I$  Kontrollü ) bir kaynak makinasının çalışma şeması (a ve b).

Anlaşıldığı üzere ark boyu ayarı, yarı otomatik kaynak halinde dahi kaynakçının kişisel el becerisine bırakılmamıştır. Ark boyu kaynak akım üretcinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır.

Sabit gerilimli diye adlandırılan bu kaynak akım üretçilerinde gerilimin tamamen sabit tutulmasına olanak olmadığı böyle bir durumun oluşması aynı zamanda

sakıncalıdır. Böyle bir üretilerde elektrod iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım sonsuz yükselecektir. Bu da elektrod ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur. Bu bakımdan bu tür kaynak akım üretilerinde her 100 amper için azami 7 volt kadar ark gerilim düşümüne izin verilir.

MIG – MAG kaynak yönteminde doğru akım kullanılır. Kaynak elektrodu pozitif kutba bağlanır. Bu nedenle akım üretici kaynak koşullarına uygun doğru akım üretmek zorundadır.

#### ***2.4.1 Generatör Tip Akım Üretileri***

Bu tür üretiler şantiyelerde elektrik akımının bulunmadığı ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Dizel veya benzin motoru tarafından çalışması sağlanan generatörler hem yatay hem de düşey karakteristik ile çalışabilecek biçimde tasarlanırlar. Böylece özellikle boru hatlarının kaynaklarında hem örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağında hem de MIG - MAG kaynağında kullanılabilirler.

#### ***2.4.2 Redresör Tip Akım Üretileri***

İşletme içinde kullanılan standart akım üretilerine bir transformatör birde redresör eklenerek oluşturulan cihazlardır. Şebekeye bağlanan bu cihazlar monofaze veya trifaze akım ile çalışırlar. Trifaze akım ile çalışan üretiler gerek daha kararlı bir kaynak arkı oluşturmaları gerekse şebekeyi dengeli bir şekilde yüklemeleri nedeniyle tercih edilirler

#### ***2.4.3 Darbeli Akım Üretileri***

İyi bir nüfuziyet istenen fakat parçaya ısı girdisinin sınırlandırıldığı durumlarda darbeli doğru akım üretilerinden yararlanılır. Bu üretilerde üretilen akım şiddeti önceden belirlenmiş iki değer arasında ve istenilen frekanslarda değişir. Bu sistemin üstünlüğü, tel elektrottan ergiyen damlaların kaynak banyosuna geçişini temel ve darbe akım şiddetine göre iki farklı hızla gerçekleştirmesidir. Darbe akımı sırasında



kaynak metali hızlı bir biçimde ergir ve kaynak banyosuna taşınır. Bunu takip eden temel akım periyodunda elektrot ucunun ergimesi azalır hatta hiç ergimemeside sağlanabilir. Bu durumda kaynak banyosuna ısı girdisi azaldığından banyo kısmen katılaşmaya başlar. Bu durum her pozisyonda kaynak yapma işlemini kolaylaştırır. Temel akım şiddeti arkın sönmeyeceği bir değerde tutulduğu için ark sönmeyen gelen darbe akımı ile tekrar elektrodu ertir ve sistem bu şekilde işlemeye devam eder. Böylece arkın yeniden tutuşturulması sorunu ortadan kalkmış olur.

#### ***2.4.4 İnverter Tür Akım Üreteçleri***

Kaynak teknolojisindeki en son gelişmelerden bir tanesi de inverter tür akım üreteçlerinin uygulamaya girmiş olmasıdır. İnverterler daha önce uçak endüstrisinde kontrol devrelerinde doğru akım üretiminde kullanılmaya başlanmış olup tecrübelerle bunların kaynak endüstrisinde de kullanılmasına olanak sağlanmıştı.

Alışılmış kaynak akım üreteçlerinde şebekeden çekilen alternatif akım direkt olarak bir transformatöre girer. Burada akımın frekansı değişmez, sadece gerilimi ayarlanır. Bu akım redresörde doğrultularak ve filtre edilerek kaynak için gerekli koşullardaki doğru akım elde edilir. Kontrol devrelerinde çıkış akımından aldıkları sinyalleri giriş kontrol sinyalleri ile karşılaştırarak redresör çıkışını tayin eder. İnverterlerde ise şebekeden çekilen alternatif akım önce bir redresöre girerek doğru akıma dönüştürülür. Bu akım CHOOOPER diye adlandırılan özel bir cihazda yüksek frekanslı alternatif akım haline dönüştürülür. Kaynak işlerinde kullanılan inverterlerde bu frekans 20000 Hz mertebesindedir. Bu yüksek frekanslı alternatif akımın gerilimi transformatörde, kaynak için uygun değere indirilir. Buradan çıkan akım aynen alışılmış redresörlerde olduğu gibi bir redresörde doğrultulur. Bir filtreden geçirilerek kaynak için gerekli koşullarda gerekli akım elde edilir. Sonuç olarak gerek alışılmış akım üreteçlerinde ve gerekse de inverterlerde şebeke akımı kaynak için gerekli koşullardaki doğru akıma dönüştürülmüş olur ama burada inverterin sağladığı çok önemli üstünlükler vardır.

- Transformatörlerin büyüklüğü alternatif akım frekansı ile ters orantılıdır. Frekans büyüdükçe transformatör küçülür. Aynı akım gücündeki bir normal redresör ve inventer karşılaştırıldığında inventerin ağırlık olarak % 25, ve boyut olarak da % 33 daha küçük olduğu görülür.

- İnterterler daha yüksek bir verim ve daha büyük bir güç faktörüne sahiptirler. Dolayısıyla inventer kullanımı halinde elektrik giderlerinde önemli bir azalma ortaya çıkmaktadır. Özellikle 200 A in altındaki akım şiddetleri ile çalışma halinde bu verimlilik daha da büyümektedir.

- İnterterin en önemli avantajları kaynak arkının stabilitesinin, performansının, ve kontrol kabiliyetinin artmasıdır. Kontrol devresi inventerlerin çıkışını saniyede 20000 kez değiştirebilmekte ve ark kontrolünün çok hassas bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır. Küçük transformatörler değişimlere alışmış makinalarda kullanılan büyük transformatörlerden daha az direnç göstermekte ve daha hızlı bir uyum sağlayabilmektedir.

- İnterterlerin indüktans üzerinde daha etkin bir kontrol sağlaması kaynakçıya kaynak arkını çok yumuşak bir ark halinde delici ve derin nüfuziyet sağlayan kaynak yapma olanağı sağlar. Bu olay ise kısa ark ile karşılaşılan yanma oluşu, soğuk kalmış bölge oluşumu tehlikesini ortadan kaldırdığı gibi bu tür çalışmada görülen büyük miktarda sıçramanın azalmasını da sağlar.

İnterterin bu üstünlükleri darbeli ark sistemi ile birleştirildiğinde saf CO<sub>2</sub>'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde bile sıçrama görülmez

## **2.5 Mig – Mag Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar**

Gazaltı kaynak yönteminde üç çeşit sarf malzeme mevcuttur. Bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve ek kaynak metali olup kaynak bölgesinin kimyasal bileşimi ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir.

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

MIG - MAG kaynağında soygazlar, aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlardaki karışımları kullanılır. Genel olarak soygazlar diğer elementlerle etkileşime girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve soy gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır. Kaynak işlemi için yapılan gaz seçiminde çeşitli etmenlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlar:

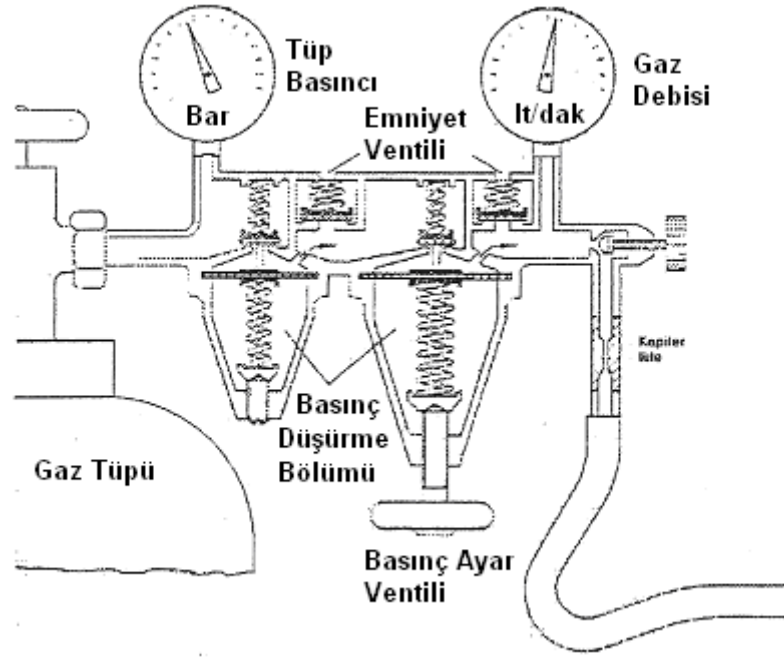
- Kaynatılan metal veya alaşımın kimyasal yapısı
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi
- Kaynak hızı
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler.
- Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenme yöntemi.
- Elde edilebilirlik ve gazın maliyeti

### **2.5.1 Koruyucu Gaz Sağlama Sistemleri**

MIG –MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar ülkemizde basınçlı tüplerden sağlanır. Ülkemizde kullanılan tüpler TS 1519 standardına uygun olarak üretilirler. Bu standart DIN 4664 standardı ile paralellik göstermektedirler. Tüplerin boyunları üzerinde standartlara uygun olarak tüp ile ilgili bilgiler gömme olarak ve silinmeyecek şekilde yazılmışlardır. TS 1519'a göre tüplerin tanıtma renkleri:

- Sarı : Asetilen tüpleri
- Mavi : Oksijen tüpleri
- Yeşil : Azot tüpleri
- Kırmızı : Yanıcı gaz tüpleri
- Gri : Diğer gazlara ait tüpler

Kaynak için gerekli olan gaz, tüp içindeki veya merkezi buharlaşma ünitesinin çıkışındaki basınçta kullanılmaz. Bu bakımdan yeterli debide gaz sevk edebilmek için tüp çıkışına veya merkezi dağıtım hatlarına ait tüketim noktalarına bir basınç ayar ventili ile akış ölçer diye adlandırılan aynı zamanda da kaynak bölgesine sevk edilen gazın miktarını ölçen bir cihaz takılır. Tüpe yakın konumlu olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini gösterir. Gaz debisi bu şekilde ölçölüp ayarlanabildiği gibi akış ölçer adı verilen konik bir cam tüp içindeki hareketli bir bilye ile de ayarlanabilir. Gaz tüplerine takılan basınç ayar ventilleri sadece belirli bir gaz türü için olduklarından sadece tasarlandıkları gaz türleri ile kullanılmalıdırlar.



Şekil 2.8 Koruyucu gaz sağlama sistemi.

CO<sub>2</sub> tüpleri içinde gaz sıvı haldedir. Bu nedenle içerdikleri sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 veya 30 kg'lık olmak üzere sınırlandırılırlar. 1 kg'lık CO<sub>2</sub> teknik olarak 540 lt koruyucu gaz sağlayabilmektedir. Bu yöntemde koruyucu gaz olarak birçok gaz çeşidi kullanılabilir.

### 2.5.2 Soygazlar

Soy gazların dış kabukları elektron taşıma kapasiteleri açısından tam dolu olması, diğer bir deyimle dış kabuğu kapalı olması nedeniyle diğer elementlerin atomlarıyla elektron alış verişinde bulunmazlar, yani kimyasal reaksiyona girmezler. Bu bakımdan yöntemin ilk gelişme yıllarında koruyucu gaz olarak sadece helyum ve argon gibi soy gazlardan yararlanılmıştır.

### 2.5.2.1 Argon

Sıvı metaller içinde çözülmeyen ve yoğunluğu havadan daha yüksek olduğu için özellikle yatay kaynak pozisyonlarında kaynak bölgesi üzerinde çok etkin bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu koruyan argon genellikle havanın sıkıştırılması sonucunda oksijen ve azotun ayrıştırıldığı tesislerde yan ürün olarak elde edilmektedir.

MIG – MAG kaynak yöntemi için argon ve argon içeren gaz karışımları gerek koruyucu gaz gerekse de kök gazı olarak düşük iyonizasyon potansiyeline sahip olmaları nedeniyle en uygun özellikleri göstermektedirler. Arkın tutuşması kolaydır ve alternatif akımla yapılan alüminyum ve magnezyum kaynağında çok üstün oksit temizleme etkisi gösterirler.

Argon gazı içinde oluşan arkın gerilim düşümü, diğer koruyucu gazlara ( örneğin Helyum ) nazaran daha azdır, ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeniyle ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşüktür. Sütunun merkezinde gerek metal buharları gerekse damla geçişi dolayısıyla sıcaklık daha yüksektir. Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarında daha azdır. Argonun iyonizasyon potansiyelinin helyuma nazaran daha düşük olması, çalışma akımında ark geriliminin daha düşük olmasını sağladığından özellikle ince parçaların kaynağında helyuma tercih edilir.

Alüminyum ve Bakır gibi metallerin kaynağı için uygun olan Argon çeliklerin kaynağında ancak başka gazlar ile karıştırılarak kullanıldığında iyi sonuçlar vermektedir.

Titanyum, tantal gibi bazı özel metallerin ve alaşımların kaynağında kullanılan Argon gazının saflık derecesi kaynak hatalarının oluşmaması için çok önem taşımaktadır.

### 2.5.2.2 Helyum

Helyum günümüzde doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilen bir soygaz olup, ABD ve Sovyetler Birliği ülkelerinde kolay ve ekonomik olarak temin edilebilmektedir. Atmosferde çok az miktarda bulunan helyumu ayrıştırmak ise henüz mümkün değildir. Helyum ısıyı iyi ilettiğinden koruyucu gaz olarak kullanılması halinde derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Helyumun iyonizasyon potansiyeli Argona nazaran daha yüksek olduğundan helyum atmosferinde oluşan kaynak arkı daha yüksek enerjilidir. Bu nedenle ısıyı iyi ileten bakır, alüminyum ve magnezyum gibi metallerin kalın kesitlerinin kaynağında koruyucu gaz olarak helyum kullanıldığında ön ısıtma gerektirmez. MIG – MAG kaynağı uygulamalarında daha geniş ve argona nazaran da daha derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Bu durum yüksek hızda çalışan mekanize kaynak uygulamalarında önemli bir üstünlük olarak karşımıza çıkar. Helyum argona nazaran on kat daha hafif olduğundan gerekli korumanın sağlanması için kullanılması gereken gaz miktarı artmaktadır. Örneğin yatay pozisyonlarda aynı koşullarda argonun yaptığı korumayı sağlayabilmek için 3 kat daha fazla helyuma ihtiyaç vardır. Uygulamada gerek ekonomik gerekse de teknolojik nedenler ile argon–helyum karışımları tercih edilir. İstenen kaynak bağlantısı özelliklerine göre gazların karışım oranları ayarlanır.

### 2.5.3 Karbondioksit

Soy gaz olmayan karbondioksit argon ve helyum gibi renksiz kokusuz  $1.977 \text{ kg/m}^3$  özgül ağırlığı ile havadan yaklaşık 1,5 kat daha ağır olan bir gazdır. Karbonun yanması sonucunda elde edilen karbondioksit, yanıcı gazlardan, akaryakıtlardan, kok kömürünün yanmasından, kireç taşının kalsinasyonundan, amonyak üretiminden, alkolün fermantasyonundan yan ürün olarak ve bazı bölgelerdeki kuyulardan doğrudan elde edilebilir.

Genel olarak kaynak uygulamalarında karbondioksit basınçlı tüplerden çekilerek kullanılır. Karbondioksit tüpleri  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  de yaklaşık 65 ATM basınçta doldurulur. Karbondioksit işletmelere genellikle tüp içinde getirilir. Tüpün içindeki

karbondioksitin büyük bir bölümü sıvı halde iken sıvının üst kısmındaki yaklaşık tüpün 1/3 'lük bölümü ise gaz fazındadır. Kayak işlemi sırasında tüketime bağlı olarak tüpten gaz çekildikçe gaz fazın basıncı düşerken sıvı haldeki karbondioksit buharlaşarak basıncı sabit tutar. Sıvı haldeki karbondioksitin buharlaşması sırasında buharlaşma ısısına gerek vardır. Bu enerji tüp tarafından atmosferden çekilerek sağlanır; bu bakımdan standart bir tüpten bir anda çok fazla miktarda gaz çekme olanağı yoktur; zira buharlaşma ısısının çekilmesi sonucu sıcaklık düşer ve sıvı karbondioksit zerrecikleri karbondioksit karına dönüşür, çıkış borusuna ve basınç düşürme tertibatını tıkar; bu nedenle bir tüpten sürekli olarak 12lt/dak'dan daha büyük debilerde gaz çekilmemesi gereklidir, sürekli olmamak koşuluyla bu değer 17lt/dak'ya kadar çıkabilir. Bu debiden daha fazla gaz talebi olan durumlarda tüpün bir manifold ile bağlanarak kullanılması gereklidir. Soğuk ortamda yapılan çalışmalarda ise karbondioksit karı zerreciklerin çıkış ağzını tıkamaması için, buraya elektrikli bir ısıtıcı takılması şiddetle önerilir.

Tüp içinde karbondioksitin çok büyük bir kısmının sıvı halde bulunması nedeni ile hiçbir zaman bu tüpler eğik veya yatay durumda kullanılmamalıdır; karbondioksit tüpleri kullanma sırasında dik durumda tutulmalıdır. Birçok aktif gazın kaynaқта koruyucu gaz olarak kullanılmaya uygun olmamalarına karşın karbondioksit sunduğu çok sayıda üstünlük dolayısı ile az alaşımli ve yalın karbonlu çeliklerin ve gazaltı kaynağında yeni olanakların ortaya çıkmasına neden olmuş çok büyük çapta bir uygulama alanı bulmuştur.

Karbondioksitin çeliklerin kaynağında sunduğu üstünlükler derin nüfuziyet daha yüksek kaynak hızları ve düşük kaynak maliyeti olarak sıralanabilir. Karbondioksit ile düşük akım şiddetleri ve ark gerilimlerinde kısa ark ile, yüksek akım değerlerinde ise uzun ark ve damlasal metal geçişi ile kaynak yapma olanağı bulunmaktadır.

Karbondioksitin aktif bir gaz olması nedeniyle karbondioksit atmosferi altında yapılan diğer bir değimle koruyucu gaz olarak karbondioksit kullanılan kaynak yöntemine METAL ACTIVE GAS kelimelerini baş harflerinden faydalanılarak MAG adı verilmiştir.



Karbondioksit, argon gibi mono atomik ve soy bir gaz olmadığından arkın yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ark sütunu içinde iyonize olan gazlar kaynak banyosuna doğru gelir ve bir miktar tekrar karbondioksit haline geçer. Dolayısıyla ayrışma sırasında almış olduğu ısıyı tekrar verir. Bu durum dikişte nüfuziyetin artmasına neden olur. Serbest kalan oksijenin bir kısmı da kaynak banyosundaki elementlerle özellikle demirle birleşir. Banyo içindeki demiroksit, mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Kaynak banyosundaki bu mangan ve silisyum kaybı kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için üretilmiş teller MAG yönteminde kullanılmaz.

MAG kaynağında kaynak işlemi sırasında bir miktar alaşım elementi oksidasyona uğradığından dikişin üzerinde çok ince ve kolayca temizlenebilen bir curuf tabakası oluşur.

#### ***2.5.4 Karışım Gazlar***

Koruyucu gazın seçiminde kaynak ile birleştirilecek metalin özelliklerinin yanı sıra koruyucu gazın ekonomikliğı ve kaynak işlemi sırasındaki özellikleri de göz önüne alınmaktadır.

Gazların ayrışma enerjileri, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları, ısı ve elektrik iletim özellikleri, maliyetleri büyük farklılık göstermektedir. Bunun sonucunda arkın oluşumu, kaynak işlemi sırasındaki davranışı, ark atmosferinin karakteri, ark içinde malzemenin taşınımı vb. özellikler farklılıklar göstermektedir. Sadece tek bir gaz kullanıldığında gazların her biri bir takım üstünlükler ve sınırlamalar gösterdiklerinden, günümüzde gazların iyi özelliklerini en verimli şekilde kullanabilmek ve sınırlamaları da en aza indirebilmek için MIG – MAG kaynak yönteminde çeşitli karışım gazları kullanılır.

