

**KONVANSİYONEL VE SİNERJİK KAYNAK  
MAKİNALARI İLE MASİF VE ÖZLÜ TEL İLE  
KAYNAK EDİLMİŞ ST 37 ÇELİĞİN KAYNAK  
DİKİŞLERİNİN İNCELENMESİ**

**Yakup UZUN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı**

**Prof. Dr. Ayhan ÇELİK**

**2014**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KONVANSİYONEL VE SİNERJİK KAYNAK MAKİNALARI İLE  
MASİF VE ÖZLÜ TEL İLE KAYNAK EDİLMİŞ ST 37 ÇELİĞİN  
KAYNAK DİKİŞLERİNİN İNCELENMESİ**

**Yakup UZUN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2014**

**Her hakkı saklıdır**



**T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TEZ ONAY FORMU**

**KONVANSİYONEL VE SİNERJİK KAYNAK MAKİNALARI İLE MASİF VE  
ÖZLÜ TEL İLE KAYNAK EDİLMİŞ ST 37 ÇELİĞİN KAYNAK  
DİKİŞLERİNİN İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Ayhan ÇELİK danışmanlığında, Yakup UZUN tarafından hazırlanan bu çalışma 27/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

İmza :

Üye : Prof. Dr. Akgün ALSARAN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Zafer EKİNCİ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 03.../07/2014 tarih ve 27.../835... nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU**  
**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KONVANSİYONEL VE SİNERJİK KAYNAK MAKİNALARI İLE MASİF VE ÖZLÜ TEL İLE KAYNAK EDİLMİŞ ST 37 ÇELİĞİN KAYNAK DİKİŞLERİNİN İNCELENMESİ

Yakup UZUN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

Günümüzde MİG/MAG kaynağının endüstride kullanımı giderek artmaktadır. Yapılacak kaynak da hem kaynak makinesinin seçimi hem de kullanılacak tel elektrot seçimi ortaya çıkacak kaynak bileşiminin mekanik ve fiziksel özellikleri için önemli noktalaradır.

Geleneksel (konvansiyonel) gazaltı kaynak makineleri amper, tel hızı ve sınırlı sayıdaki endüktans (şase çıkışı) dışında herhangi bir ayar yapabilme kabiliyetine sahip değildir. Bu tip makinelerde ki sınırlı imkanlar demir ve özellikle demir dışı metallerin kaynağını oldukça zorlamaktadır. Sinerjik kaynak makinelerin de ise inverter teknolojisinin ve dijital olanakların kullanılması bu makinelerin kaynak kalitesini mükemmel düzeye çıkartarak günümüz kaynak teknolojisini en üst sınırlara taşımaktadır.

Örtülü çubuk elektrotlar, teknolojik gereksinimleri büyük ölçüde karşılayacak duruma erişmiş olmalarına rağmen üzerlerindeki toz örtü sebebiyle bobin halinde sarılamadığı için otomasyonda kullanılma olasılığı vermemektedirler. Bu sebeple hem otomatik kaynak ihtiyacını karşılamak hem de kaynak banyosuna gerekli alaşım elementleri katarak kaynağın yavaş soğumasını sağlama, ortamın olumsuz etkilerinden korumak, kaynak dikişini tanzim etmek gibi özellikleri kazandırmak için özlü tel elektrotlar üretilmiştir.

Bu çalışmada geleneksel MAG ve sinerjik kaynak makinesi ile masif ve özlü telle kaynak edilmiş St 37 çeliğin kaynak dikişlerinin mukavemetlerini inceleyip aralarında karşılaştırma yapabilmek için çekme, çentik darbe, sertlik, korozyon deneyleri yapılmış ayrıca kaynak bölgeleri SEM de incelenmiştir.

**2014, 72 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Geleneksel kaynak makinesi, Sinerjik kaynak makinesi, Masif tel, Özlü tel

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **A COMPARATIVE ANALYSIS OF WELD SEWING OF ST37 STEEL THAT WAS WELDED WITH MASSIVE AND COMPACT WIRE BY MAG CONVENTIONAL AND SYNERGIC MACHINES**

Yakup UZUN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
Construction and Fabrication Science

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

Today, MIG / MAG welding is an increasing use in industry. The selection of the welding and welding machines to be used for both welding wire will emerge electrode choice for mechanical and physical properties of the composition are important considerations.

Conventional welding machines (traditional) current, wire speed and a limited number Inductance (chassis output) make any other adjustment is not capable. In synergic welding machines and digital inverter technology also allows the use of resources of these machines to the excellent level of quality by removing the source of today's technology has brought them to the utmost limit.