#### 2.5.4.1 Argon – Helyum Karışımları

Argon ve helyum karışımları hem argonun hem de helyumun en üstün özelliklerini bir arada elde edebilmek amacı ile geliştirilmiş ve bu sayede nüfuziyet ve ark kararlılığı optimize edilmiştir. Uygulamada bu iki gazın %80 He - %20 Ar'dan %25 He - %75 Ar'a kadar çok değişik karışımları ile karşılaşılmaktadır.

Helyum'a %25 argon eklenmesi ile saf Argon haline göre daha derin bir nüfuziyet ve saf Argon halinden daha üstün ark kararlılığı bir arada elde edilebilmektedir.

Ar – He karışımı gazlar Alüminyum, Magnezyum, Bakır ve Nikel alaşımlarının kaynağında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu karışımlar saf Argon haline nazaran daha kontrol edilebilir bir ark oluşturmakta ve daha az miktarda gözenek oluşumuna neden olmaktadır.

#### 2.5.4.2 Argon – Karbondioksit Karışımları

Koruyucu gazların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin yanışlı bir ark ile kaynak yapabilmek için her bir gaza belirli bir ark gerilimi ve ark şiddeti uygulamak gerekmektedir.

Örneğin; karbondioksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek vardır. Bunun sonucu olarak iri taneli, sıçrantılı bir damla geçişi oluşur ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Yalın karbonlu çeliklerin CO<sub>2</sub> gazı altında kaynağı ekonomik açıdan çok uygun olmasına karşılık düzgün olmayan kaynak dikişi yüzeyleri bazı durumlarda olumsuz etki yaratan derin nüfuziyet ve arkta metal taşınım türünün etkisi nedeni ile ortaya çıkan aşırı sıçrantı gibi olumsuzluklar da zaman zaman kendini etkin bir biçimde hissettirmektedir. Yüksek miktarda sıçrantı kaynak kalitesini düşürmesinin yanı sıra kaynak metali verimi ve sıçrantıların temizlenmesi işlemi nedeni ile de maliyeti etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Oysa ki Argon'a Oksijen veya Karbondioksit gazlarının

karıştırılması ile oluşan ekzoterm oksitlenme reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar. Böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş, aşırı sıçrantı ise giderilmiş olur.

Ar – CO<sub>2</sub> oranını değiştirerek arkta metal taşınımı türünü ve kaynak nüfuziyet profilini kontrol altında tutmak olanağı vardır.

Oksijenin oksitleyici etkisi oksijene karşı büyük bir ilgisi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir.

Argon gazına az miktarda oksijen eklenmesi ( %1 - % 5 ) arkın stabilizasyonunun iyileştirilmesini ve sıçrantının azaltılmasını sağlamıştır.

Oksijen katılması daha derin nüfuziyetin ve daha düzgün bir dikiş profilinin oluşmasına olanak verdiği gibi saf argon ile çeliklerin kaynağında karşılaşılan yanma oluklarının oluşumunu da ortadan kaldırmaktadır.

#### 2.5.4.3 Helyum – Argon – Karbondioksit Veya Oksijen Karışımları

Helyum – Argon – Karbondioksit karışımı gazlar kısa ark boyu ile kaynakta kaynak banyosunun ıslatma özelliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. %90 He, %7,5 Ar ve % 2,5 CO<sub>2</sub> karışımı koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark boyu ile çalışma ve daha az aktif bir atmosfer oluşturarak paslanmazlık özelliğini korumak için kullanılmaktadır. Bu karışım az alaşımlı çeliklerin kaynağında da kaynak metalinin tokluğunu geliştirmek için uygun sonuçlar vermektedir. %69 Ar, %30 He ve % 1 O<sub>2</sub> den oluşan yeni bir koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında özellikle kaynak banyosunun viskozitesi, esas metali ısıtma özelliği, arkın kararlılığı ve sıçrantının azalması bakımından çok uygun sonuçlar vermektedir. Ayrıca bu gaz ile çalışmada kaynak metalinde karbon kapma tehlikesi ve hidrojen gevrekliği olayı da ortadan kalkmaktadır. Bu gazın diğer önemli bir özelliği de kısa ark, spreyci ark ve darbeli arkta da çok iyi bir şekilde kullanılabilmesidir.

Günümüz endüstrisinde standart karışım gazlar ve gaz üreten kuruluşların geliştirip piyasaya sürdükleri özel karışım gazlar piyasadan kolaylıkla tüpler içinde temin edilebilmektedir. Karışım gazlar halinde tüpün içinde farklı yoğunlukta ve bazı hallerde bir bileşenin sıvı halde bulunması bir takım sorunlar yaratmaktadır. Karışım gaz tüpleri uzun süre kullanılmadıkları durumlarda kullanıma başlamadan önce tüp yuvarlanarak çalkalanmalı ve gaz karışımı homojen hale getirilmelidir. CO<sub>2</sub> içeren karışımlarda tüplerin iç kısmında tüp vanasına bağlı sifonlar vardır. Bu nedenle bu tip tüpler sadece o tür karışım gazlar ile doldurulmalıdır.

Çeşitli bileşimde karışım gazların kullanıldığı veya tek tür karışım gaz tüketiminin çok fazla olduğu iş yerlerinde tüp içinde hazır karışım gaz yerine gaz mikserleri kullanılarak karışım gazın istenen bileşimde kaynaktan önce hazırlanması çok daha ekonomik sonuçlar vermektedir. Gaz mikserleri, özel debimetreler ile donatılmış 2 veya 3 girişi ve bir çıkışı olan cihazlardır. Bunlar ile çeşitli koruyucu gazlar istenen oranda hassas bir biçimde karıştırılabildiği gibi istenen anda da gaz karışım oranını değiştirmek olanağı mevcuttur.

## **2.6 Mıg – Mag Yönteminde Kullanılan Tel Elektrodlar**

Bu yöntemde kullanılan tüm elektrodlar tel halindedir ve bir kangala sarılmış olarak makineye takılır, kangal büyüklükleri ve tel çapları standartlarla saptanmıştır.

Paslanmaz çelik elektrot dışındakiler gerek temas memesinden geçerken temas kolaylığı sağlamak gerekse de korozyondan korumak amacı ile ince bir bakır tabakası ile kaplanır. Bu tabakanın kalınlığı ilgili standartlarla belirlenmiştir.

Son yıllarda kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere özlü elektrot diye isimlendirilen bir tür elektrod daha geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeridin ferroaliyaj ve dekapanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmiştir. Bu şekilde tel halinde

üretilmesi güç veya olanaksız bileşimdeki alaşımlar dahi kolaylıkla elektrod haline getirilebilmektedir.

Elektrodun bileşiminde hangi türden değişiklikler yapılırsa yapılısın elektroda oksit gidericiler ve temizleme etkisine sahip diğer elementler ilave edilir. Bu, kaynakta gözenekliliği en aza indirmek ve kaynak metalinde iyi metalik özellikleri sağlamak amacı ile yapılır. Güvenilir kaynak dikişleri elde edebilmek için uygun oksit gidericileri uygun miktarlarda ilave etmek gerekir.

Çelik elektrotlarda sıkça kullanılan oksit gidericiler manganez, silisyum ve alüminyumdur. Nikel alaşımlı elektrotlarda kullanılan temel oksit gidericiler ise titan ve silisyumdur. Bakır ve bakır alaşımı elektrotlarda ise bu amaçla titan, silisyum veya fosfor kullanılır.

Gazaltı kaynağında kullanılan elektrotlar tozaltı ark veya özlü elektrotla ark kaynağında kullanılanlara nazaran çok daha küçük çapa sahiptirler. Genelde elektrot çapları 0,8 ile 1,6 mm arasındadır. Ancak 0,5 mm ye kadar ince ve 3,2 mm ye kadar kalın çaplı elektrotlar kullanılabilir. Elektrot çaplarının küçük olması ve akım şiddetinin göreceli olarak yüksek olması elektrot besleme hızlarının yüksek olmasını gerektirir. Besleme hızları magnezyum hariç çoğu metaller için 40 ile 340 mm/s arasında değişir. Magnezyumda ise üst değer 590 mm/ s ye kadar çıkabilir. Böylesine hızlar için elektrotlar uygun, şekilde temperlenir, uzun ve sürekli tel halinde hazırlanarak kaynak ekipmanı boyunca sürekli ve yumuşak bir biçimde beslenirler.

Gazaltı kaynağı birleştirme amacıyla kullanıldığı gibi malzeme yüzeyine aşınma veya korozyon direnci kazandırmak veya bir başka amaç için yüzey dolgusu olarak da geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yüzey doldurma sırasında kaynak metalinin esas metalle karışması göz önüne alınması gereken en önemli konudur. Bu ark karakteristiğinin ve tekniğin bir fonksiyonudur. Gazaltı kaynağında metal iletim tipine bağlı olarak %10 dan %50 ye kadar değişen karışım oranları ortaya çıkabilir. Bu nedenle yüzeyde istenen dolgu biçimini elde edebilmek için birden fazla katlı dolgu işlemi gerekebilir.

## 2.7 Tel Sürme Tertibatı

Tel sürme tertibatı, tel elektrodu makaradan çekerek eriyen elektrod miktarını karşılayacak bir hızla ark bölgesine sevk eden bir mekanizmadır. Çalışma prensiplerine göre çekme ve itme türü tertibatlar olmak üzere iki çeşittir.

Kaynak akım üreticinin yatay karakteristikli doğru akım ve sabit gerilimli olması halinde tel sürme tertibatının motoru uygulanan akım şiddetine bağlı olarak sabit bir hızda döner. Çok kalın tel elektrodların kullanılması halinde düşey karakteristikli sabit akımlı kaynak akım üreteçleri gerekli olmaktadır. Bu durumda tel sürme tertibatının motoru sabit devirde dönmez, ark boyuna göre hızını ayarlar.

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

Makaralı tertibatlarda, tel iki veya dört makara arasından geçerken üzerlerinde tel çapına uygun kanal açılmış, elektrodun sert olması halinde makaralara teli kaydırmamaları için tırtırlar açılmış alt makaralar istenen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerler.

Yumuşak malzemelerden yapılmış kaynak telleri ile özlü elektrodlar kullanılması halinde makara basıncının olabildiğince azaltılması gerektiğinden dört makaralı ve dördü de tahrikli tel sürme tertibatlarının kullanılmasıyla daha iyi sonuç alınmakta, doğal olarak bu tip elektrodlar kullanıldığında makaraların profili, tırtırların biçimi ve kalitesiyle makara basıncının ayarı da büyük önem taşımaktadır.

Tel bobinden çekilirken tam düz değildir ve bu şekilde tel kaynak bölgesine sevk edilirken spiral kılavuz içinde sürtündüğünde sürme tertibatı zorlanır. Bu durum tel ilerleme hızının düzensiz olmasına neden olur ki bu olayda kaynak dikişinin kalitesini etkiler.

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

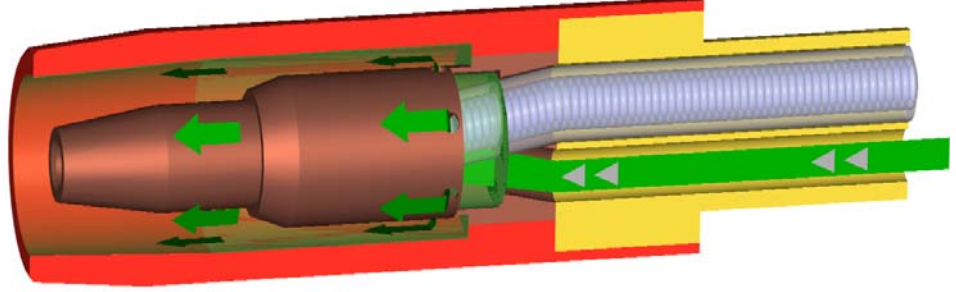
Dönel veya planet sistemi tel sürme tertibatlarında eksenleri birbirine göre çarpık üç adet rulo arsından geçen tel, bunların bağlı bulunduğu gövde döndürüldüğünde ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizerken tel dönmediği içinde bir ilerleme hareketi yapar. Bu sistemin en büyük üstünlüğü tel elektrodu çok iyi bir şekilde doğrultmasıdır.

Planet sistemi tel sürme mekanizmaları, teli çok iyi doğrulttuğundan tel ile spiral kılavuz arasındaki sürtünme azalır, böylece daha uzun torç bağlantı paketi kullanılabilir. Ancak bu sistem ince ve yumuşak metallere yapılmış tel elektrodlar ile özlü elektrodlar için uygun değildir.

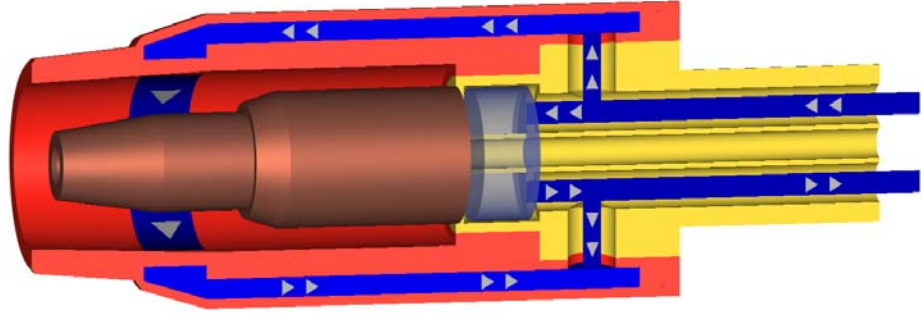
## **2.8 Su Soğutma Sistemi**

Özellikle MIG \_ MAG kaynak sistemleri otomatik veya mekanize sistemler yardımıyla uygulamalarda yüksek akım şiddetleri ile daha yoğun bir tempo ile çalışır. Böyle durumlarda hava ile soğutulan torçlar ( bakınız şekil 2.6.a ) beklenen verimi vermediğinden su soğutmalı torçlar ( bakınız şekil 2.6.b ) tercih edilir. Prensip olarak su doğrudan musluktan alınarak kanalizasyona verilerek de soğutma işlemi gerçekleştirilebilse de bu yöntem pek tercih edilmez. Genelde bir su deposu ve soğutmayı sağlayan fanlı bir radyatör ile pompadan oluşan kapalı sistem su soğutucular kullanılır. B u şekilde su içine konulan inhibitörler ile korozyon tehlikesi en aza indirgenir. Suyun sertliği en aza alınabilir. Ayrıca su sürekli olarak filtre edilerek, dar su kanallarının pislik vs ile tıkanması önlenir. Ayrıca sistem suyunun sıcaklığının 60 C yi aşmaması için termostatlı debi ayar kontrolü yapan bir sisteme sahiptir. Su doğrudan bu sistemden torca hortum ile sevk edilmez. Soğutucunun hortumları kaynak donanımının kumanda dolabına bağlanır. Onun kontrolünde torca

ulaşır. Su seviyesinde bir tutukluk ortaya çıkarsa otomatik olarak kaynak akımı kesilir.



Şekil 2.9 a) Hava soğutmalı nozul.



Şekil 2.9 b) Su soğutmalı nozul.

## 2.9 Mig/Mag Kaynak Torçları

MİG/MAG kaynağında kullanılan torçlar yapılan kaynağın kalitesine etki ettiği için torç seçimi büyük önem taşır. Başarılı bir kaynak işlemi için uygun torç seçiminde;

- Kullanılan akım üreticinin maksimum gücü,
- Kullanılacak tel elektrod çapı,
- Kaynak yapılacak malzeme kalınlığı,
- Çalışma süresi,
- Ergonomi,



büyük önem taşır.

MİG/MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi, elektrodun kaynak bölgesine iletilmesi ve kaynak bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli soğutulması gerekir. Düşük akım şiddetlerinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğutmayı yapabilmekte iken büyük çaplı elektrodlar yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde koruyucu gaza ilave olarak su ile soğutma da yapılmalıdır. Su ile soğutma doğal olarak düşük akım şiddetlerinde de daha iyi bir soğutma sağlasa da, uygulamada torçta sızdırmazlığın sağlanması için kullanılan contaların bakımı külfetli olduğundan, ayrıca bu sistem torcu ağırlaştırdığından tercih edilmez. Bu nedenlerle deneysel çalışmamız düşük akım şiddetlerinde de kullanılabilecek bir nozul soğutma aparatı yardımıyla yapılmıştır.

Bu yöntemde tel elektrod sürekli ilerlediği için tele elektrik iletimi kayar bir temas elemanı ile sağlanır. Tel, torcu terk etmeden önce bakır esaslı bir akım memesi içinden geçerek kaynak akımı ile yüklenir. Torcun ağız bölgesinde bulunan nozul koruyucu gaz akımını düzenli (laminar) olarak kaynak bölgesine sevk eder.

Torcun ark sıcaklığından en fazla etkilenen parçaları nozul ve akım memesidir. Yüksek sıcaklık nedeniyle tel elektroda kaynak akımının yüklendiği akım memesindeki deliğin büyümesi nedeniyle, tel elektroda elektrik akımının geçmesi, dolayısıyla arkın tutuşması zorlaşır. Bu durumu ortadan kaldırmak için akım memesinin aşırı ısınması önlenmelidir. Yüksek akım şiddetinde, düşük koruyucu gaz debisinde vb. şartlarda yapılan kaynak işlemleri sırasında kaynak banyosunda sıçrayan metal damlacıkların nozulun iç yüzeyine yapışması gazın akışını düzensizleştirdiğinden kaynak bölgesi tam anlamıyla atmosferik etkilerden korunamaz. Bu nedenle nozulun belirli aralıklarla temizlenmesi veya değiştirilmesi gerekir.

### ***2.9.1 Torç Bağlantı Paketi***

Torç, kaynak makinasına içinde tel elektrod kablosunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş- gidiş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli kalın bir hortum ile üretece bağlanmıştır. Bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı verilir.

Kullanılan tel elektrodun malzemesine göre çeşitli türde klavuzlar bulunur. Klavuz, tel iletme tertibatından temas memesine kadar elektrodun iletilmesini sağlar. Kullanılan klavuz hortumun çapı elektrod çapına göre seçilir. Klavuzun boyu normal kaynak makinalarında 3 – 3,50 metre arasında değişmekte 3,50 metreden uzun klavuz kullanılması gerektiğinde ikinci bir tel çekme tertibatı olan özel bağlantı paketleri kullanılmaktadır.