Also covered electrode, enough to meet the technological requirements to a large extent even though they have access to the dust cover on them due to be wound into coils are not likely to be used in automation. For this reason, the automatic welding meet the needs of both weld the necessary alloying elements sources by adding slow cooling improvement, the environment from the negative effect the weld seam and drawn to features such as to impart cored wire electrodes were produced.

In this study, conventional MAG and synergic welding machine with a solid and cored wire, welded St 37 weld strength of the investigated and comparison between them to make Tensile, Impact, Hardness, and Corrosion tests were conducted and the welded regions also investigated with Scanning Electron Microscopy (SEM).

**2014, 72 pages**

**Keywords:** Conventional welding machine, Synergic welding machine, Massive wire, Flux cored welding wire

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında benden yardımını, anlayışını, desteğini ve zamanını esirgemeyen tez yöneticim Sayın Prof. Dr. Ayhan ÇELİK'e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Yaptığım çalışmada bana daima yol gösteren ve benden bilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Akgün ALSARAN, Sayın Doç. Dr. Ali Fatih YETİM'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih YILDIZ'a,

Oluşturdukları bilimsel çalışma ortamı dolayısı ile Sayın Arş. Gör. İlyas HACISALİHOĞLU'na, Sayın Arş. Gör. Halim KOVACI'ya, Sayın Arş. Gör. Mevra ASLAN'a, Sayın Arş. Gör. Onur ÇOMAKLI'ya, makine yüksek mühendisi Sayın Mustafa YAZICI'ya,

Tezde kullanılan malzemelerin kaynağında yardımını esirgemeyen Gedik Kaynak A.Ş Eğitim Müdürü Sayın Mehmet TURAN başta olmak üzere tüm gedik kaynak çalışanlarına, ERK Makine San. Tic. A.Ş. adına Sayın Rahim AKBABA'ya

Desteğini esirgemeyen tüm arkadaşlara ve aileme teşekkür ederim.

**Yakup UZUN**

**Haziran, 2014**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                             |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| ÖZET.....                                                                                                   | i        |
| ABSTRACT.....                                                                                               | ii       |
| TEŞEKKÜR.....                                                                                               | iii      |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                                        | vii      |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                        | viii     |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                                     | x        |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                                        | <b>1</b> |
| <b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>                                                                            | <b>5</b> |
| 2.1. MİG/MAG Kaynağının Esası.....                                                                          | 5        |
| 2.2. Özlü Tel Elektrotlarla Kaynak .....                                                                    | 11       |
| 2.3. Özlü Tel Elektrotların Üretimi .....                                                                   | 12       |
| 2.4. MAG Kaynağında Kullanılan Özlü Tel Elektrotlar İle Çıplak Tel<br>Elektrotların Karşılaştırılması ..... | 16       |
| 2.4.1. Çıplak tel ve özlü tel elektrotların sınıflandırılması.....                                          | 17       |
| 2.5. Özlü Tel Elektrotla Kaynakta Kullanılan Koruyucu Gazlar, Gaz<br>Karışımları ve Temel Özellikleri.....  | 18       |
| 2.5.1. Karbondioksit .....                                                                                  | 21       |
| 2.5.2. Karışım Gazlar .....                                                                                 | 22       |
| 2.6. Kaynak Donanımı ve Ekipmanları .....                                                                   | 22       |
| 2.6.1. Kaynak Ekipmanları.....                                                                              | 22       |
| 2.6.2. Kaynak Torçları.....                                                                                 | 22       |
| 2.6.3. Anod Memesi .....                                                                                    | 23       |
| 2.6.4. Gaz Nozulu.....                                                                                      | 24       |
| 2.6.5. Kaynak Torçları.....                                                                                 | 24       |
| 2.6.6. Basınç Düşürme Manometresi Ve Debimetre.....                                                         | 25       |
| 2.6.7. Tel Sürme Mekanizması.....                                                                           | 26       |
| 2.6.8. Kaynak Kontrol Ünitesi.....                                                                          | 29       |
| 2.6.9. Sulu Soğutma Sistemleri .....                                                                        | 30       |
| 2.7. MİG - MAG Akım Üreteçleri .....                                                                        | 30       |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7.1. Motor Generatör Tipi Akım Üreteçleri .....            | 33        |
| 2.7.2. Redresör Türü Akım Üreteçleri.....                    | 34        |
| 2.7.3. Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri .....                | 35        |
| 2.7.4. İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri .....            | 36        |
| 2.8. Ark Türleri ve Arkta Kaynak Metali Taşınımı.....        | 39        |
| 2.8.1. MAG kaynağında damla transferinin gerçekleşmesi ..... | 39        |
| 2.8.2. Kısa Ark (Kısa Devreli Metal Taşınımı).....           | 41        |
| 2.8.3. Uzun Ark (Damlasal Metal Taşınımı).....               | 42        |
| 2.8.4. Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı) .....         | 43        |
| 2.8.5. Darbeli Sprey Ark İle Metal Taşınımı.....             | 44        |
| 2.8.6. Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi .....                | 46        |
| <b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>                            | <b>48</b> |
| 3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri.....       | 48        |
| 3.1.1. Ana metal .....                                       | 48        |
| 3.2. Kullanılan Elektrotlar .....                            | 48        |
| 3.2.1. Rutil karakterli özlü tel elektrot (ELCOR R 71) ..... | 48        |
| 3.2.2. Rutil Karakterli Masif Tel Elektrot (SG2) .....       | 49        |
| 3.3. Koruyucu Gaz.....                                       | 50        |
| 3.4. Kaynak Makineleri .....                                 | 50        |
| 3.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi .....                 | 52        |
| 3.5.1. Geleneksel makine ayar parametreleri .....            | 53        |
| 3.5.2. Sinerjik Makine Ayar Parametreleri.....               | 53        |
| 3.6. Uygulanan Test Yöntemleri .....                         | 54        |
| 3.6.1. Çekme deneyi .....                                    | 54        |
| 3.6.2. Çentik Darbe Deneyi .....                             | 54        |
| 3.6.3. Korozyon Deneyi .....                                 | 56        |
| 3.6.4. Vickers Sertlik Deneyi .....                          | 57        |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>               | <b>59</b> |
| 4.1. İç Yapı Analizleri .....                                | 59        |
| 4.2. Çekme Deney Sonuçları .....                             | 63        |
| 4.3. Çentik Darbe Deney Sonuçları.....                       | 64        |
| 4.5. Sertlik Deney Sonuçları.....                            | 64        |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 4.4. Korozyon Deney Sonuçları .....   | 65        |
| 4.4.1. Korozyon SEM görüntüleri ..... | 67        |
| <b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>     | <b>69</b> |
| KAYNAKLAR .....                       | 71        |
| ÖZGEÇMİŞ .....                        | 73        |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

|                 |                                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| Ar              | Argon                                                      |
| AWS             | American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği)         |
| CO <sub>2</sub> | Karbondioksit                                              |
| DAEN            | Doğru Akım Elektrot Negatif Kutuplama (Düz Kutuplama)      |
| DAEP            | Doğru Akım Elektrot Pozitif Kutuplama (Ters Kutuplama)     |
| EN              | Avrupa Normları                                            |
| GMAW            | Gas Metal Arc Welding                                      |
| I               | Kaynak akımı                                               |
| ITAB            | Isının Tesiri Altındaki Bölge                              |
| MAG             | Metal Active Gas                                           |
| MIG             | Metal İnert Gas                                            |
| mm              | Milimetre                                                  |
| MPa             | Megapascal                                                 |
| N               | Newton                                                     |
| SEM             | Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskop) |
| TIG             | Tungsten Inert Gas                                         |
| TS              | Türk Standartları                                          |
| U               | Kaynak gerilimi                                            |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Çeşitli kaynak malzemelerinin endüstride kullanım alanları.....                   | 2  |
| Şekil 2.1. Geleneksel MİG/MAG kaynak makinası .....                                          | 6  |
| Şekil 2.2. İnverter MİG/MAG kaynak makinesi .....                                            | 6  |
| Şekil 2.3. MİG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi .....                                       | 7  |
| Şekil 2.4. Özlü tel elektrotla kaynakta ark bölgesi .....                                    | 11 |
| Şekil 2.5. Özlü tel üretimi .....                                                            | 12 |
| Şekil 2.6. Özlü elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri .....     | 13 |
| Şekil 2.7. Koruyucu gazların kaynak dikişi formuna etkisi.....                               | 20 |
| Şekil 2.8. Otomatik gaz soğutmalı MIG/MAG kaynak torcu.....                                  | 25 |
| Şekil 2.9. Basınç düşürme manometresi .....                                                  | 26 |
| Şekil 2.10. İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması .....       | 28 |
| Şekil 2.11. Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması .....                       | 28 |
| Şekil 2.12. Kaynak akım üreteçlerinde volt-amper karakteristikleri .....                     | 31 |
| Şekil 2.13. Sabit gerilimli akım üretecinde ark boyunun kaynak süresince sabit kalması ..... | 32 |
| Şekil 2.14. MIG-MAG yöntemi için motor-generatör akım üretici .....                          | 34 |
| Şekil 2.15. MIG/MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi .....                    | 36 |
| Şekil 2.16. İnverter türü akım üreteçlerinin prensip şeması .....                            | 37 |
| Şekil 2.17. Elektrotun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri ....       | 40 |
| Şekil 2.18. GMAW’de metal transfer modları.....                                              | 41 |
| Şekil 2.19. Uzun ark ile MIG-MAG kaynağında damla geçişi.....                                | 43 |
| Şekil 2.20. Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi.....                | 45 |
| Şekil 2.21. Darbe frekansının dikiş profiline etkisi .....                                   | 46 |
| Şekil 3.1. GeKa GKM 500-2W kaynak makinesi .....                                             | 50 |
| Şekil 3.2. GeKa Mac PoWer MIG GPS 270 C İnverter DC-Darbeli MİG\MAG kaynak makinesi.....     | 51 |
| Şekil 3.3. Kaynak edilecek iş parçası.....                                                   | 53 |