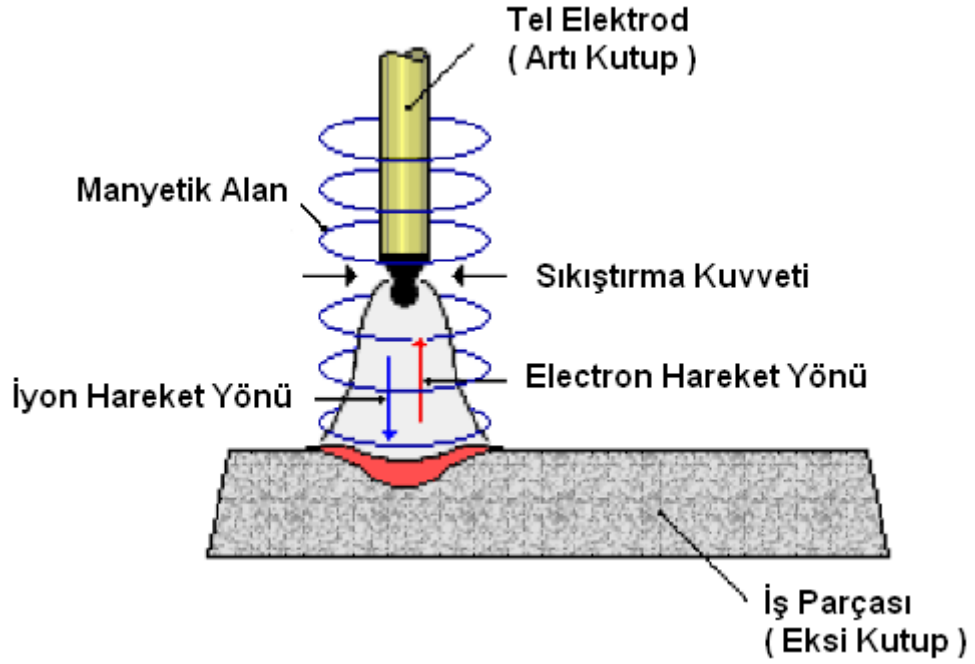
## BÖLÜM ÜÇ

### TERMİK SIKIŞTIRMA VE UYGULAMALARI

#### 3.1 Manyetik Sıkıştırma

##### 3.1.1 Plazmanın Kendi Manyetik Alanından Dolayı Ortaya Çıkan Sıkıştırma:

Plazmayı içinden akım iplikçikleri geçiyormuş gibi düşündüğümüzde ve bu akım iplikçiklerinin de merkezden dışa doğru git gide azaldığını düşünürsek; içinden akım geçen bir iletken çevresinde yönü sağ el kaidesi ile belirli olan bir manyetik alan oluşur. Paralel iki iletkenen akım geçirilirse iletkenlerden birinin oluşturduğu manyetik alan diğer teli içine aldığından bu tel üzerinden akan akımı oluşturan taneciklere



Şekil 3.1 Manyetik sıkıştırma.

$$F = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$$

F = Lorentz kuvveti

I = Kuvvetin etkilediği telden geçen akım

$B$  = Kuvvetin etkilediği teli içine alan manyetik alan

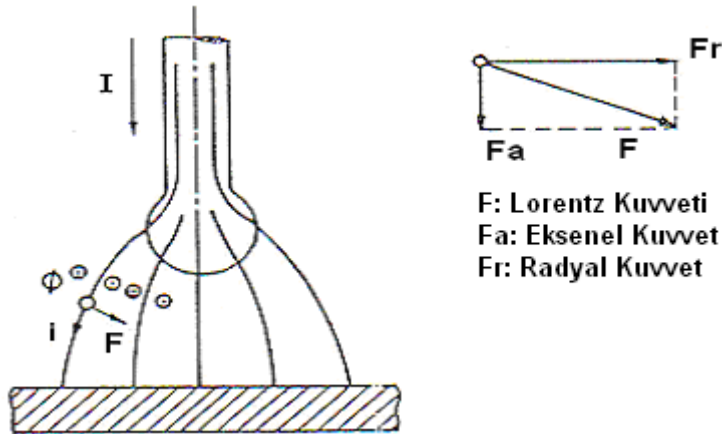
$\ell$  = Kuvvetin etkilediği telin boyu

$\alpha$  =  $B$  ile  $\ell$  arasındaki açı

formülü ile hesaplanabilen ve Lorentz Kuvveti diye adlandırılan bir kuvvet etki eder. Bu kuvvetler tellerden aynı yönde akım geçerse birbirlerini çekerler. Plazma içerisindeki akım iplikçiklerini de içinden aynı yönde akım geçen paralel teller olarak düşünersek, bütün teller birbirini çeker. Ancak plazmanın merkezinde akım iplikçikleri daha yoğun olduğundan akım iplikçikleri merkeze yakın kısımdaki iplikçikler tarafından daha fazla çekilirken, dış kısımdaki iplikçikler ise sadece içteki iplikçikler tarafından çekildiğinden plazmayı oluşturan akım iplikçikleri dıştan içe doğru çekilerek plazmanın sıkışmasına ve enerji yoğunluğunu artırmasına neden olur. Bu durum plazmanın kendi kendini sıkıştırmasıdır.

### 3.1.2 Plazmanın Dışarıdan Tatbik Edilecek Bir Manyetik Alanla Sıkıştırılması

Plazmayı oluşturan yüklü parçacıklara dışardan uygun yönde oluşturulan bir manyetik alanın etkisiyle plazma dışından içine doğru bir Lorentz Kuvveti oluşturulup plazma sıkıştırılabilir. (Karadeniz, 1989)



Şekil 3.2 Lorentz kuvveti ve yönü.

### 3.2 Termik Sıkıştırma

Plazmada termik sıkışma eğer dış kısımdaki gazın ısı iletkenliği ve iyonizasyon enerjisi plazma gazınınkinden büyük ise o zaman meydana gelir. Böylece gaz iyonize olmadan plazmadan aldığı enerjiyi iş parçasına götürebilir. Bu işlem iki ayrı şekilde gerçekleştirilebilir.

#### 3.2.1 Plazmayı Çevreleyen Ortamın Termik Sıkıştırması

Maddenin gaz hali yalıtkandır. Ancak gaz iyonize olursa (plazma) elektriği iletir. Plazma ortamından enerji alınırsa plazma ortamı gaz haline geçer ve yalıtkan olur. Plazmanın orta kısmından dışa doğru gidildikçe enerji yoğunluğu, iyonizasyon derecesi, sıcaklığı, iletkenliği ve akım yoğunluğu düşer. Plazmanın hemen dışında ortam sıcaklığı ve gaz ortamı olduğundan akım burada iletilmez. Plazmanın dışındaki relatif olarak soğuk gaz ortamı, plazmanın dış kısmının enerjisini sürekli alıp, dış kısımdaki iletken ortamı yok eder. Dolayısıyla o bölgede akım iplikçikleri de yok olup, bunun yerine daha iletken olan iç kısımlarda akım iplikçigi sayısı artar. Böylece plazmanın kesiti küçülüp, enerji yoğunluğu artar yani plazma termik olarak sıkıştırılmış olur.

#### 3.2.2 Plazmanın Dıştan Cebri Olarak Soğutulması Ve Sıkıştırılması

Plazmanın dıştan çepeçevre cebri olarak soğutulması ile, tüm çevrede soğutmanın derecesine göre yukarıda izah edilen sıkıştırma ortaya çıkacaktır. Bu durumda örneğin, gazaltı kaynağında plazma gazı ile dıştan soğutma sayesinde, kesme üfleçlerinde ise, su soğutmalı anot memesi sayesinde yararlanılır ve plazmanın gerek stabilitesi, gerekse enerji yoğunluğu arttırılarak kaynak ve kesme işlemi gerçekleştirilir. Plazmanın dışarıdan cebri olarak soğutulması farklı yöntemlerle yapılabilir.

Arkın kendi kendini soğutması da dışarıdan cebri olarak soğutulması da homojen olarak yapılmazsa ark çok soğutulan kısımdan az soğutulan kısma doğru yönelir, doğrusallığını kaybeder. Bu olaya ark üflemesi denir. Eğer arkımızı homojen bir

şekilde soğutamaz ve ark üflemesine neden olacak olursak arkımızın bu bölgesinin atmosfer ile temas etmesi nedeni ile atmosferde bulunan O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> gibi gazların kaynak bölgesini olumsuz etkilemesine neden olmuş oluruz.

### *3.2.2.1 Plazmanın Dışarıdan Gaz Yardımıyla Soğutulması*

Kaynak yöntemine göre değişmekle birlikte kaynak arkının dış kısmından gönderilen bir gaz tabakası aracılığıyla bu bölgenin tekrar gaz formuna dönmesi ve dış kısımdaki akım iplikçiklerinin yok olması, böylece aynı enerjinin daha dar bir bölgeye iletilerek enerji yoğunluğunun artırılmasıdır.(Karadeniz. 1989)

### *3.2.2.2 Nozulun Su İle Soğutulması*

Koruyucu gaz ortamı altında yapılan kaynak işlemlerinde laminar bir gaz akışı sağlayabilmek için kullanılan nozulun etrafına özel yapılmış bir su ile soğutma aparatı takılarak nozulun soğutulması ve bu sayede de nozul içinden geçen gazın soğutulması sağlanır. Arkın yüzeyini yalayarak geçen gaz termik olarak arkı sıkıştırırken bu sıkıştırma işlemine ek olarak birde nozulun soğutulması ile gazdan fazladan ısı soğurur. Bu durumda soğuyan gaz plazmayı da soğutacağından sıkıştırmanın etkisi artırılmış olur. (Karadeniz, 1989) , (Ertürk, b.t)

### *3.2.2.3 Anot Memesinin Su İle Soğutulması*

Anot memesinin gazaltı, tozaltı ve plazma kaynak yöntemlerinde torç içerisinde soğutulması sayesinde de kaynak arkının termik olarak sıkıştırılması sağlanabilir. (Karadeniz, 1989)

### 3.3 Torç Çeşitleri

Torçları sınıflandırmada en önemli kriter yüklenebilecekleri maksimum akım şiddeti olduğundan ve bu konu da torcun soğutma sistemini belirlediğinden, genelde torçlar gaz soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki ana gruba ayrılırlar.

#### 3.3.1 Gaz Soğutmalı Torçlar

Gaz soğutmalı torçlarda, soğutma torcun dış kısmından gaz yardımı ile iç kısmından ise akan koruyucu gaz tarafından gerçekleştirilir, bu neden ile bunlar gaz soğutmalı torçlar adı ile de anılırlar. Bunlar hafif, akım yüklenme kapasitesi 200 amperi geçmeyen, su soğutmalılara nazaran daha ucuz torçlardır. Akım kapasitelerinin sınırlılığı nedeni ile ancak ince parçaların kaynağı için uygundur. Hava soğutmalı torçlara örnek olarak kalem tipi ve döner başlıklı torçlar verilebilir.

Kalem tipi torçlar görünüşleri bir kurşun kalemi andırdıkları ve kullanırken de baş kısmı aşağıya gelecek biçimde kalem ile yazı yazar gibi tutuldukları için bu şekilde adlandırılmışlardır. Bunlar diğer türlerin giremediği yerlerde kullanılabilen, hafif, özellikle ince sac kaynağında kullanan üreticiler tarafından tercih edilen torçlardır. Bu torçların çok yaygın olarak bir diğer kullanım alanı da uçak endüstrisidir. Özellikle jet motorlarının yanma odalarına ve diğer parçalarına rekor ve manşonların kaynatılmalarında bu tür torçlar büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

Döner başlıklı torçlar biçim olarak kalem tipi torçları andırırlar. Burada torcun meme ve elektrot tutucu kısmı küresel mafsallı olarak sapa bağlanmıştır ve bu şekilde torç açısı değiştirilerek kullanma sahası genişletilmiş, torca üniversalite kazandırılmıştır.

### 3.3.2 Su Soğutmalı Torçlar

Su soğutmalı torçlar ile daha yüksek akım kapasitelerinde çalışılabildiğinden bunlar daha büyük, daha ağır ve daha pahalıdırlar. Bunlar yüksek akım şiddetlerinde su soğutmalı metalsel gaz nozulları ile kullanılmak koşulu ile standart olarak 1000 Amper akım kapasitesine kadar üretilirler; otomatik TIG kaynak sistemlerinde sadece bu tür torçlar kullanılır. Doğal olarak bu tür bir torcun kullanılabilmesi için kaynak donanımının bir soğutma suyu devresine ve birde su soğutma ünitesine sahip olması gereklidir.

Bu torçlar normal olarak torç bağlantı paketi ile beraber satılırlar. Zira kaynak akım kablosu, soğutma suyu dönüş hortumu içine yerleştirilmiş ve bu şekilde ısınması önlenerek daha küçük kesitli kablo kullanabilme olanağı sağlanmıştır. Bu torçlar kullanılmadan önce soğutma suyunun torç içine sızmaması için contaları sık sık kontrol edilmeli ve tam bir sızdırmazlık sağlanmalıdır. Zira aksi halde sızan su, çalışma sırasında buharlaşarak koruyucu gaza karışır, kaynağın kalitesini bozar, gözenek ve çatlak oluşumuna neden olur.

### 3.4 Nozul Çeşitleri

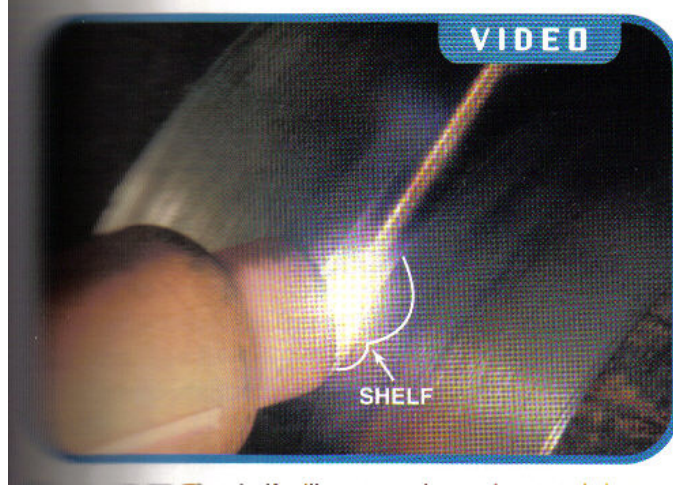
Günümüz endüstrisinde kullanılan gaz nozullarını yapıldıkları malzemeler açısından başlıca dört gruba ayırabiliriz:

- Seramik gaz nozulları,
- Metalsel gaz nozulları,
- Saydam gaz nozulları,
- Çift gazlı gaz nozulları.

Hava soğutmalı torçlarda tercih edilen seramik gaz nozulları kırılğan olmalarına karşın, fiyatlarının ucuzluğu, oldukça yüksek sıcaklıklarda dahi kullanılabilmeleri ve alternatif akım uygulamalarında yüksek frekans akımının oluşturduğu çapraz ateşlemelere mani olması nedeni ile endüstride en yaygın olarak kullanılan TIG gaz nozulu türüdür. Seramik gaz nozulları sürekli kullanma sonucu gevrekleşir ve alt

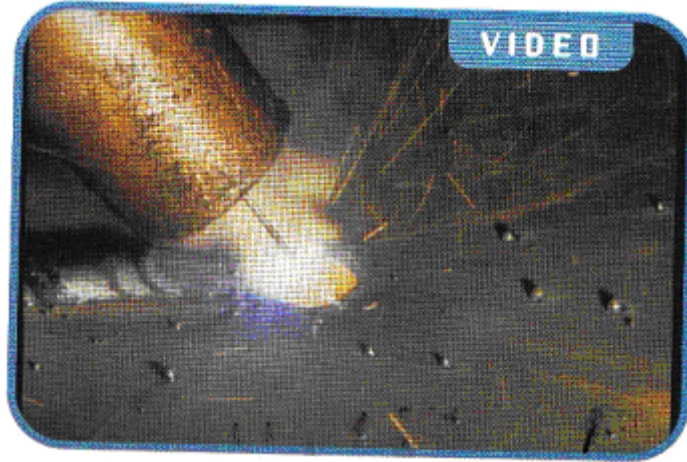


dudaklarından ufak parçacıklar kopar. Aynı zamanda iç cidarlarında metal sıçraması, metal buharları çökmesi ve parçacık kopması sonucu pürüzlülük oluşur; bu durum koruyucu gaz akımının laminarlığını bozduğundan bu hale gelmiş gaz nozulu yenisi ile değiştirilmelidir.



Şekil 3.3 Seramik nozul.

Genellikle bakır ve alaşımlarından üretilen metalsel gaz nozulları yüksek akım şiddeti ile uygulamalarda kullanılan su soğutmalı torçlarda tercih edilir. Bunların hava soğutmalı torçlar ile kullanılan türleri de vardır. Metalsel gaz nozulları, seramik olanlara nazaran daha pahalıdır. Buna karşın su soğutmalı torçlar ile kullanıldıklarında çok daha uzun ömürlüdürler ve kırılman olmadıklarından da, kullanılmaları sırasında büyük bir itina gerektirmezler.



Şekil 3.4 Metalsel gaz nozulu.

Kaynakçılar saydam gaz nozullarını, kaynak bölgesini ve kaynak arkını görebildikleri için tercih etmektedirler. Eritilmiş kuartzdan yapılmış olan bu gaz nozulları, tungsten elektrodun az bir miktar kirlenmesi sonucunda dahi yaygın şiddetli metal buharlarının iç cidarlarına çökmesi sonucu saydamlıklarını yitirirler. Saydam gaz nozulları kuartzdan yapılmış olmaları nedeni ile kırılındıkları ve kullanılmaları sırasında dikkat gerektirirler.

Çift gazlı kaynak nozulları, MIG kaynak yöntemindeki MAGCI uygulamasının bir alternatifi olarak geliştirilmiştir. Burada iç içe iki nozul vardır. Elektrodu çevreleyen iç nozul asal bir koruyucu gaz sevk edilerek arkın oluşumunu sağlarken, dış nozuldan azot veya karbondioksit gibi bir gaz sevk edilerek kaynak bölgesinin atmosferik etkilerden korunması sağlanır. Asal gazdan kazanım sağlamak amacı ile geliştirilmiş olan bu yöntemin uygulaması yok denecek kadar azdır.

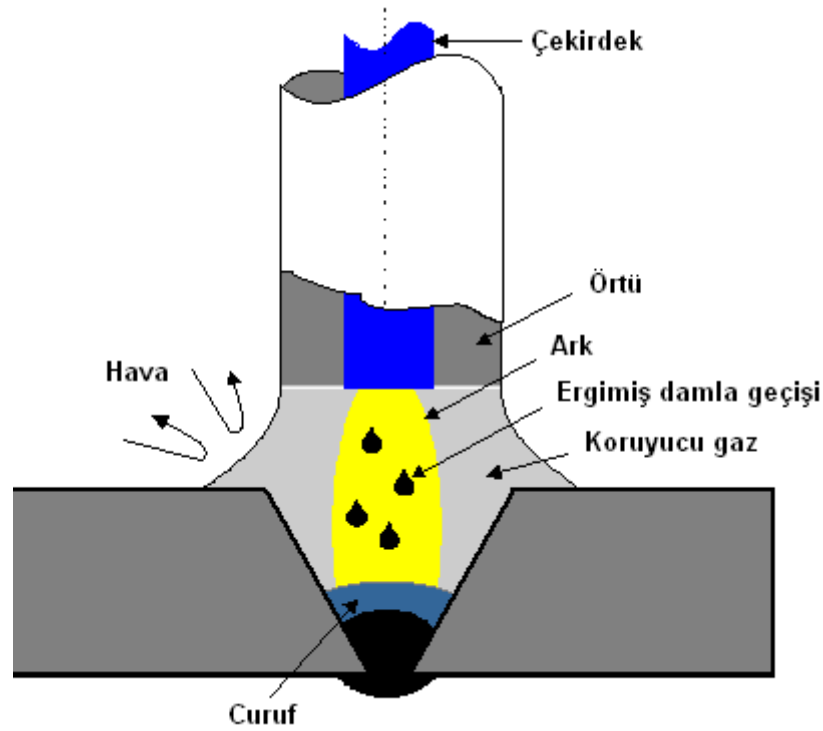
TIG kaynak torçlarında kullanılan gaz nozulları hangi malzemeden yapılmış olurlarsa olsunlar, kullanılmalarında itina gereklidir. İç cidarlarında ve alt dudaklarında sıçramalardan veya parçacık kopmasından ileri gelen ufak bir pürüzlülük dahi gaz akımının laminar akışını türbülanslı hale dönüştürür ve bu tür bir gaz akışı da gerekli korumayı gerçekleştirmez. Bu durum kaynak bağlantısında hataların ortaya çıkmasına ve kalitenin bozulmasına neden olur. TIG kaynak yönteminde kullanılan gaz nozulları genelde biçim olarak silindirik veya konik olarak üretilirler. Bu gaz nozullarının bazı türlerinin iç kısımlarına difüzör (gaz dağıtıcı) adı verilen gözenekli bir perde yerleştirilerek gaz akışının laminarlığı garantilenerek nozul dışında da oldukça uzun girdapsız akan bir koruyucu gaz sütunu oluşturulur. Mig-Mag kaynak yönteminde difüzör anot memesinin üzerine yerleştirilir. Bu tür gaz nozullarının kullanılması sonucu, nozul dışında kalan tungsten elektrod boyu uzun tutulabilir ve bu da gerek kaynakçının kaynak banyosunu daha kolay kontrol edebilmesine ve gerekse de dar ağız açıkları içinde rahat çalışabilmesine olanak sağlar.

Yüksek sıcaklıklarda, havanın oksijeninden etkilenen metal ve alaşımların kaynağı ile bazı özel durumlar için değişik biçimli özel nozul türleri de geliştirilmiştir. Bunlar kaynağı tamamlanmış kısım üzerine, dikiş soğuyuncaya kadar koruyucu gaz gönderecek biçimde dizayn edilmişlerdir. Bu tür nozulların tamamlanmış kaynak dikişi üzerine de koruyucu gaz gönderen uzantıları vardır. Bu uzantının ağız kısmı gözenekli bir perde ile kapanmıştır ve ek koruyucu gaz bu gözeneklerden geçerek soğumamış kaynak dikişinin atmosferin olumsuz etkilerinden korunmasını sağlar. Bu tür gaz nozulları özellikle otomatik TIG kaynak sistemlerinde uygun sonuçlar vermektedirler.(Karadeniz, b.t), (Ertürk, b.t)

### **3.5 Termik Sıkıştırma Uygulamaları**

#### ***3.5.1 Elektrik Ark Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları***

Elektrik ark kaynağında kaynakçı birleşme çizgisinde esas metal ile elektrod ucu arasında bir ark oluşturur. Ark, kaynak banyosunu oluşturmak üzere esas metali ve elektrodu eritir. Kaynak banyosu elektrottaki örtü nedeniyle oluşan erimiş curuf tabakası ve oluşan gaz tarafından korunur. Kaynak sırasında elektrod eridiğinden kaynakçı ark boyunu sabit tutmak için elektrodu kaynak banyosuna doğru sürekli hareket ettirir. Akım, güç ünitesi yoluyla kontrol edilir. Elektrotlar normalde 450mm boyundadır. Elektrodun uzunluğu 50 mm ye düştüğünde ark söndürülerek pıhtılaşmış curuf yüzeyden uzaklaştırılır ve kaynağa yeni bir elektrotla devam edilir.