| Şekil 3.4. Çekme deney numune boyutları .....                                                | 54 |
| Şekil 3.5. Çentik darbe deney cihazının çalışma prensibi .....                               | 55 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.6.</b> Çentik darbe deney numunesi.....                                        | 55 |
| <b>Şekil 3.7.</b> Vickers deney ucu ve açılan .....                                       | 57 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Ana malzeme .....                                                       | 59 |
| <b>Şekil 4.2.</b> Geleneksel makine masif tel kaynak dış bölgesi .....                    | 59 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Geleneksel makine masif tel kaynak iç bölgesi .....                     | 60 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Geleneksel makine özlü tel kaynak dış bölgesi .....                     | 60 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Geleneksel makine özlü tel kaynak iç bölgesi .....                      | 60 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Sinerjik makine masif tel kaynak dış bölgesi .....                      | 61 |
| <b>Şekil 4.7.</b> Sinerjik makine masif tel kaynak iç bölgesi .....                       | 61 |
| <b>Şekil 4.8.</b> Sinerjik makine özlü tel kaynak dış bölgesi .....                       | 61 |
| <b>Şekil 4.9.</b> Sinerjik makine özlü tel kaynak iç bölgesi .....                        | 62 |
| <b>Şekil 4.10.</b> Çekme deneyi sonuçları.....                                            | 63 |
| <b>Şekil 4.11.</b> Ana malzemeden kaynak dikiş merkezine kadar olan sertlik değişimi..... | 64 |
| <b>Şekil 4.12.</b> OCP grafikleri.....                                                    | 65 |
| <b>Şekil 4.13.</b> Potansiyodinamik tarama grafikleri.....                                | 66 |
| <b>Şekil 4.14.</b> Ana metal.....                                                         | 67 |
| <b>Şekil 4.15.</b> Geleneksel makine masif tel.....                                       | 67 |
| <b>Şekil 4.16.</b> Sinerjik makine masif tel .....                                        | 68 |
| <b>Şekil 4.17.</b> Geleneksel makine özlü tel.....                                        | 68 |
| <b>Şekil 4.18.</b> Sinerjik makine özlü tel .....                                         | 68 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 2.1.</b> MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrot tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler .....  | 14 |
| <b>Çizelge 2.2.</b> EN 758 - T 46 3 1Ni B M 4 H5 .....                                                                | 18 |
| <b>Çizelge 2.3.</b> Aktif ve soy gazların özellikleri .....                                                           | 19 |
| <b>Çizelge 2.4.</b> MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları. ....                              | 47 |
| <b>Çizelge 3.1.</b> Metalin kimyasal bileşimi .....                                                                   | 48 |
| <b>Çizelge 3.2.</b> Kaynak telinin kimyasal bileşimi .....                                                            | 49 |
| <b>Çizelge 3.3.</b> Kaynak telinin mekanik değerleri.....                                                             | 49 |
| <b>Çizelge 3.4.</b> Kaynak telinin kimyasal bileşimi .....                                                            | 49 |
| <b>Çizelge 3.5.</b> Telinin Mekanik değerleri .....                                                                   | 50 |
| <b>Çizelge 3.6.</b> GeKa GKM 500-2W kaynak makinesinin teknik özellikleri .....                                       | 51 |
| <b>Çizelge 3.7.</b> GeKa Mac PoWer MIG GPS 270 C İnverter DC-Darbeli MİG\MAG kaynak makinesi Teknik özellikleri ..... | 52 |
| <b>Çizelge 3.8.</b> Geleneksel makine için uygulanan değerler .....                                                   | 53 |
| <b>Çizelge 3.9.</b> Tafel Tekniği parametreleri .....                                                                 | 56 |
| <b>Çizelge 4.1.</b> Çentik darbe deneyi sonuçları .....                                                               | 64 |

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu günümüzden yaklaşık 3500 yıl kadar önce, iki metal parçasını sıcak veya soğuk halde çekiçleyerek kaynak edip birleştirmeyi gerçekleştirmiştir. Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları ise, 19. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. 1920'ler, 1930'lar ve 1940'larda örtülü elektrotların ve alternatif akımla yapılan kaynağın gelişmeleri ile elektrik ark kaynağı zirvesine doğru tırmanmaya başlamıştır. Örtülü elektrotların geliştirilmesi, elektrik ark kaynağının itibarını arttırmış ve bütün metallerin kaynağı için yeni tekniklerin gelişmesine yol açmıştır (Anık vd 1991).

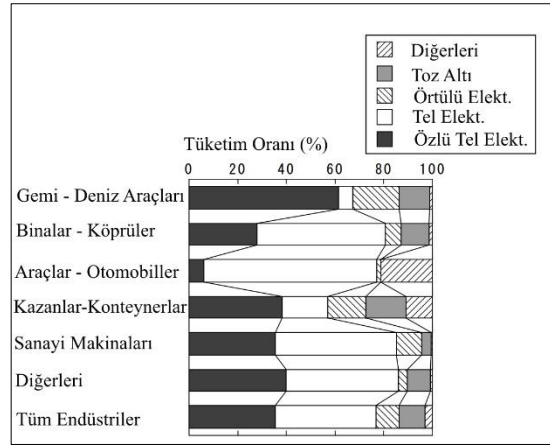
Günümüz kaynak teknolojisi, son derece yaygınlaşmış, kaynak yöntemlerinden birini veya birkaçını kullanmayan bir atölye, fabrika, şantiye vs. görmek hemen hemen imkansız hale gelmiştir. Gazaltı ark kaynağı ise ergime esaslı kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemi haline gelmiş ve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

Gazaltı kaynak yönteminde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrotla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu direnç ısıtması yoluyla üretilir. Elektrot çıplak bir tel olup, bir elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur (Eryürek 2003).

Örtülü çubuk elektrotlar, teknolojik gereksinimleri büyük ölçüde karşılayacak duruma erişmiş olmalarına rağmen üzerlerindeki toz örtü sebebiyle bobin halinde sarılamadığı için otomasyonda kullanılma olasılığı vermemektedirler. Bu sebeple hem otomatik kaynak ihtiyacını karşılamak hem de kaynak banyosuna gerekli alaşım elementleri katarak kaynağın yavaş soğumasını sağlama, ortamın olumsuz etkilerinden korumak,

kaynak dikişini tanzim etmek gibi özellikleri kazandırmak için özlü tel elektrotlar üretilmiştir.

Gaz koruması altında gerçekleştirilen ark kaynağı yöntemlerinde çıplak ve özlü tel elektrot kullanımı önemli bir paya sahiptir. Özellikle yüksek verim ve uygulama kolaylığı açısından özlü tel elektrot kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle gemi ve deniz araçlarında özlü telle ark kaynağı yönteminin kullanımının en yüksek uygulama oranına sahip olduğu görülmektedir (Morimoto 2005).



**Şekil 1.1.** Çeşitli kaynak malzemelerinin endüstride kullanım alanları (Morimoto 2005).

Yöntem sadece özlü tel elektrot ile veya elektrota ilaveten koruyucu gaz ile beraber olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Bu noktada örtülü elektrot ile gaz altı kaynak yöntemlerine benzerlik göstermektedir fakat bu yöntemlere karşı sağladığı üstünlükler tercih edilme nedeni olmuştur.