Şekil 3.5 Elektrik ark kaynağında termik sıkıştırma.

Kaynak metalinin korunması amacıyla elektrod örtüsüne curuf yaratıcı elementler katılmıştır. Curuf soğuma sırasında kaynak bölgesinin üstünü örterek dış ortamdaki oksijen ve azotun kaynak bölgesine girmesini önler. Atmosfer etkilerine karşı ek koruma olarak elektrod örtüsüne ark sıcaklığında ayrışan ve gaz oluşturan maddeler katılır. Bu gazlar ark atmosferinde havanın yerini alarak oksijen ve azotun kaynak metaline geçme riskini azaltır. Bu maddeler karbondioksit gazı oluşturan karbonatlar veya hidrojen ve karbonmonoksit oluşturan selülozdur.

Arkın etrafında havanın yerini alan bu gaz tabakası aynı zamanda arkın dış yüzünü soğutur. Arkın dış yüzeyindeki ısının düşmesi sonucu bu bölgedeki akım iplikçikleri yok olurken iç bölgedeki akım iplikçikleri sayısında bir artış olur. Bu durum plazma yoğunluğunu arttırarak plazmanın termik olarak sıkıştırılmasını sağlar. (Karadeniz, 2000), (Gourd, 1995), (Karadeniz, b.t)

### ***3.5.2 TIG Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları***

TIG kaynağında bağlantı çizgisinde esas metal ile erimeyen tungsten elektrodun ucu arasında sabit ark aralığında bir ark oluşturulur. Genellikle 1 m uzunluğunda tel şeklinde sunulan dolgu metali, gerektiğinde banyonun ön cephesinden ilave edilir. Erimiş banyo, ark bölgesinde havanın yerini alan bir soy gaz tarafından korunur. Ar ve He en çok kullanılan koruyucu gazdır.

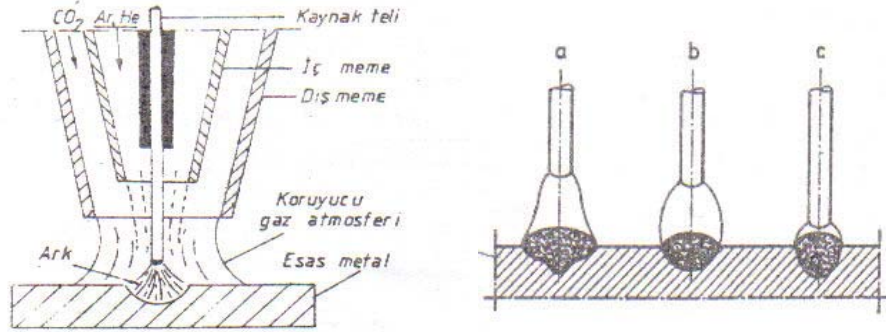
Küçük güçlerde çalışırken üfleci koruyucu gazın soğutması yeterken yüksek güçlerde su soğutmalı üfleçlerden yararlanır. Böylece hem tungsten elektrod korunmuş olur hem de termik sıkıştırma yardımı ile verim arttırılmış olur. Su soğutmalı üfleçlerde su devir daimini ve sıcaklığı kontrol eden koruma şalteri vardır. (Karadeniz, 2000), (Gourd, 1995)

### ***3.5.3 MIG-MAG Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları***

MIG ve MAG kaynağında bağlantı çizgisinde esas metal ile elektrod ucu arasında bir ark oluşturulur. Elektrod sabit bir hızda bir motor tarafından beslenir. Elektrod beslenme hızı akım şiddetini belirler. Ark uzunluğu güç ünitesi tarafından kontrol edilir ve kaynakçıdan beklenen memeyi kaynak banyosu üzerinde sabit bir yükseklikte tutmasıdır (Bu değer genellikle 20 mm'dir). Ark bölgesi ve kaynak metali kaynak yapılan metale uygun şekilde seçilmiş bir gaz tarafından korunur. Genel olarak kullanılan gazlar Argon, %5 Oksijen veya %20 CO<sub>2</sub> ' le karıştırılmış Argon ve saf CO<sub>2</sub>' dir.

Genellikle koruyucu gaz ile sağlanan termik sıkıştırma gerekirse soğutma suyu ile de sağlanabilir. Koruyucu gaz havanın kaynak bölgesine vereceği olumsuz etkileri ortadan kaldırmakla birlikte anot memesi ve arkın etrafından geçmek suretiyle bu bölgelerde bir soğutma görevi de üstlenir. Arkın yüzeyinin soğuması arkı termik olarak sıkıştırır. Termik sıkıştırma miktarını arttırarak yeni kazanımlar sağlamak istersek su soğutmalı torç yardımıyla anot memesini veya nozul etrafından soğutma suyu geçirerek nozul içinden geçen gazı soğutabiliriz.

Yöntemin bir çeşidi olan MAGCI kaynağında ise çift aşamalı nozulun iç kısmından iyonizasyon enerjisi düşük asal gaz (Argon-Helyum) gönderilerek plazmanın iletkenliği ve stabilitesi artırılırken, dış kısımdan gönderilen aktif gaz (CO<sub>2</sub>) 'in görevi ise arkı termik olarak sıkıştırmak ve dış ortamdan korumaktır. (Karadeniz, 2000), (Gourd, 1995)



Şekil 3.6 Farklı gazlarda karakteristik yığılma şekli ve nüfuziyet.

A: % 90 Ar, % 5 CO<sub>2</sub>, % 5 O<sub>2</sub>

B: % 92 Ar, % 4 CO<sub>2</sub>, % 4 O<sub>2</sub>

C: CO<sub>2</sub>

### 3.5.4 Tozaltı Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları

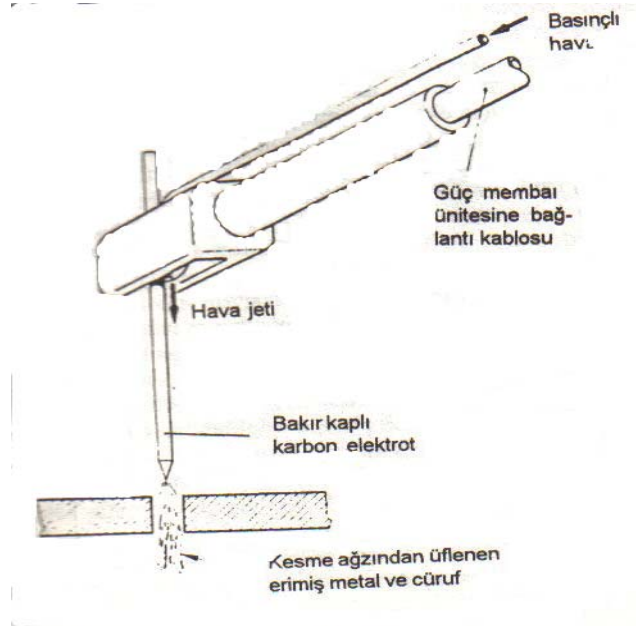
Bu yöntemde esas metalle çıplak tel elektrodun ucu arasında ark oluşturulur. Elektrod eridiğinden servo kontrollü bir motor tarafından arka doğru beslenir. Elektrodun besleme hızı erime hızına eşittir. Böylece ark boyu devamlı sabit kalır. Elektrod ve elektrodu besleyen sistem bir otomatik hareket sistemi tarafından bağlantı çizgisi boyunca hareket ettirilir. Ark bir toz tabakası altında çalışır. Tozun bir miktarı eriyerek kaynak banyosuna koruyucu bir örtü oluşturur. Erimemiş toz toplanarak yeniden kullanılır.

Bu yöntemde güç oldukça yüksek olduğu için anot memesinde su ile soğutma uygulanır. Anot memesinin su ile soğutulması arkın dış yüzeyindeki akım iplikçiklerinin yok olup iç kısımlarda yeni akım iplikçikleri oluşmasını bu sayede de arkın enerji yoğunluğunun artmasını sağlar. (Karadeniz, 2000), (Gourd, 1995)

### 3.5.5 Termik Kesme Yöntemlerinde Termik Sıkıştırma Uygulamaları

#### 3.5.5.1 Hava Ark İle Kesme

Tüm ısı bir ark taraftan sağlanır ve metali kesme bölgesinden uzaklaştırmak için sıkıştırılmış hava jeti kullanılır.



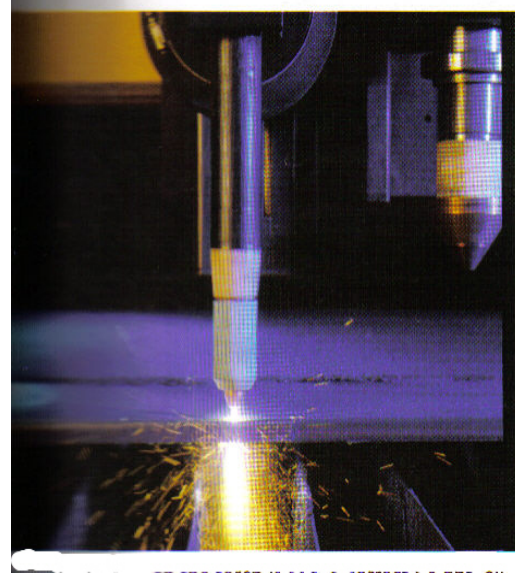
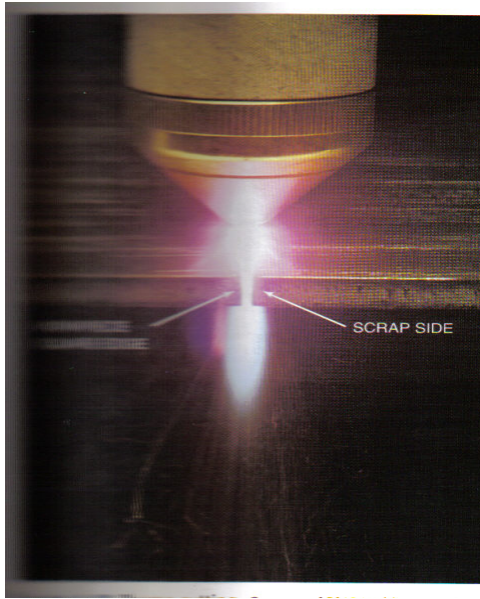
Şekil 3.7 Hava arkı ile kesme.

Hava ark ile kesmede elektrod malzemesi olarak üzeri bakırla kaplı grafit kullanılır. Grafit elektrot, üzeri delikli özel bir pense ile tutulur ve pensenin deliklerinden sıkıştırılmış hava jeti elektrod boyunca gönderilir. Arkı sıkıştıran hava jeti, enerji yoğunluğunu da artırır. Yöntemin uygulamaları sınırlıdır.

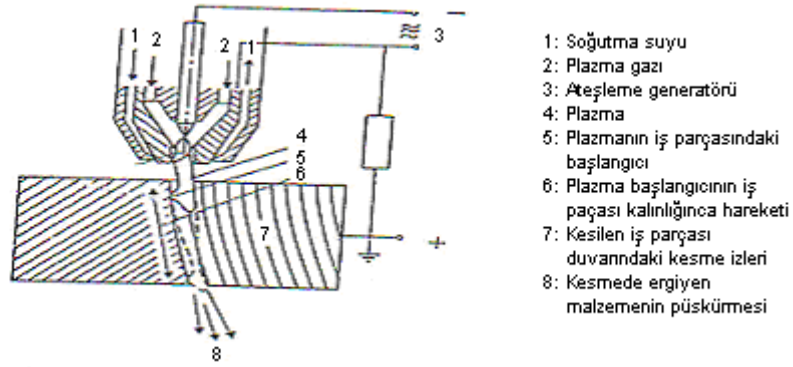
Bu yöntemde oluşturulan ark, etrafından hızla gönderilen hava akımı sayesinde dış kısmındaki akım iplikçiklerini kaybeder. Kesiti iyice daralan arkın enerji yoğunluğu en üst düzeye çıkar. Bu yoğun enerji karşısında malzeme erirken hızla gelen hava jeti de eriyen malzemeyi kesme bölgesinden uzaklaştırır.

### 3.5.5.2 Plazma İle Kesme

Plazma kaynağındaki plazma jetinin hızı arttırılarak kesmeye de uygulanabilir. Bunun için plazmayı saran gaz olarak Ar- He veya Ar- N karışımları kullanılır. Yüksek gaz akışına eşlik eden yüksek ark gerilimi yüksek boşta çalışma gerilimi demektir ve bu değer yaklaşık 120 V tur. Bu nedenle operatörle elektrod temasını önlemek için ek önlemler alınmalıdır. Plazma üfleçlerinde su soğutması kullanılmakla birlikte hava veya N örtülü bir dış gaz soğuması da yapılabilir. Süpersonik hızda hareket eden plazma jeti yüksek seviyede gürültü çıkarttığı için kulakların gürültüden korunması gerekir. Kesme işlemi su altında yapılacak olursa gürültü seviyesi önemli ölçüde azalır. Böylece plazma ile kesmenin çevre kirleticisi unsurları da yok edilmiş olur.







Şekil 3.8 Plazma ile kesme.

Kesme işleminde termik sıkıştırma hem su soğutması hem de gaz soğutması ile sağlanır. Katodun çevresinden üflenen gazın bir kısmı iyonize olarak plazma için iletken bir ortam yaratırken, diğer kısmı ise dıştan plazmayı sıkıştırarak ve plazmayı stabilize ederek enerji yoğunluğunu artırır. Ayrıca bu gaz arkın erittiği metali kesme bölgesinden püskürterek uzaklaştırır.

Kesme aralığı yaklaşık üfleçten üflenen ve kısmen iş parçasının kesilen kenarında sıkıştırılan plazma çapı kalınlığındadır. Plazma ile kesmede kullanılan gazların ısı iletkenliği ve molekül ağırlığı önemlidir. Isı iletkenliğini sağlamak için plazmanın yüksek sıcaklığını iş parçasına iletecek bir gaz ( $H_2$  ve  $N_2$ ); plazmanın kesmede erittiği malzemeyi uzaklaştırmak için molekül ağırlığı fazla olan Argon kullanılır. (Karadeniz, 2000), (Gourd, 1995), (Karadeniz, 1989)

### 3.5.6 Atomik Hidrojen Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları

Plazma çevresinden kaynak bölgesine gönderilen hidrojen gazı sayesinde arkın dış çevresinde bir soğuma olur. Bu soğuma plazmayı termik olarak sıkıştırır. Arkın dış yüzeyindeki ısının düşmesi sonucu bu bölgedeki akım iplikçikleri yok olurken iç bölgedeki akım iplikçikleri sayısında bir artış olur. Bu durum plazma yoğunluğunu artırarak plazmanın termik olarak sıkıştırılmasını sağlar. (Karadeniz, 2000), (Gourd, 1995)

### **3.5.7 Su Altında Kaynak Yönteminde Termik Sıkıştırma Uygulamaları**

#### **3.5.7.1 Su Altında Islak Kaynak Yöntemi**

Su, arkın dış yüzeyini yalayarak soğutur ve arkı termik olarak sıkıştırır. Böylece arkın akım yoğunluğunu artırır. Kaynak örtülü elektrod kaynağı ile yapılırsa önce elektrodun çekirdeği erir, örtü kısmı onu geriden takiben erir ve elektrod ucunda bir kabuk oluşur. Böylece toplam ark boyunun bir kısmı bu kabuk içindedir ve dışarıdan görünmez, diğer kısmı ise kabuk ucu ile iş parçası arasında görünen kısımdır.

Su altında örtülü elektrodan başka MAG ve özlü elektrod yöntemleriyle de kaynak yapılabilir. Ayrıca özel üfleçler yardımıyla su altında plazma ve elektron ışın kaynağı da yapılabilir.

Su altında ıslak kaynak yönteminde oluşan termik sıkıştırma öncelikle kaynak yöntemine bağlıdır. Kaynak yönteminin sağladığı sıkıştırmaya ek olarak kaynak bölgesini çevreleyen su da arkı soğutur ve sıkıştırma miktarını artırır.

#### **3.5.7.2 Su Altında Kuru Kaynak Yöntemi**

Dış ortamda yapılan kaynaklarla aynıdır. Kaynak bölgesi sıvı ortamdan tamamen yalıtıldığından termik sıkıştırma işlemi de atmosfer ortamında yapılan kaynak yöntemleri ile aynı şekilde ve aynı miktarda olur. (Karadeniz, 2000), (Gourd, 1995)

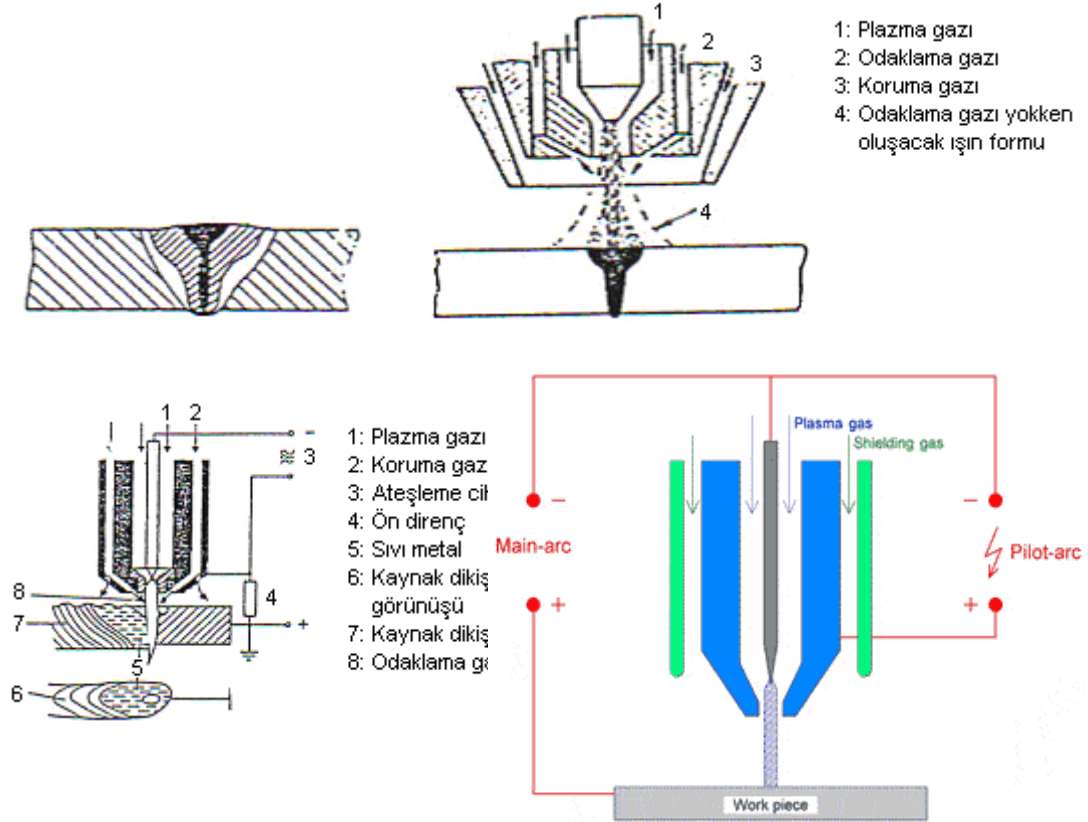
### **3.5.8 Plazma Kaynağında Termik Sıkıştırma Uygulamaları**

#### **3.5.8.1 Yüksek Güç Plazma Birleştirme Kaynağı**

Bu kaynak metodunda doğrudan kısa arklı ve çift gazlı üfleç kullanılır. Bunlardan içten verilen gaz (genellikle Argon) plazmanın iletkenliğini ve kararlılığını sağlarken dıştan verilen gaz, koruma gazı olup plazmayı dıştan

çepeçevre sarıp termik olarak sıkıştırır, enerji yoğunluğunu artırır ve kaynak bölgesini dış ortamdan korur.

Bundan başka birde plazma, odaklama,ve koruma gazı olan üç gazlı üfleç ile hiç dolgu maddesi kullanılmadan tek pasoda 15 mm ye kadar kaynak yapmanın mümkün olduğu bir yöntem daha vardır. H<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gazlarının Argon gazına göre enerji yoğunlukları kat kat fazladır. Argona moleküler gaz karıştırılması plazmayı sıkıştırır. Plazmada sıkışma eğer dış kısımdaki gazın ısı iletkenliği ve iyonizasyon enerjisi plazma gazınınkinden büyük ise o zaman meydana gelir. Böylece gaz iyonize olmadan plazmadan aldığı enerjiyi iş parçasına götürür. Burada dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de koruma ve odaklama gazlarının iş malzemesini etkilememesidir. (Karadeniz, 1989), ( Gourd, 1995)



Şekil 3.9 Plazma kaynağında termik sıkıştırma uygulamaları.

### 3.5.8.2 Mikroplazma Kaynağı

Prensip olarak yüksek güç plazma kaynağı ile aynı iken güç olarak 1-2 kat daha düşüktür. Gücün düşük olması üfleç boyutunun da küçülmesine olanak sağlar. Burada anot memesi ve koruyucu gaz sıkıştırması altında oluşan plazma yaklaşık 1 mm<sup>2</sup> kesitindedir.

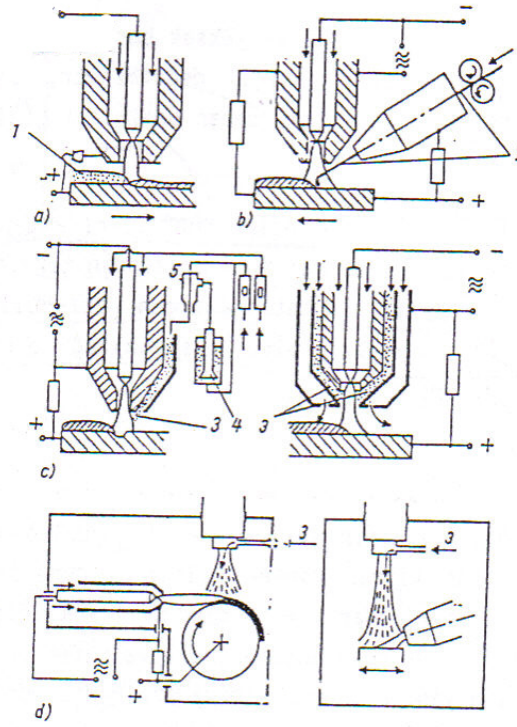


Şekil 3.10 Mikroplazma kaynağı.

### 3.5.8.3 Plazma Dolgu Kaynağı

Metal veya seramik gibi aşınmaya dayanıklı malzemelerinin 1...10 mm kalınlığında tabakalar halinde ana metal parça üzerine, aşınmayı önleme gayesiyle taşınıp kaynak edilmesidir. Kullanılan üflecin anot memesinin soğutulması basit ve memenin yarıçapı büyük (4...8 mm) alınarak, memenin plazmayı sıkıştırma miktarı kasıtlı olarak düşük tutulur, dolayısıyla ana malzemenin kaynak sırasında eriyen miktarı azaltılır. Pratik olarak kaynak esnasında eriyen kısım ana metalin % 5 ile %40'lık bir bölümüdür.

Bu yöntemde termik sıkıştırma optimum bir düzeyde tutulur. Çünkü ana malzemenin erimesi istenmezken dolgu malzemesinin tamamen erimesi sağlanmalıdır.



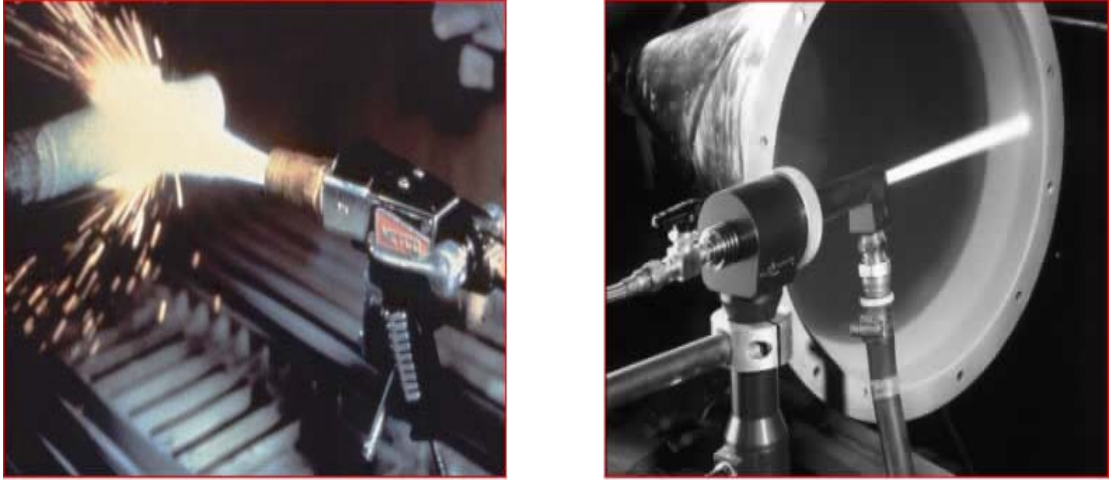
Şekil 3.11 Plazma dolgu kaynağı çeşitleri.

#### 3.5.8.4 Plazma İle Yüzey Kaplama

Yöntemde bakır anot ve tungsten katottan oluşan su soğutmalı bir plazma torcu kullanılır. Argon, Azot, Hidrojen veya Helyumdan biri olan plazma gazı katodun çevresinden geçer ve plazma anodun içinde sıkıştırılarak torçtan çıkar.

Bu yöntemde anot memesi su soğutmalıdır. Püskürtme sırasında plazma ışınının püskürtülen partikülleri aşırı ısıtmasını önlemek için plazma soğuk bir plazma gazı ile yan tarafa üflenir.



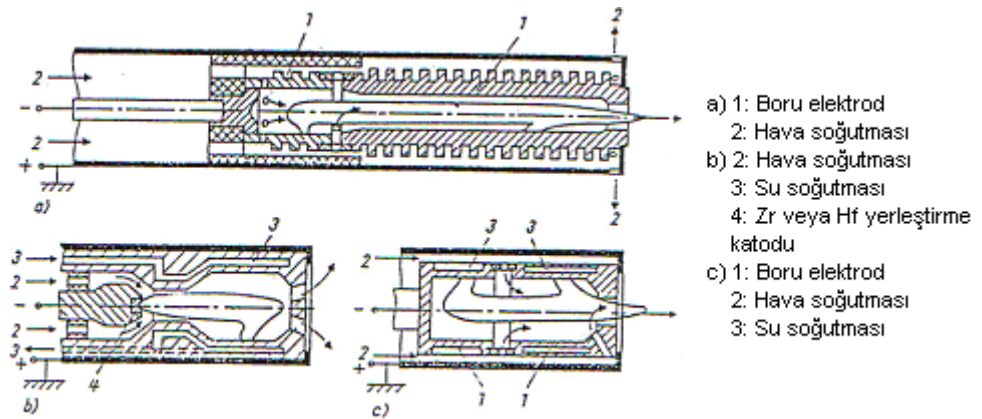


Şekil 3.12 Plazma ile yüzey kaplama örnekleri.

Bu yöntemde plazmanın enerji yoğunluğu artırılırken amaç kaplama malzemesinin kolayca erimesini sağlamaktır. Kaplanacak malzemenin bu yoğun enerjiden etkilenmemesini sağlamak içinse katot etrafından soğuk bir plazma gazı gönderilir ve kaplanacak malzeme anottan mümkün olduğunca uzağa yerleştirilir.

### 3.5.8.5 Plazma İle Taş Delme

Taş vb. maddeler yalıtkan olduğundan burada kullanılan üfleçler indirekt arklı üfleçlerdir. Madencilik, yol, tünel inşaatı gibi işlemlerde dinamit ile patlatma deliği açma işi bu yöntem sayesinde plazma ile yapılabilmektedir.



Şekil 3.13 Plazma ile taş delme üfleci.

## BÖLÜM DÖRT

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 4.1 Deneye Hazırlık Ve Deneyin Yapılışı

Bu çalışmada amaç, gazaltı kaynağında su soğutmalı torç kullanımının ve kaynak hızının nüfuziyete etkisini incelemektir. İncelemelerim sırasında çeşitli hızlarda kaynak işlemi yapılarak numuneler elde edilmiştir. Sonra gaz akışını daha stabil hale getirmek ve nozul içinden geçen gazı soğutarak termik sıkıştırma etkisi yaratmak için bir nozul soğutma aparatı yapılmış, kaynak işlemi çeşitli hızlarda tekrarlanarak elde edilen numunelerin nüfuziyet, dikiş genişliği ve sertlikleri karşılaştırılmıştır.

Üniversitemiz bünyesindeki kaynak laboratuvarında yapılan deneylerde 10 mm kalınlığında St37 genel imalat çeliği okul dışındaki çalışmalarda ise St44 çeliği kullanılmıştır. Malzeme içindeki alaşım elementleri ve bu elementlerin miktarları Ereğli Demir-Çelik A.Ş. verilerine göre şöyledir:

<u>St37</u>	<u>St 44</u>
Si : % 0,0968.....	% 0,1
Mn : % 0,5566.....	% 0,5
P : % 0,0166.....	% 0,02
S : % 0,0078.....	% 0,015
Cr : % 0,0215.....	% 0
Mo : % 0,0000.....	% 0
Ni : % 0,0000.....	% 0
V : % 0,0317.....	% 0
Cu : % 0,0232.....	% 0
Al : % 0,0257.....	% 0,02
C : % 0,1058.....	% 0,18
N : % 0.....	% 0,009
Nb : % 0.....	% 0,05
Ti : % 0.....	% 0,10
Sn : % 0.....	% 0,01
Fe : % 99,1141.....	% 98,996

Kaynakla birleştirilen malzemelerde sıkça rastlanan ve aslında istenmeyen bir durum olan martenzitik yapı oluşumunu önlemek için ön tav yapılması gerekir gerekmediği Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün önerdiği,

$$C_{eş} = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/5 + V/5 + Ni/15 + Cu/15$$

formülü ile hesaplanmış, ve St37 karbon eşdeğeri = 0,21075, St44 karbon eşdeğeri = 0,26333 olarak bulunmuştur. Bu hesaplama yöntemine göre:

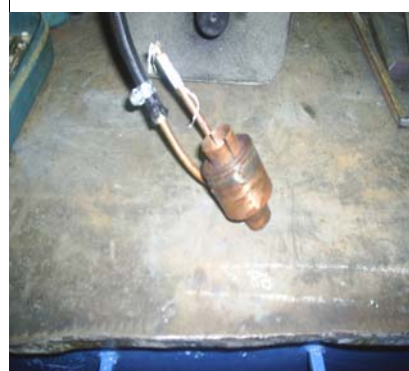
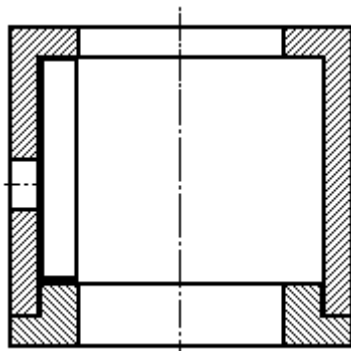
Ceş (%)	ÖN TAV SICAKLIĞI ( °C)
0,45'den küçük.....	Normal koşullarda gerek yok
0,45-0,60.....	100°C – 200 °C
0,60'dan büyük.....	200 °C – 350 °C

(Özel durumlarda 600 °C'ye kadar çıkabilir)

0,21075 < 0,45 ve 0,26333 < 0,45 olduğundan ön tavlama yapmaya gerek olmadığı belirlenmiştir.

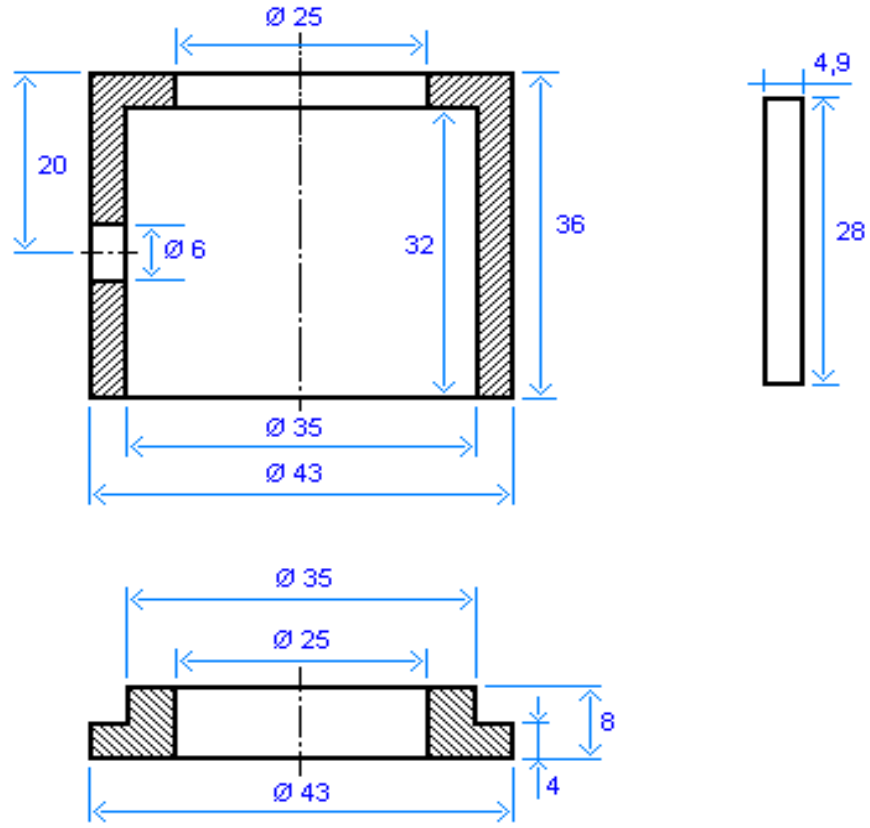
Üniversitemizde yapılan deneylerde 1,2 mm çapında, %0,8 C, %0,85 Si, %1,45 Mn bileşimli; min 420 N/mm<sup>2</sup> akma dayanımı, 540-640 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı değerlerine sahip SG2 tel elektrod; Aktif Gaz olarak ise CO2 kullanılmıştır.

Deneyisel çalışma öncesinde 20 cm boyunda 5 cm çapında içi dolu bakır malzemeden deneylerde kullanılacak olan ve aşağıda teknik resimleri ile fotoğrafı bulunan nozul soğutma aparatı yapılarak nozulun dış kısmına lehimlenmiştir.

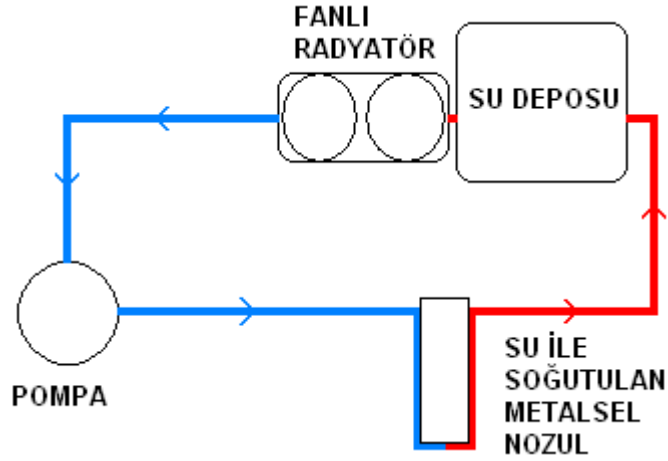


Şekil 4.1 Soğutma aparatı montaj resmi ve fotoğrafı.





Şekil 4.2 Soğutma aparatı imalat resmi.



Şekil 4.3 Su soğutma sisteminin çalışma şeması.

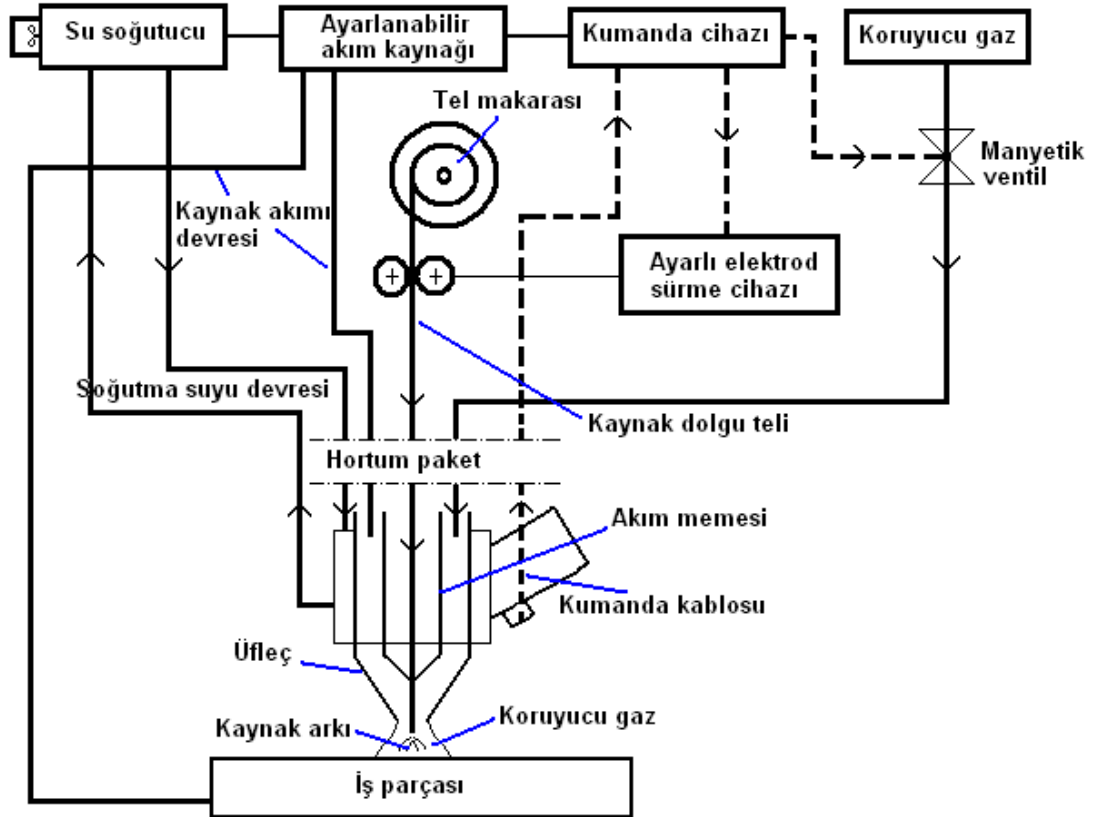
Deneysel çalışma sırasında öncelikle atölyede üzerine kaynak dikişi yapılacak kaynak ağzı açılmamış plakalar yaklaşık 20 cm x 10 cm ölçülerinde kesilmiştir. Gazaltı kaynak makinası torcu, tozaltı kaynak makinasında bulunan otomatik kontrollü arabaya bağlanmış, böylece sabit hızda kaynak yapma imkanı sağlanmak

istenmiştir. Tüm deneylerde elektrod, gaz debisi, ark gerilimi, kaynak akımı ve tel sürme hızı için Tablo 4.1' deki değerler seçilmiştir.

Tablo 4.1 Kaynak parametreleri

Kaynak Akımı (Amper)	Ark Gerilimi (Volt)	Koruyucu Gaz Debisi (Lt/Dak)	Tel Elektrod Çapı (mm)	Malzeme Cinsi	Malzeme Kalınlığı (mm)
170	28	12	1,2	St37	10

Kaynak ağızı açılmamış olan plaka üzerine 30 – 40 – 60 – 80 cm/dak hızlarda kaynak işlemi yapılmış, ardından içinde 15 °C sıcaklıkta su bulunan bir soğutma ünitesi daha önce yapılmış olan Su Soğutma Aparatına bağlanmış ve suyun sıcaklığı bir termometre ile kontrol edilerek ikinci plakaya yine aynı hızlarda kaynak işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.4 MAG kaynağı tesisat şeması.