Sonsuz tellerin kullanıldığı kaynak yöntemlerinde önemli oranda güç artışı elde edilmektedir. Bu yöntemlerin başlıcaları tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleridir. Örtülü masif elektrotlarla yapılan kaynakta mekanizasyon derecesi ve buna bağlı olarak güç artımı, dışta bulunan örtü ve elektrot uzunluğu nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Örtülü masif elektrotlarla yapılan kaynak, elektrotların sınırlı akım yüklenebilirliklerine bağlı olarak ergime gücünün göreceli olarak düşük olması, sık elektrot değiştirilmesiyle

ortaya çıkan zaman kaybı ve elektrot artıklarının kullanılamamasından doğan malzeme kaybı nedeniyle ekonomik olmamaktadır. Ters elektrot olarak da adlandırılan ve örtülü elektrottaki örtü bileşenlerinin elektrot içine taşınmasıyla oluşturulan özlü tel elektrotlar, kaynak tekniğinde yeni ufuklar açmıştır. Özlü tel elektrotlar ile yapılan kaynak, elektrot değiştirme işleminin ortadan kaldırılması, elektrot artıklarının bulunmaması, yüksek ergime gücü ve sürekli bir kaynak işlemi için mekanizasyona uygunluğu nedeniyle, örtülü masif elektrotlarla yapılan kaynağa göre daha ekonomik olmaktadır. Sözü edilen nedenlerle yakın gelecekte gittikçe artan miktarlarda örtülü masif elektrotların yerini alması beklenmektedir (Ceyhun vd 2007).

Geleneksel yani geleneksel gazaltı kaynak makineleri amper, tel hızı ve sınırlı sayıdaki endüktans (şase çıkışı) dışında herhangi bir ayar yapabilme kabiliyetine sahip değildir. Bu tip makinelerde ki sınırlı imkanlar demir ve özellikle demir dışı metallerin kaynağını oldukça zorlamaktadır. Sinerjik kaynak makinelerin de ise inverter teknolojisinin ve dijital olanakların kullanılması bu makinelerin kaynak kalitesini mükemmel düzeye çıkartarak günümüz kaynak teknolojisini en üst sınırlara taşımaktadır.

İyi bir ısı ve elektrik iletkenliği kaynak için bir sorun olarak ortaya çıkar ve genellikle ana metalin aşırı ısınması ile sonuçlanır. Darbeli gaz metal ark kaynağı (GMAW-P) ortalama düşük bir akımda sprey transfer üreterek bu sorunun üstesinden gelir.

Modern kaynaklar kaynağın en iyi kalitesini başarmak için kaynak parametrelerinin geniş bir aralığını oluşturma ihtiyacından dolayı karmaşık yapıya sahiptirler. Deneme ve yanılma metotları pratik değildir. İlave olarak düzensiz birçok özellik vardır ve her biri kendi kaynağına ve yumuşama tekniğine sahiptir. Bu GMAW-P teknolojisinde birkaç ilerleme ile sonuçlanmıştır (Praveen *et al.* 2005).

Darbeli GMAW nin ana özelliği ortalama düşük bir akımda metal transferi edebilmesidir. Bu düşük akım esnasında üretilen metal transferi küre şeklindedir darbeli akım ana metale ısı girdisini azaltır (Palani *et al.* 2005).

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

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. MİG/MAG Kaynağının Esası

1950'li yılların sonlarına doğru özellikle otomobil endüstrisinde, tam otomatik olarak çalışan, yüksek ergime güçlü, çok hızlı ve sadece yatay pozisyonda çalışabilen, CO<sub>2</sub> koruyucu gazlı kaynak makineleri kullanılmaya başlanmıştır; bu yöntemde görülen sadece yatay pozisyonda çalışabilme olanağı ve fazla miktarda sıçrama araştırmacıları bu doğrultuda çalışmalara yöneltmiştir (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).

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

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

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

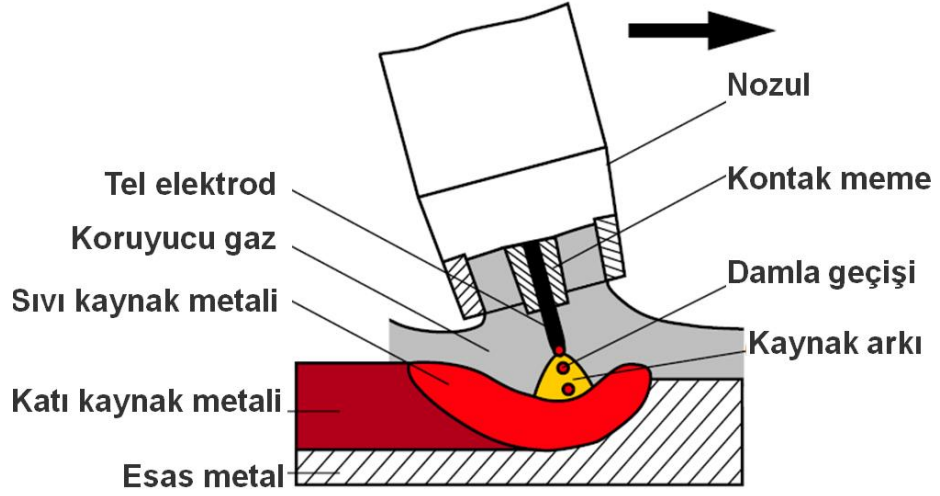
MAG kaynağında tüm koruyucu gaz ve gaz karışımları kullanılarak yapı çelikleri ve az alaşımlı çeliklerin kaynağı yapılabilir. Ayrıca Ni, Ni- alaşımlarının kaynağı da mümkündür. Yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağı ise ancak yüksek argon yüzdesindeki (%85 ile 92) koruyucu gaz karışımlarıyla mümkündür (Karadeniz 2000).