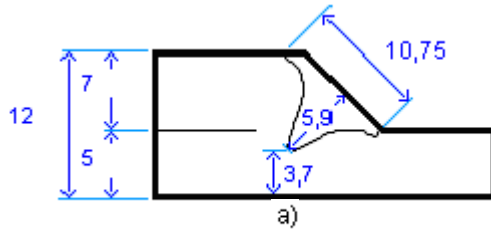
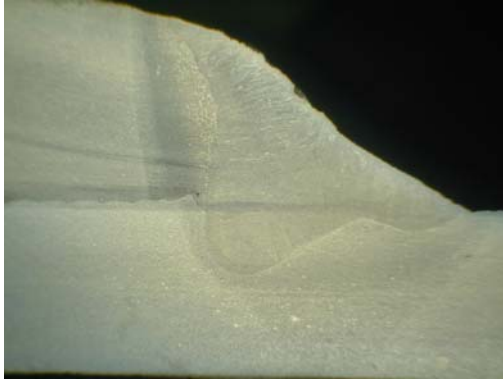
Plakalar üzerindeki en uygun kesitler belirlenerek talaşlı imalat atölyesinde kesilmiş ve her kaynak hızından iki adet numune çıkartılmıştır. Numuneler önce el taşında daha sonra da su zımparası yardımıyla 1200 numaralı zımpara kağıtlarına kadar zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler keçeğe tutularak parlatılmış ve mikroskopta rahatlıkla incelenebilecek bir yüzey elde edilmiştir. Stereo mikroskopta yüzeylerini inceleyebilmek için numuneler, içinde Nital sıvısı (%3 ~ %4 HNO<sub>3</sub> (nitrik asit), %96 ~ %97 etil alkol karışımı) bulunan bir kaptan 15 – 20’şer sn bekletilerek dağlanmış, numune üzerinde kalan asit yine etil alkol, pamuk ve sıcak hava yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Numunelerin stereo mikroskop altında teker teker incelenmesi sırasında gözenek vb hataya rastlanmamış; kaynak dolgusu, ısı tesiri altında kalan bölge ve ana metal rahatlıkla ayırt edilebilmiştir.

Numunelerin nüfuziyetleri ölçüldüğünde, nozul etrafından soğuk su geçirilerek yapılmak istenen termik sıkıştırma işleminin yeterince başarılı olamadığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak da nüfuziyetler arasındaki farklıklar belirlenememiş sadece kaynak hızı arttıkça nüfuziyetin azalmakta olduğu tespit edilmiştir.

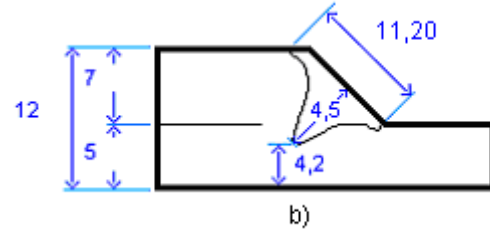
Yapılan deneyler sonucunda istenilen sonuçların elde edilememesi üzerine benzer uygulamaların yapılmakta olduğu tesislerden birinde 32,5 V ark gerilimi, 350 A çalışma akımı, 12 lt/dak %95 Ar + %5 CO<sub>2</sub> gaz debisi ile 1,2 mm çapında, %0,8 C, %0,85 Si, %1,45 Mn bileşimli; min 420 N/mm<sup>2</sup> akma dayanımı, 540-640 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı değerlerine sahip SG2 tel elektrod kullanılarak sabit hızda tekrarlanan deneyde öncelikle su soğutmasız nozul ile bir seri kaynak yapılarak nozul ısıtılmış ve ısınan nozul ile yapılan kaynaktan bir numune alınmıştır. Ardından su soğutmalı; tesisin bahçesindeki havuzda depolanmış olan ve kaynak yapılan tüm noktalardan (torçlardan) geçtikten sonra havuz bölümü üzerinde kurulu bulunan fanların arasından geçerken kaynak noktalarında almış olduğu ısıyı ortama vererek 17 °C sıcaklığa soğuyan su yardımıyla termik olarak sıkıştırma sağlayan; nozul kullanılarak kaynak işlemi tekrarlanmış ve bir numune daha elde edilmiştir. Bu iki numune de sırasıyla zımparalama, keçeğe tutma, dağlama işlemlerine tabi tutulmuş ve stereo mikroskop altında incelenmiştir. Nozul soğutmasının sağlıklı bir şekilde yapılması sonucunda;

Tablo 4.2 Kaynak parametreleri

Kaynak Akımı (Amper)	Ark Gerilimi (Volt)	Koruyucu Gaz Debisi (Lt/Dak)	Tel Elektrod Çapı (mm)	Malzeme Cinsi	Malzeme Kalınlığı (mm)
350	32,5	12	1,2	St44	7 - 5



Şekil 4.5 a) Su soğutmalı numunenin nüfuziyet değerleri



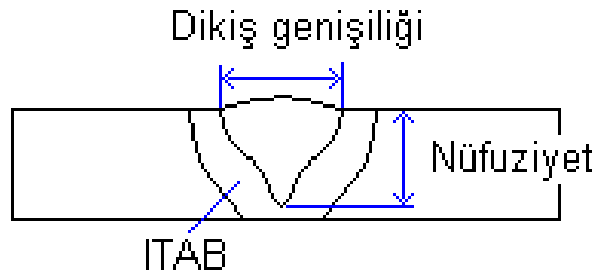
Şekil 4.5 b) Su soğutmasız numunenin nüfuziyet değerleri

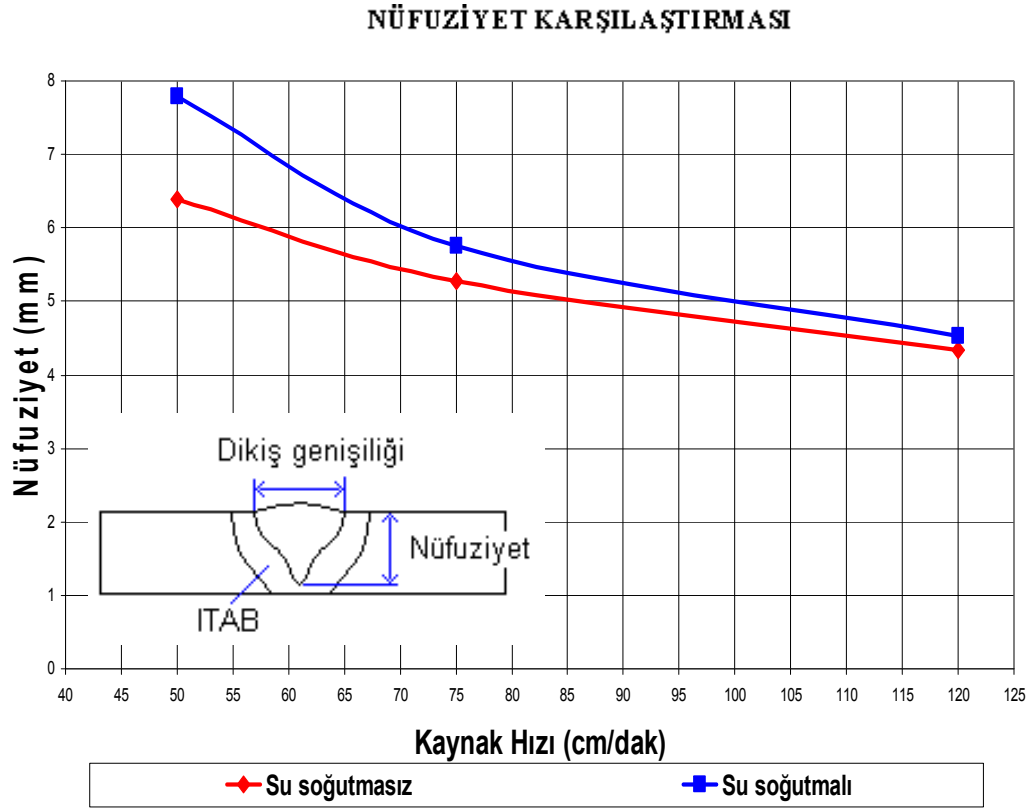
yukarıdaki nüfuziyet değerlerinin elde edilmesi üzerine aynı tesiste 34 V ark gerilimi, 370 A çalışma akımı, 12 lt/dak %95 Ar + %5 CO<sub>2</sub> gaz debisi ile 1,2 mm çapında, %0,8 C, %0,85 Si, %1,45 Mn bileşimli; min 420 N/mm<sup>2</sup> akma dayanımı, 540-640 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı değerlerine sahip SG2 tel elektrod kullanılarak 4,5 mm ve 7,5 mm kalınlıklarındaki iki parça 50, 75 ve 120 cm/dak hızlar ile su soğutması yapılarak ve yapılmadan kaynak işlemi ile birleştirilmiştir. Soğutma suyu havuzunda yapılan ölçümde deneyin yapıldığı gün soğutma suyu sıcaklığı 14°C ölçülmüştür.

Her hız değeri için bir adet soğutma yapılmış olan, bir adet de soğutma yapılmamış olan numune hazırlanmış; numuneler sırasıyla zımparalama, keçeye tutma, Nital sıvısı ile dağlama işlemlerine tabi tutulmuş ve stereo mikroskop altında incelenmesi sırasında kaynak hızı – akım dengesizliği sonucunda 120 cm/dak hızla yapılmış olan dikişlerde kaynak hızı ve akım sabit olduğu için muhtemelen pozisyonerde oluşan bir dengesizlik nedeni ile yanma oluşu ve yetersiz ısı girdisine bağlı erime azlığı, 80 cm/dak hızla yapılmış olan dikişlerde ise aşırı ısı girdisine bağlı aşırı nüfuziyet (kök taşması) hatalarına rastlanmıştır; bu hataların bulunduğu yüzeyler, kaynak dolgusu, ısı tesiri altında kalan bölge ve ana metal rahatlıkla ayırt edilebilmiş ayrıca numunelerin teker teker fotoğrafları çekilmiştir. (Bknz sayfa 73) Numunelerden elde edilen değerler ve bu değerler ile oluşturulan tablo ve grafikler şöyledir:

Tablo 4.3 Hızlara göre nüfuziyet ve dikiş genişlikleri

	Ark Gerilimi (V)	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Nüfuziyet (mm)	Dikiş Genişliği (mm)
Su Soğutmalı	34	365	50	7,78	12,50
	34	370	75	5,76	10,45
	34	370	120	4,52	8,35
Su Soğutmasız	34	360	50	6,38	13,00
	34	370	75	5,28	10,10
	34	370	120	4,34	8,95



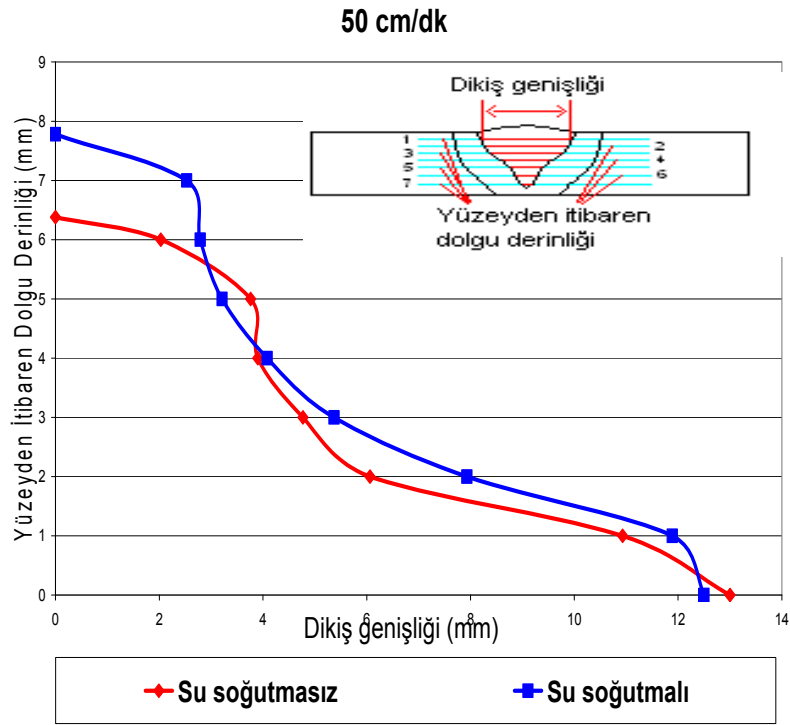


Şekil: 4.6 Nüfuziyet karşılaştırması.

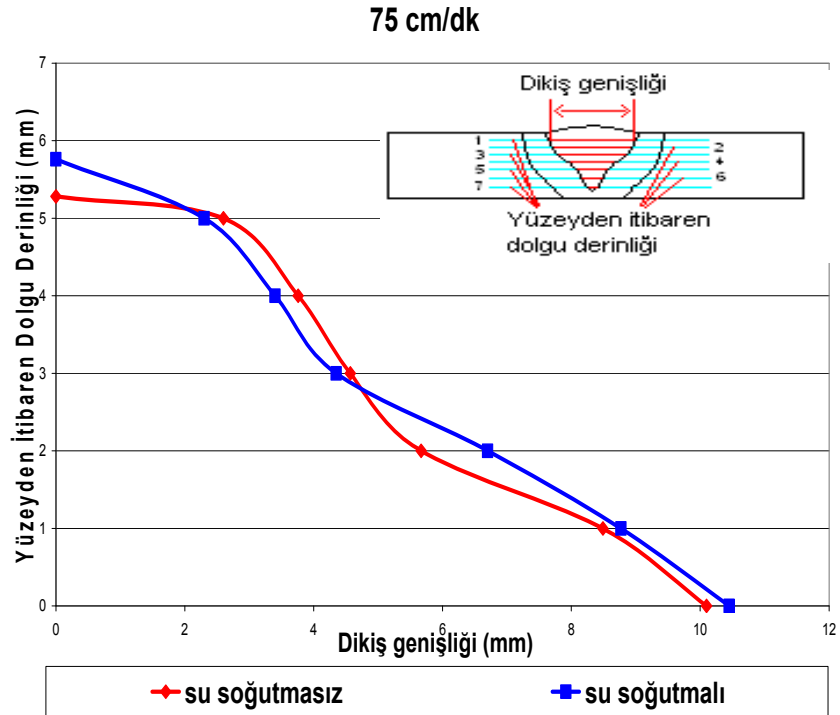
Görüldüğü üzere su soğutması yapılan numunelerde nüfuziyet daha fazla olmaktadır. Çünkü etrafından soğuk su geçirilen nozul, işlem sırasında içinden geçmekte olan koruyucu gazı soğutmaktadır. Soğuyan gaz, temas halinde olduğu plazmanın en dış kısmındaki akım iplikçiklerinin enerjilerini alarak gaz haline dönüşmelerini sağlar. Böylece arkın enerjisi daha dar bir bölgeye daha yoğun şekilde iletilir.

Numunelerin ölçekli olarak fotoğraflanması işleminden sonra dikiş genişlikleri yüzeyden itibaren birer mm aralıklarla ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde hızlarına göre ayrılarak gösterilmiştir.

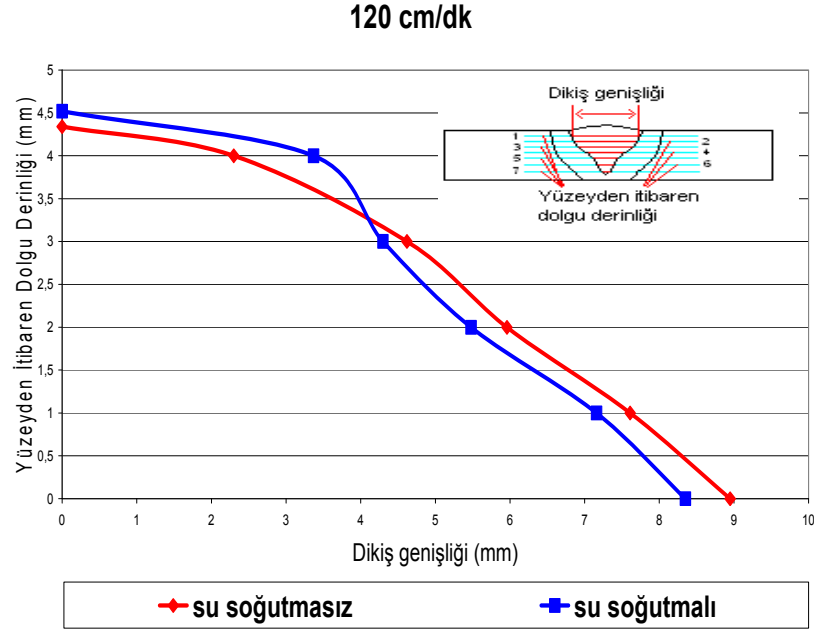




Şekil: 4.7 50 cm/dak hızla yapılmış su soğutmalı ve su soğutmasız kaynak dikiş genişliği karşılaştırması



Şekil: 4.8 75 cm/dak hızla yapılmış su soğutmalı ve su soğutmasız kaynak dikiş genişliği karşılaştırması.



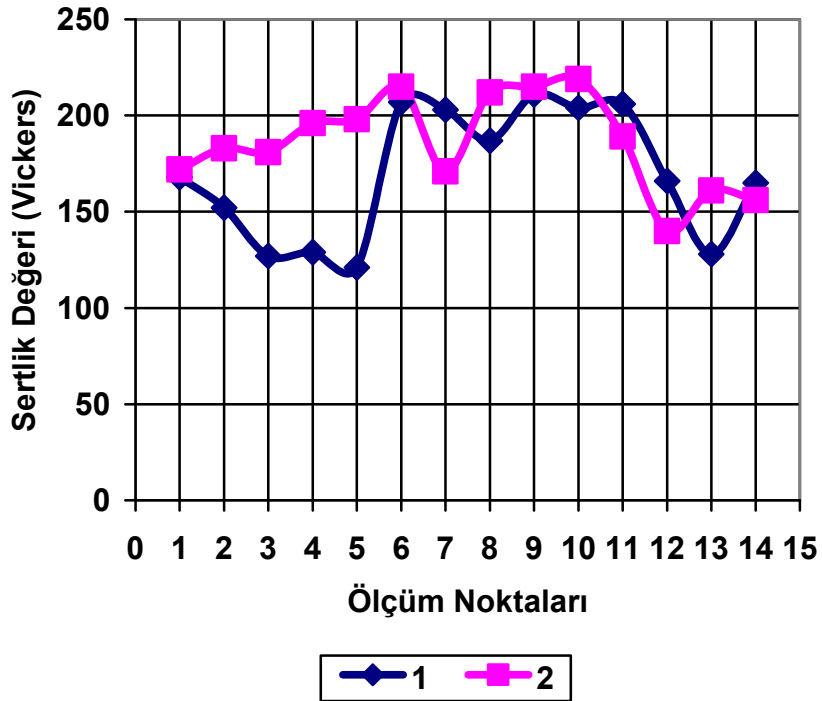
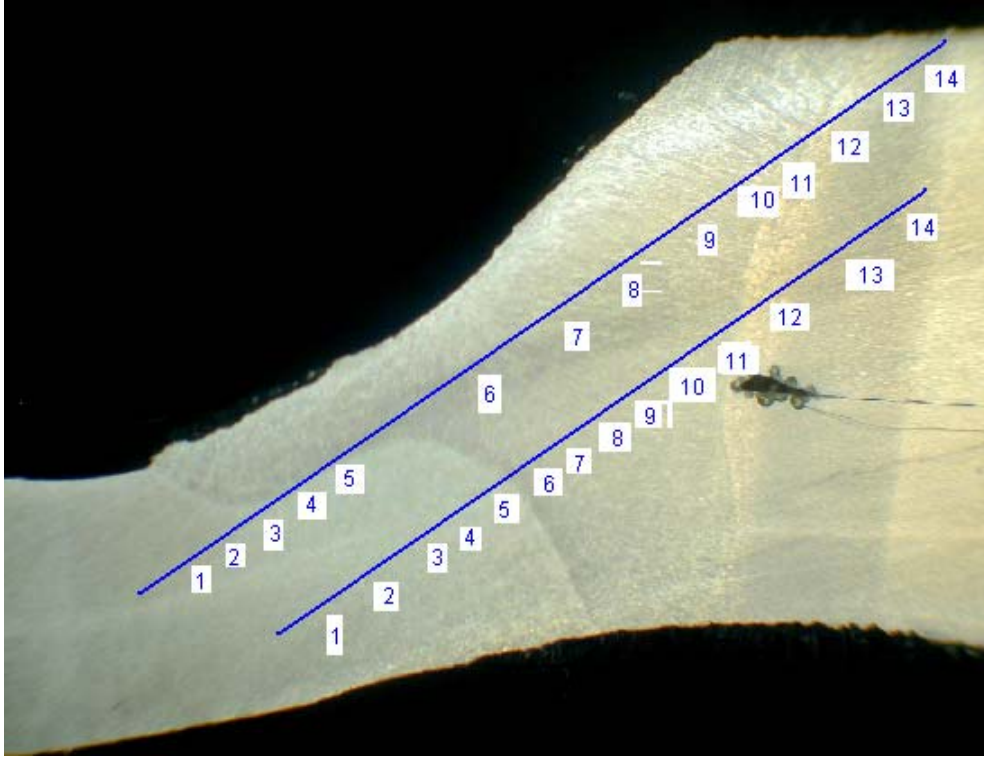
Şekil: 4.9 120 cm/dak hızla yapılmış su soğutmalı ve su soğutmasız kaynak dikiş genişliği karşılaştırması.