**Şekil 2.1.** Geleneksel MİG/MAG kaynak makinası (Anonim 2014a)



**Şekil 2.2.** İnverter MİG/MAG kaynak makinesi (Anonim 2014b)



**Şekil 2.3.** MİG/MAG kaynak yönteminde ark bölgesi

Kısa devre halinde, akımı sınırlayan frekanslı akım üreteçleri geliştirilerek, kısa ark boyu ile çalışılarak sıçrama minimuma indirgenmiştir; diğer önemli bir gelişme sonucunda da ince çaplı elektrot kullanabilme olanağı sağlanmış ve bu şekilde, her ne kadar elektrotun akım yoğunluğu artırılmış ise de, arkın oluşturduğu ısı azalmıştır. Akım yoğunluğunun artması, arkı yoğun ve istenilen yöne kontrollü olarak doğrultulabilir hale getirmiş ve dolayısı ile de her pozisyonda kaynak yapabilen bu yöntemde önceleri sadece CO<sub>2</sub> kullanılmıştır (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).

Günümüzde gereken durumlarda, arkı yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO<sub>2</sub>'ye argon karıştırılıp kullanılmaktadır; karışım oranı % 85 argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde bir üçüncü gelişme de çeşitli bileşimlerde ki koruyucu gazlar ile spray ark yönteminin bulunmasıdır. Argon içine çok az miktarda oksijen ilave edilerek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, daha kalın çaplı elektrotlar ile her pozisyonda çalışabilme olanağı sağlanmış ve çok daha düzgün görünümlü kaynak dikişleri elde edilebilmiştir.

Son yıllarda geliştirilen, darbeli akım yönteminde, kaynak akımı, ayarlanan frekansta bir alt ve bir üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimumda tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılma azaltılmıştır. Gene son yılların

önemli gelişmelerinden bir tanesi de inverter tür kaynak makinelerinin uygulama alanına girmesidir; bu tür akım üreteçleri ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde saf CO<sub>2</sub> kullanılması halinde dahi sıçrama tamamen ortadan kalkmıştır (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).

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

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

Ergiyen elektrot ile ark kaynağı yöntemleri arasında, MIG-MAG yöntemi endüstriyel öneme sahip demir esaslı ve demir dışı tüm metal ve alaşımlara aynı etkinlik ile uygulanabilen tek kaynak yöntemidir.

Yarı otomatik çalışma sırasında kaynak operatörü sadece torç açıklarına dikkat etmek ve ilerleme hızını ayarlamakla sorumludur. Kaynak donanımın ayarı basittir ve tüm kontroller bizzat donanım tarafından gerçekleştirilmektedir. Operatörün özel ve uzun süren bir eğitimden geçmesi gerekmemektedir; diğer ark kaynak yöntemlerinden

herhangi birisi için yetiştirilmiş kaynakçılar birkaç saatlik bir eğitim sonucu bu yöntemi kolaylıkla uygulayabilirler.

Kaynak işlemi her pozisyonda rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir; bu konuda yöntemin en önemli rakibi olan tozaltı kaynak yöntemine nazaran büyük bir üstünlüğe sahiptir; ayrıca kaynak işleminde sadece az miktarda sıçrama oluşumu ve curuf oluşmaması kaynak sonrası temizleme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.

Kaynak telinin kaynak bölgesine sürekli olarak sürülmesi, elektrot değişimi için duraklamaları ortadan kaldırmakta ve çok uzun kaynak dikişleri ara vermeden yapılabilmektedir. Bu konu, hem elektrot değiştirmek için harcanan ölü zamanı ortadan kaldırmakta hem de her dikişin başlangıç ve sonunda oldukça sık karşılaşılan gözenek, curuf kalıntısı, soğuk kaynak ve krater çatlağı gibi kaynak hatalarının oluşmasına olanak vermemektedir.