Aynı hız değeri için, su soğutması yapılan numunelerden 50 ve 75 cm/dak hızlarda yapılan kaynak işlemlerinde dikiş genişliği yüzeyde su soğutması yapılmayan numunelere göre daha geniş iken kaynak boğazının sonlarına doğru kesit daralmakta bununla beraber nüfuziyet de soğutma yapılmayanlara göre artmaktadır. 120 cm/dak hızda yapılan denemelerde ise tam tersine yüzeyde dikiş genişliği daha dar kaynak boğazının sonlarına doğru daha geniştir. Bu durum malzemeye verilen enerji yoğunluğundaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. 50 ve 75 cm/dak hızlardaki dikişlerde daha dar bir kesitten malzemeye aktarılan enerji temas ettiği kesiti hızla ertirirken bir miktar ana malzemeyi buharlaştırır. Kaynak banyosunu da kenarlara doğru uzaklaştırır. Kaynak banyosu altındaki ana malzemeyi eritmeye devam eden yüksek enerji yoğunluklu plazma anahtar deliğine benzer bir kaynak kesiti oluşmasını sağlar. Bu nedenle kesitin yüzeye yakın bölümlerinde, ilk kaynak banyosu, geniş; kaynak boğazının alt kısımlarındaki kesitte ise daha dardır. (Özcan, Tarakçıoğlu, Karamanlı 2004). 120cm/dak hızla yapılan kaynak işleminde ise ark esas metale doğrudan etki ettiğinden, birim kaynak dikişi uzunluğu başına, arkten esas metale iletilen ısı enerjisi önce artar. Kaynak hızının artması, birim kaynak dikişi

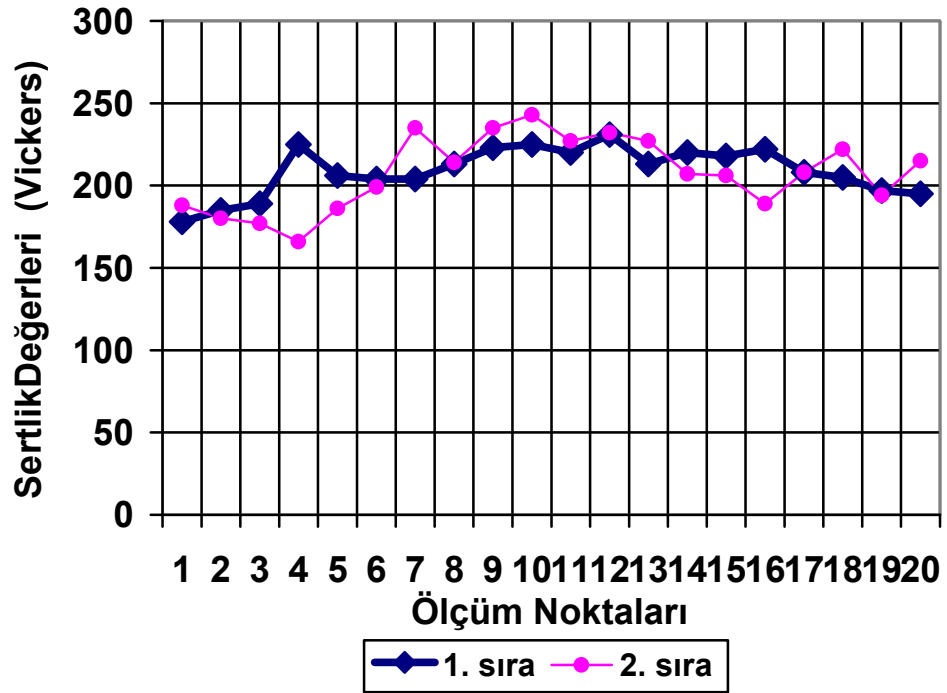
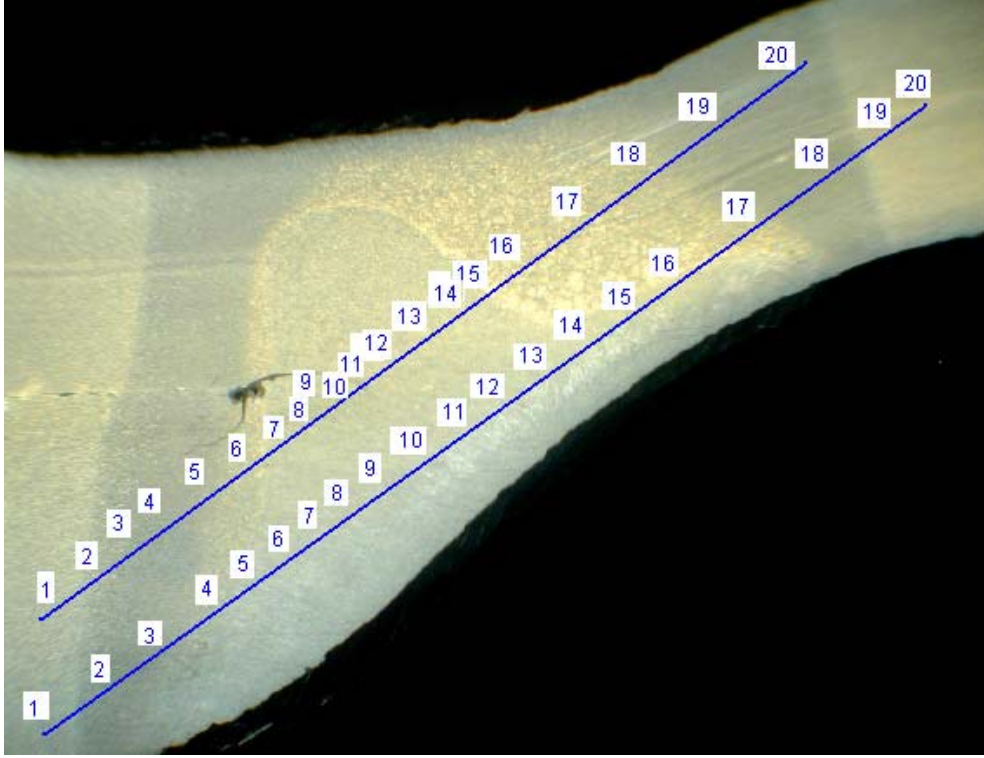


uzunluğu başına esas metale daha az ısı enerjisi verilmesi sonucunu doğurur. Bu nedenle, artan kaynak hızı ile esas metalin erimesi önce artar daha sonra azalır. Kaynak hızının tel sürme hızından daha fazla olması nedeni ile ark tarafından ergitilen yolu doldurmaya yetmeyecek miktarda dolgu metali yığılması olduğundan kaynak dikişinin kenarlarında yanma olukları meydana gelir. (Eryürek B. 2003)

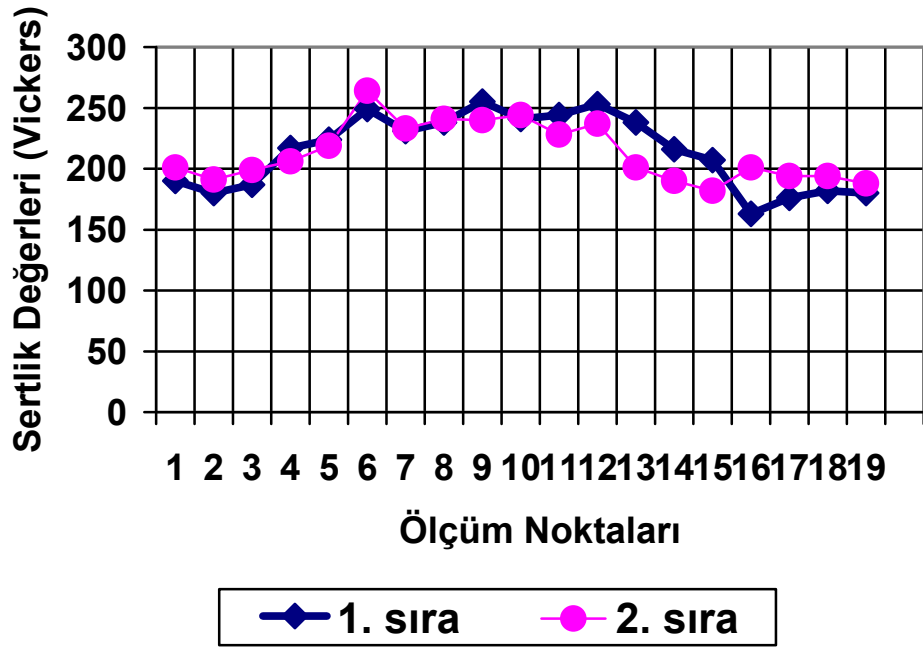
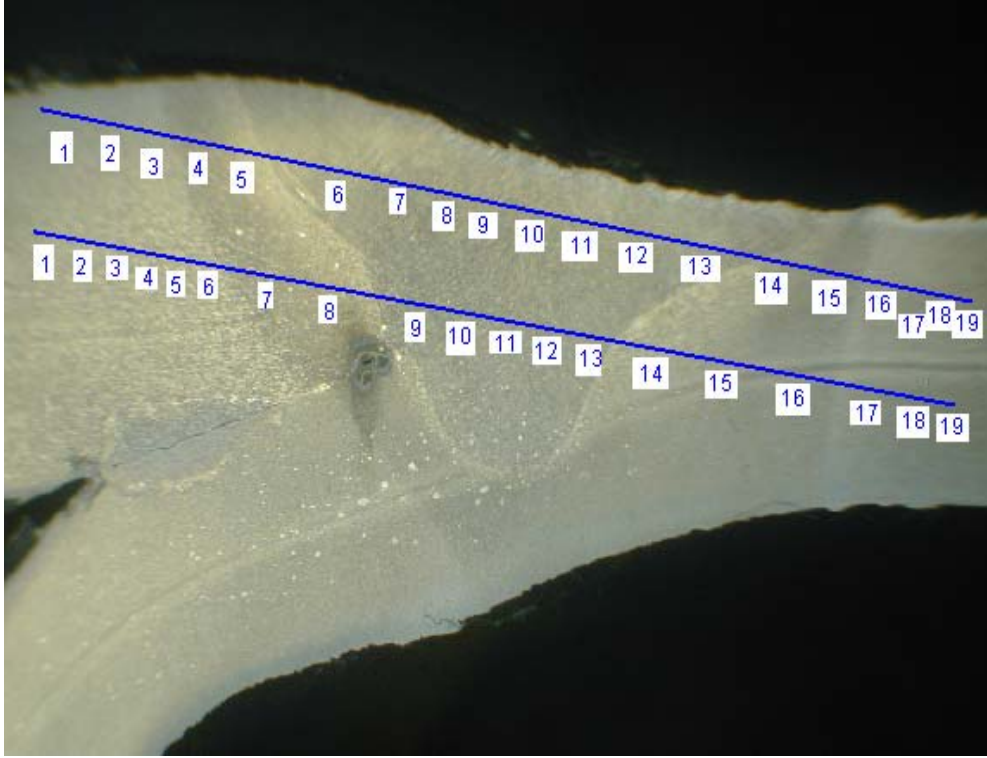
Çalışmanın son aşamasında elde edilen numunelere Vickers Sertlik Testi yapılmıştır. Test sırasında her numuneye iki sıra boyunca belirli aralıklarla 9,8 N'luk kuvvet 10 sn boyunca uygulanmış ve numune üzerinde oluşan piramit şeklinin köşegenleri arasındaki mesafeler ölçülerek noktaların sertlik değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen verilerden aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.



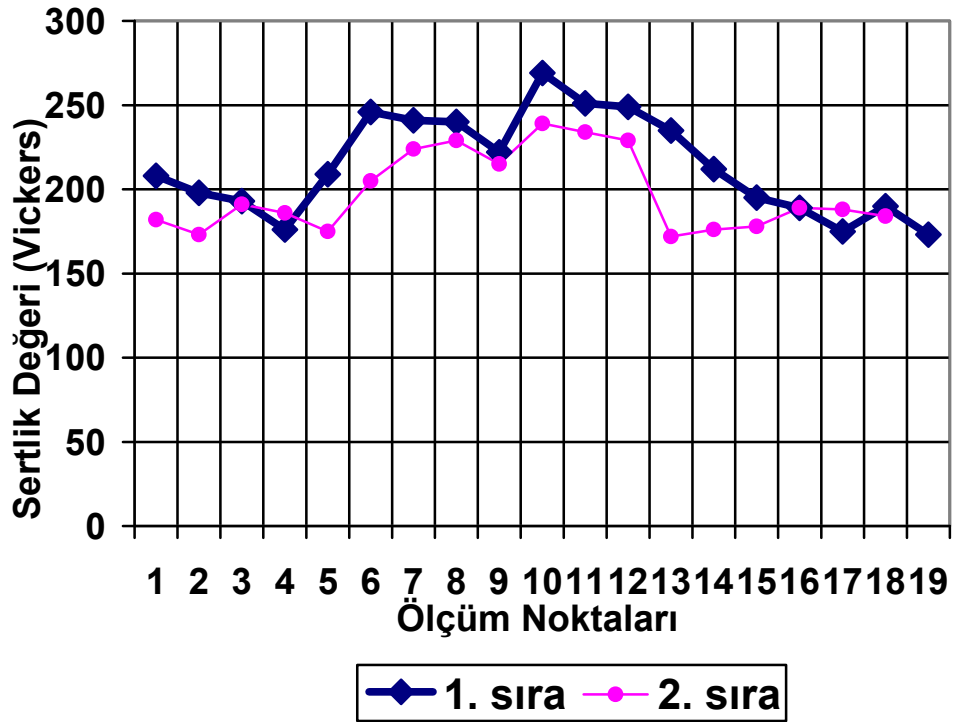
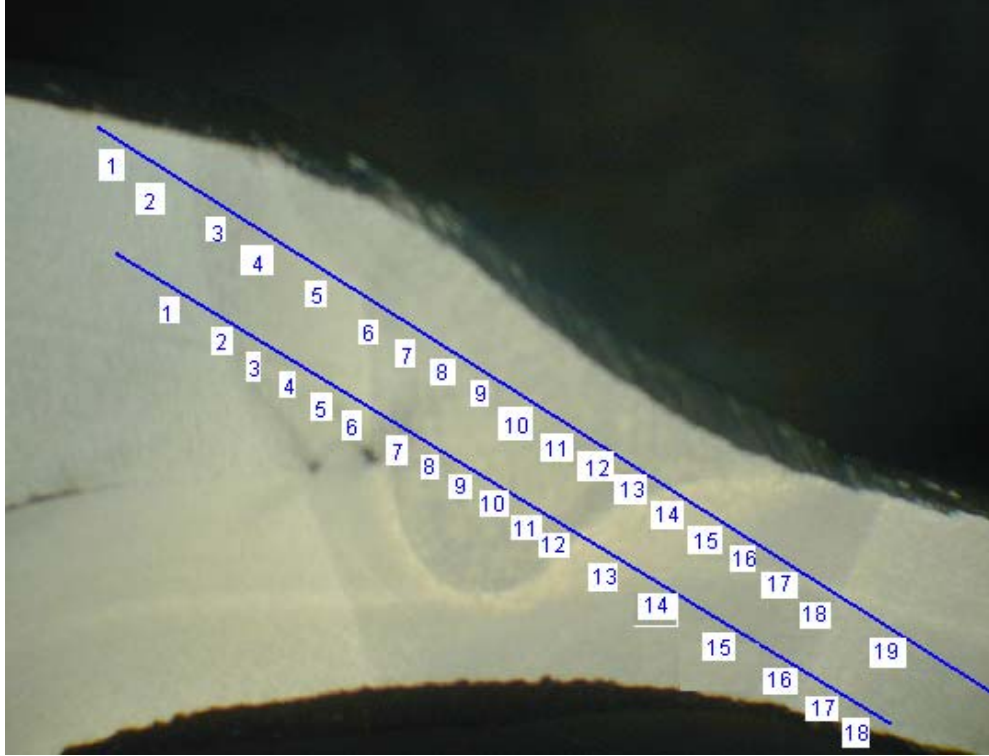
Şekil 4.10 50 cm/dak hızda su soğutmalı numune sertlik diyagramı.



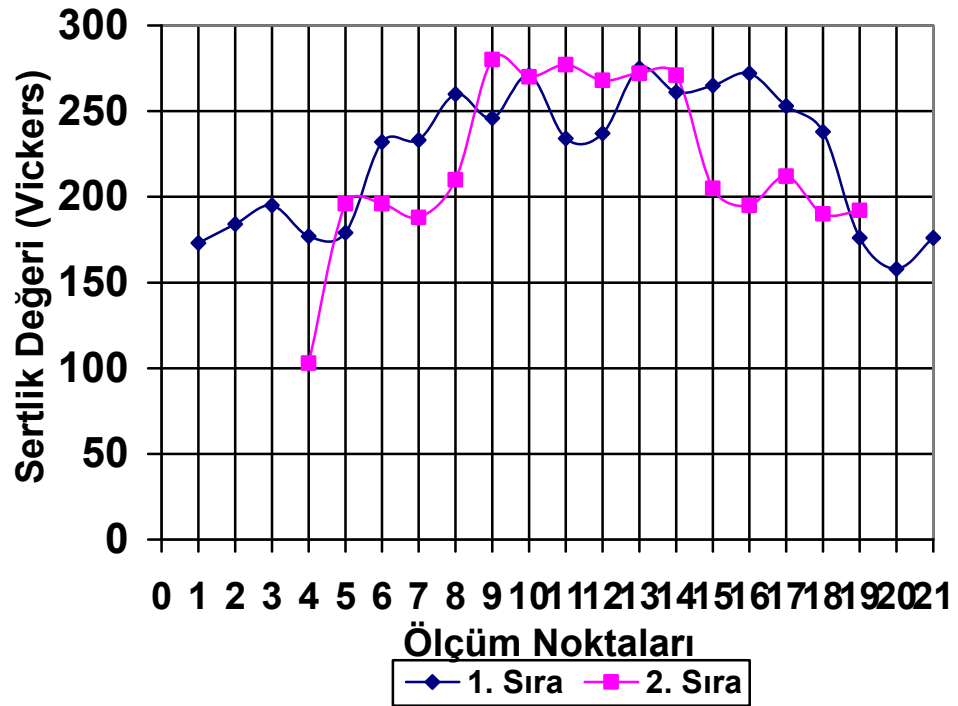
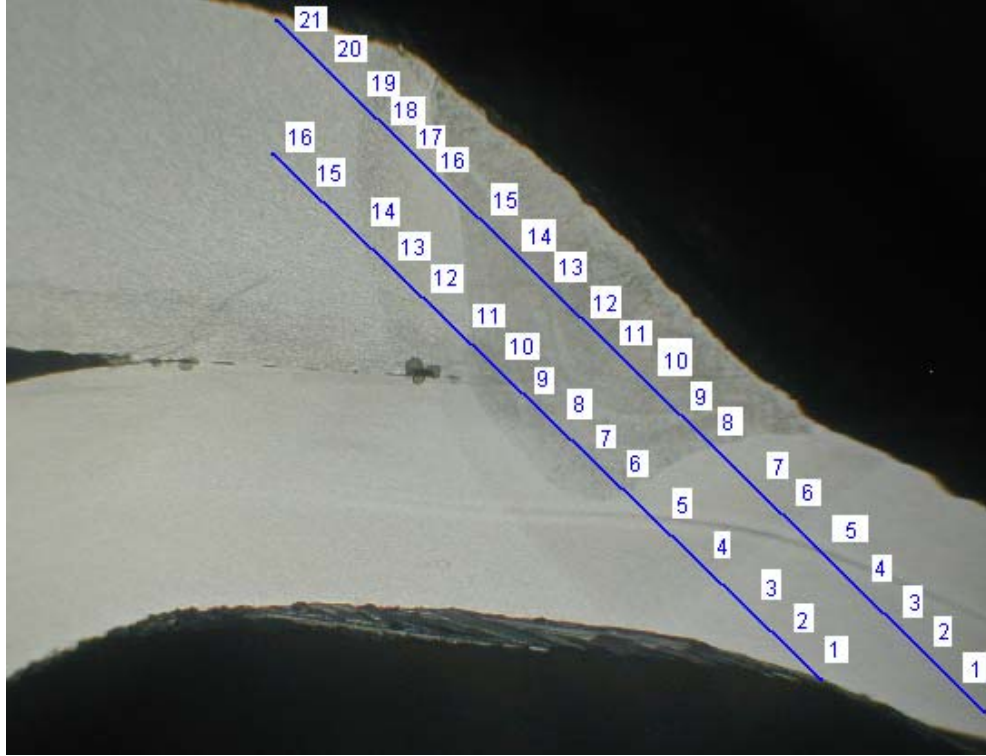
Şekil 4.11 50 cm/dak hızda su soğutmasız numune sertlik diyagramı.



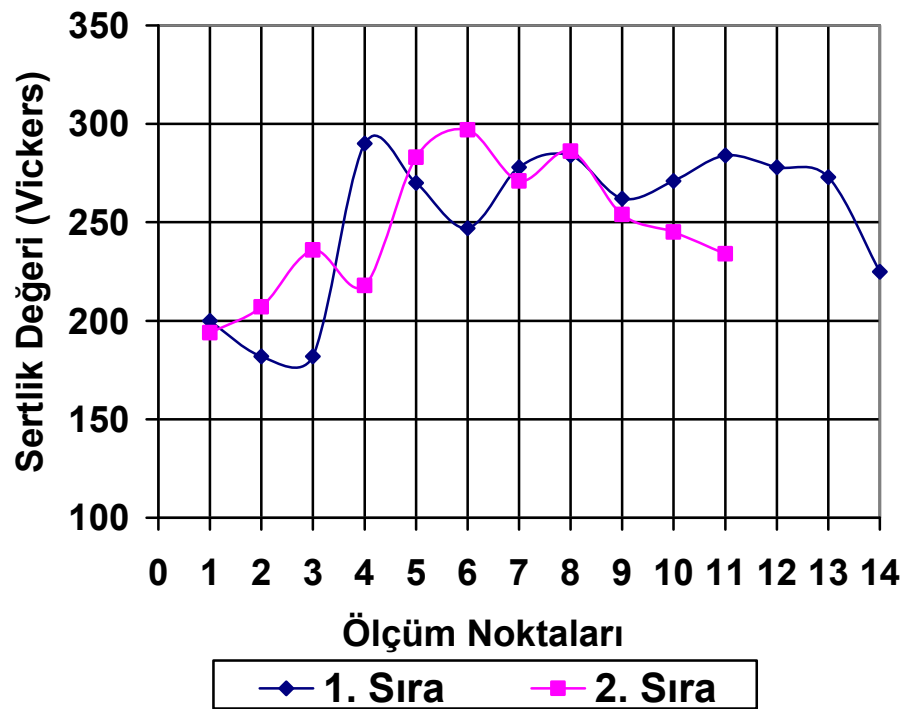
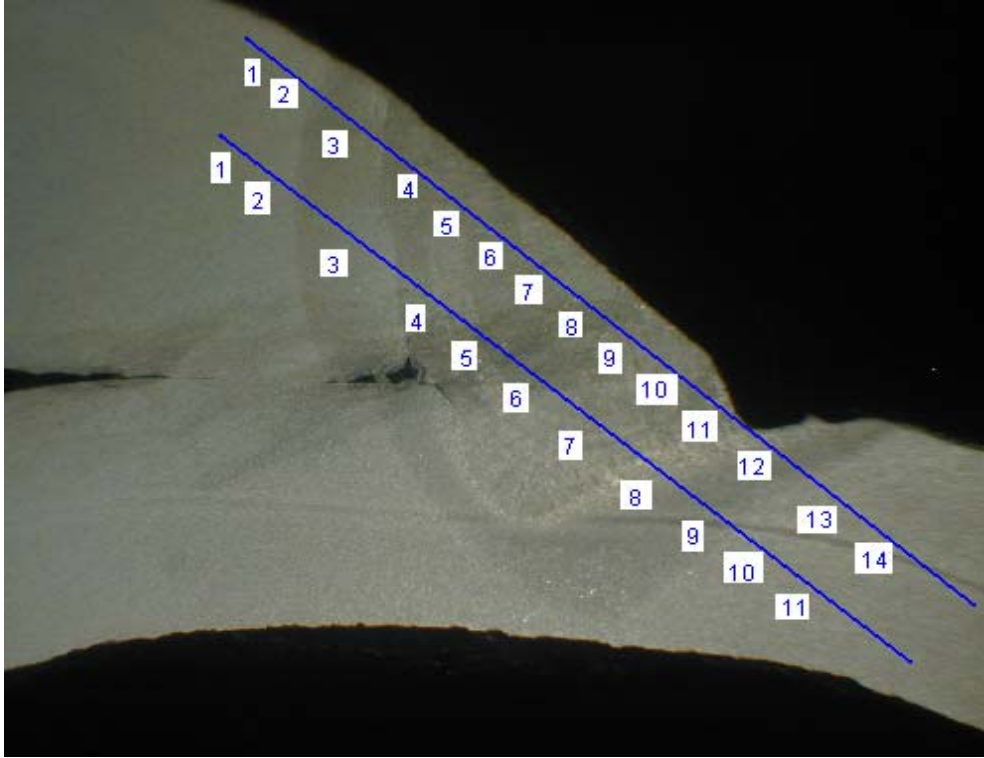
Şekil 4.12 75 cm/dak hızda su soğutmalı numune sertlik diyagramı.



Şekil 4.13 75 cm/dak hızda su soğutmasız numune sertlik diyagramı.



Şekil 4.14 120 cm/dak hızda su soğutmalı numune sertlik diyagramı.



Şekil 4.15 120 cm/dak hızda su soğutmasız numune sertlik diyagramı.

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇ

Günümüzde makine ve imalat sanayisinde kullanılan en önemli birleştirme yöntemlerinden birisi kaynaklı bağlantılardır. Kaynaklı bağlantıların sağlamlığının ve güvenilirliğinin sağlanması, dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardandır. Bu iki durumun aynı anda elde edilebilmesi, ancak hatasız bir kaynak dikişi ile sağlanabilir.

Tüm kaynak parametreleri uygun seçilmiş olsa dahi dışarıdan gelebilecek; torcun sabit hızda tutulamaması, kaynakçının hatalı el hareketleri, hava akımları, elektriksel vb; etkenler kaynak dikişinde hatalara neden olabilirler. Her ne kadar bu sorunlar da otomasyona geçilerek çözülmeye çalışılmış olsa dahi kaynak hataları tüm uygulamalar için tamamen ortadan kaldırılamamıştır.

Kaynaklı bağlantılarda ilk etapta amaç birbirinden ayrı iki kaynaklanabilir metali birleştirmektir. Bu birleştirme sırasında ise istenilen güvenilirliğin ve sağlamlığın sağlanabilmesi, esas metalde ergimenin olduğu derinlik olarak adlandırılan nüfuziyet ile elde edilir. Metaller arasındaki birleşme tüm yüzey boyunca olmazsa, kullanıldıkları yere göre üzerlerinde oluşan kuvvetlere dayanamayarak kırılabilir veya deforme olabilirler. Bu sorunu çözümenin yollarından bir tanesi kaynak bölgesine yoğun enerji vermektir. Makine kapasiteleri sınırlı olduğundan plazma termik veya manyetik olarak sıkıştırılarak enerji daha yoğun bir şekilde kaynak bölgesine iletmeye çalışılmıştır. Uygulamada termik sıkıştırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için su soğutmalı kaynak makineleri yapılmıştır. Su soğutmalı MIG-MAG kaynak makinelerinde makinaya bağlı bir soğutucu ünite bulunmaktadır. Bu makinelerin torçları da özel yapıdadır. Torç içinden tel elektrod kanalı ile sıcak-soğuk su boruları geçmektedir (Bknz Şekil 5.14-5.15). Soğutucudan çıkan su, anot memesi etrafından dolaşarak memeyi soğuturken, ısınan su ise tekrar soğutucu bölüme giderek ısınıp verir. Böylece hem anot memesinden tel elektrod geçiş hızı stabil kılınır hem de ark termik olarak sıkıştırıldığı için, daha yoğun enerji daha dar



Bir kesite geldiğinden, nüfuziyet artar. Fakat bu tür torçların ağır olması kaynakçının çabuk yorulmasına neden olur.

Hem daha ucuz bir çözüm olması hem de daha kullanışlı olması nedeni ile çalışmamızda tasarlanan nozul soğutma aparatı kullanılarak, sabit akım ve gerilim değerleri ile yapılan deneylerde kaynak hızı arttıkça;

$$Q = \frac{U * I}{V_k} * \eta$$

Q : Net ısı girdisi

U : Kaynak gerilimi

I : Kaynak akımı

$\eta$  : Verim

$V_k$  : Kaynak hızı

formülünden de görülebileceği üzere kaynak bölgesine net ısı girdisi azalmaktadır. Buna bağlı olarak da malzemede nüfuziyet azalmaktadır (Bknz Şekil 5.1 – 5.6). Aynı şekilde tel sürme hızına bağlı olarak ergiyen kaynak teli miktarı da sabit olduğundan kaynak hızının artması ile dikiş genişliği de azalmıştır.

Su soğutma aparatı kullanılarak nozul soğutulduğunda ise soğuyan nozul ile temas halinde olan koruyucu gaz soğumaktadır. Soğuyan gaz plazma çevresindeki akım iplikçiklerinin enerjisini alarak iplikçiklerin bir kısmının gaz fazına geçmesini sağlar. Bu durumda enerjisi değişmeyen plazmanın kesitinde oluşan daralma nedeni ile enerji yoğunluğu artacağından birleştirilecek malzemelerde daha derine nüfuz eder (Bknz Şekil 5.1 – 5.6). Aparatın bir diğer avantajı ise nozul içinden geçmekte olan gaz ile anot memesinden geçmekte olan tel elektrod akışını daha düzenli hale getirmektir.

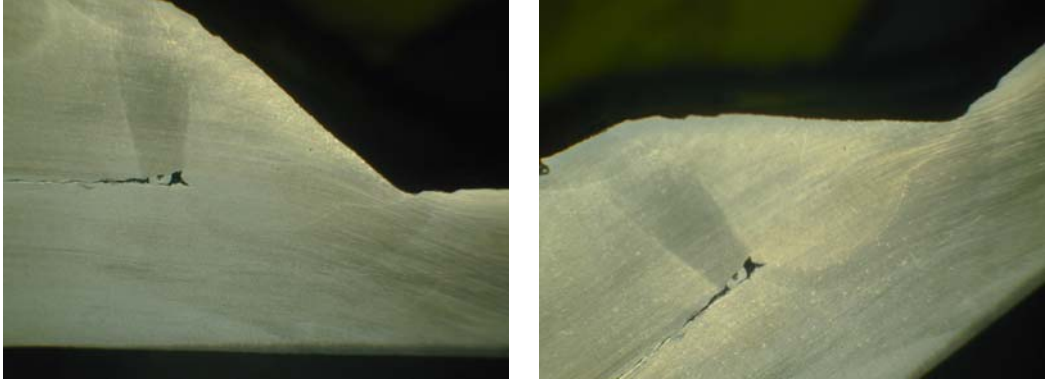
Deneylemlerden elde etmiş olduğumuz numuneler üzerinde nüfuziyet, dikiş genişliği ve sertlik değerleri karşılaştırmaları sonucunda diğer bütün parametreler sabit tutulduğunda kaynak hızı arttıkça ark tarafından eritilen ana malzeme dolgu teli tarafından yeterince doldurulamadığından dikiş genişliği azalmaktadır. Su soğutması yapılan numunelerde ise termik sıkıştırma etkisiyle plazma daha dar bir yüzeye temas ettiğinden dikiş genişliği su soğutmasız numuneye nazaran daha dardır. Hızın artmasına bağlı olarak ayrıca 120 cm/dak hızla yapılan kaynak işleminde dikiş kenarlarında yanma olukları oluştuğu tespit edilmiştir.

Kaynaklı bağlantılarda sertlik soğuma hızına ve ana malzemenin kimyasal yapısına bağlıdır. Bir kaynak bağlantısının ısı tesiri altında kalan bölgesinde (ITAB) oluşacak soğuma hızları genellikle, uygulamada sertleşme elde etmek amacıyla kullanılan ısı işlemlerde karşılaşılan su verme etkisini oluşturacak kadar yüksektir. ITAB'daki soğuma hızı esas olarak ısı girdisi ve bağlantıdaki metal kalınlığı tarafından belirlenir. Yüksek ısı girdileri ITAB'da düşük soğuma hızlarına neden olur. Kalın kesitlerdeki soğuma hızları da ince kesitlerden daha yüksektir. Soğuma hızları esas metalin kaynaktan önce ve kaynak sırasındaki sıcaklığından da etkilenir. Örneğin bir levhanın ön tavlama ve kaynak dikişi çekilirken de bu sıcaklığın korunması sertleşmiş yapının oluştuğu sıcaklık aralığındaki soğuma hızının azalmasına neden olur. (Gourd, 1999) Kaynak hızı arttıkça malzemeye toplam ısı girdisi azaldığından soğuma hızı artar. Bu durum martenzitik yapı oluşumuna neden olduğu için numunelerde kaynak hızı arttıkça sertlik artmaktadır. Ayrıca yapılan kaynak işleminin yönüne göre de malzemenin sertlik değerlerinde değişimler olmaktadır. Soğutma yapılan numuneler ile yapılmayan numuneler arasında birim kesite verilen enerji miktarı farklı olmasına rağmen malzemeye verilen toplam enerji miktarında bir fark olmadığı için sertlik değerleri birbirine yakındır. Sadece ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ile dikiş genişlikleri arasında farklılıklar vardır.

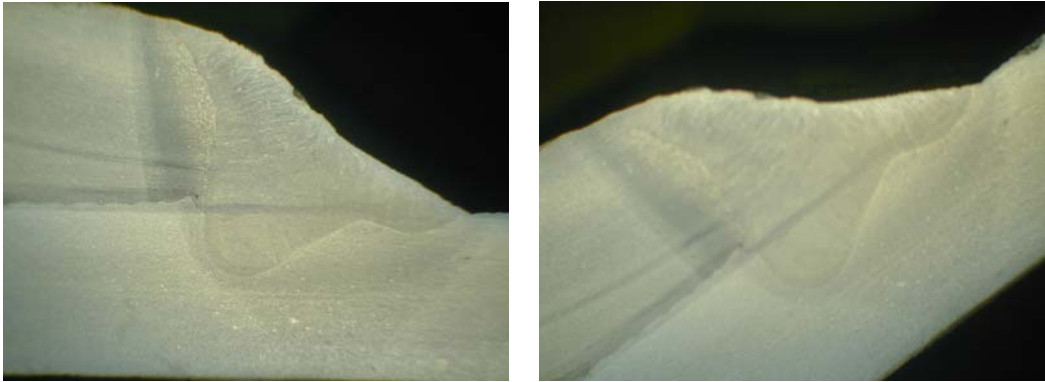
Kaynak banyosu elektrod ve esas metal karışımından meydana gelmiştir. Bunların oranları büyük ölçüde ısı girdisi tarafından tayin edilir. Çünkü ısı girdisi hem elektrod erime hızını hem de nüfuziyeti kontrol eder. Isı girdisini etkileyen temel faktörler ark akımı, ark gerilimi, kaynak hızıdır. Yaptığımız deneylerde ark

gerilimi ve ark akımı sabit kabul edilirse kaynak hızı arttıkça malzemeye ısı girdisindeki azalma nedeni ile nüfuziyet de azalmaktadır. Nozulu su ile soğutmamız sırasında nozul içinden geçen koruma gazının bir miktar ısısı soğurulduğundan plazmayı yalayarak geçen gaz plazmayı termik olarak sıkıştıracaktır. Termik sıkıştırma yardımıyla da malzemeye verilen enerji miktarı artmakta bu durum da nüfuziyetin artmasını sağlamaktadır.

#### Aynı Parametreler Kullanılarak Yapılmış Kaynak Dikişine Ait Nüfuziyet Karşılaştırmaları

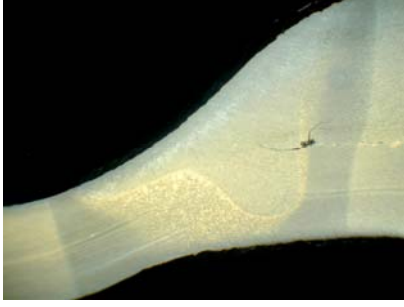


Şekil 5.7 Su soğutması yapılmayan nozul ile kaynak numunesi nüfuziyeti.



Şekil 5.8 Su soğutması yapılan nozul ile kaynak numunesi nüfuziyeti.

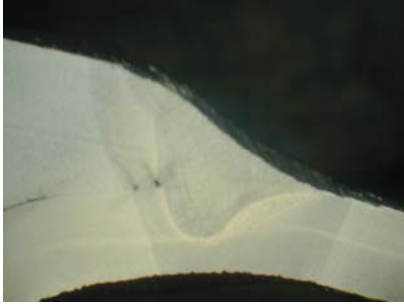
## Değişik Hızlarda Kaynak Dikişi Yapılmış Numune Fotoğrafları



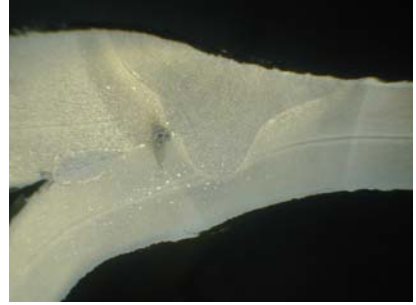
Şekil 5.1 V= 50 cm/dak su soğutmasız numune.



Şekil 5.2 V= 50 cm/dak su soğutmalı numune.



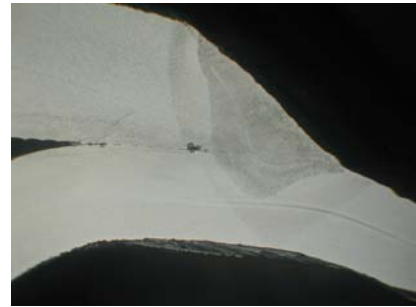
Şekil 5.3 V= 75 cm/dak su soğutmasız numune.



Şekil 5.4 V= 75 cm/dak su soğutmalı numune.



Şekil 5.5 V= 120 cm/dak su soğutmasız numune.



Şekil 5.6 V= 120 cm/dak su soğutmalı numune.

## Ekipmanlar



Şekil 5.9 Nozul soğutma aparatı ve MIG/MAG kaynak makinası.



Şekil 5.10 Koruyucu gaz sağlama sistemi.



Şekil 5.11 Su soğutma sistemi.



Şekil 5.12 Kaynak arabası.



Şekil 5.13 Kaynak arabasının hız ayar sistemi.



Şekil 5.14 Su soğutmalı gazaltı kaynak makinası örneği.



Şekil 5.15 Su soğutmalı torç içinden geçen soğuk-sıcak su hortumları ve torcun genel görüntüsü.

## KAYNAKÇA

Anık, S. (1996). *Termik kesme teknolojisi*, Gedik Eğitim Vakfı.

Anık, S., Dikicioğlu, A, ve Vural, M. (1999). *İmal usulleri*, İstanbul, Birsen Yayınevi

Anık, S. ve Vural, M. (2001). *Kaynak ve kesme teknolojisinde parametre değer tabloları*

Ertürk, İ. (b.t). *Gaz altı kaynak yöntemleri*.

Eryürek, İ.B. (2003). *Gaz altı kaynağı*, Kaynak Tekniği San ve Tic A.Ş.

Gourd, L.M. (1995). *Kaynak teknolojisinin esasları* , Birsen Yayın Evi.

Jeffus, L. (2003). *Welding principles and applications* , Thomson .

Karadeniz, S. (1989). *Plazma tekniği*, İzmir:Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Basım Ünitesi.

Karadeniz, S. (2000). *Kaynak yöntemleri cilt 1 eritme kaynağı*, İzmir:Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Basım Ünitesi.

Karadeniz, S. (2000). *Kaynak makinaları*, İzmir:Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Basım Ünitesi.

Karadeniz, S. (b.t). *Ders notları*.

Karadeniz, E., Özsaraç, U, ve Yıldız, C. (2005). The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding process, *Materials & Design*, 28 ( 2007 649-565 )

Karaoğlu, S. ve Seğgin, A. (2007). Sensitivity analysis of submrged arc welding process parameters, *Journal Of Materials Processing Technology*, 11290, 8

Özcan, M., Tarakcıoğlu, N, ve Kahramanlı, Ő. (2004). Sac malzemelerin lazer kaynak parametreleri, *Teknik – Online Dergi*, Cilt 3 Sayı 1-2004

Messler, R. W. (1999). *Principles of welding* , John Wiley and Sons.

Tottle, C.R. (1965). *Institution of metallurgists* , George Allen.