Elektrot telinin otomatik olarak sistem tarafından kaynak bölgesine sürülmesi ve daha yüksek akım yoğunluklarında çalışılması gerek kaynak hızının yükselmesine ve gerekse de birim zamanda yığılan kaynak metali miktarının örtülü elektrot ve TIG kaynak yöntemlerinden çok daha fazla olmasına olanak sağlamaktadır.

Sprey ark ile metal taşınımı halinde daha derin dikiş nüfuziyeti elde edilmekte ve daha az kaynak metali harcanması esas metal ile eş mukavemetli iç köse kaynak bağlantıları elde edilmektedir. Kullanılan tel elektrot çapının diğer yöntemlere göre daha ince oluşu daha dar bir kök aralığı bırakılmasına ve daha dar bir kaynak ağzı içinde kaynak yapılmasına olanak vermektedir ve bu olay da aynı kalınlıkta bir parçanın kaynatılmasında daha az tel elektrot tüketimine neden olduğundan bağlantının maliyetinde önemli bir düşüş sağlanmaktadır

- Elektrot fiyatları karşılaştırıldığında, örtülü elektrot ve tel elektrot arasındaki fiyat farkı piyasanın koşullarına göre değişmekte ise de çok büyük farklar göstermemektedir,

ama buna karşın örtülü elektrotlarda koçan kaybı ortalama % 17, örtünün yanma ve sıçrama kaybı da %27'ye kadar yükselmektedir. Bu hesaba göre 1 kg örtülü elektrot 0.560 kg kaynak metali vermekte buna karşın 1 kg tel elektrot ile 0.950 kg kaynak metali elde edilmektedir (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004)

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

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

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

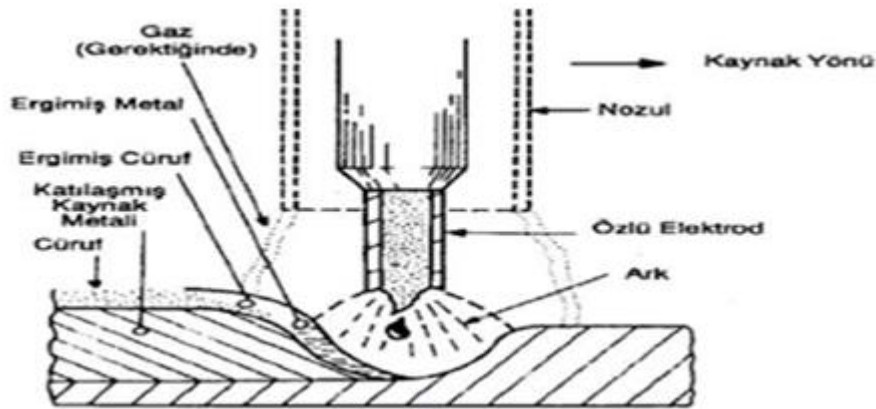
- Karbondioksit argon gazına nazaran daha ucuz olduğu için, gaz masrafı daha azdır,
- Aynı hacimli tüplere, argon gazına nispeten takriben üç misli daha fazla karbondioksit konur (karbondioksitin sıvı halde nakli dolayısıyla),
- MAG kaynağında, MIG kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir,
- Daha yüksek kaynak hızı ile çalışılır,
- MAG kaynağında bulunan ultraviyole ışınlar, MIG kaynağına nazaran daha zayıftır. Bundan ötürü daha açık renkli kaynak maske camları ile çalışılır (Anık vd 1978).

## 2.2. Özlü Tel Elektrotlarla Kaynak

Özlü tel ile kaynak yöntemi, esas olarak normal masif elektrotla MIG/MAG kaynağında olduğu gibi dolu tel yerine, içi öz diye adlandırılan ve örtülü elektrotların örtüsünün görevini gören minerallerle doldurulmuş, boru şeklinde elektrot kullanılan gazaltı kaynak yöntemidir (Ceyhun vd 2007).

Özlü tel elektrot ile kaynak uygulamalarında, boru şeklinde eriyen elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan ark, kaynak için gereken ısıyı sağlar, iyonize olmuş gaz ortamında yol alan elektrik akımı ark oluşturur.

Kaynak bölgesinde ergimiş metal ya dışarıdan uygulanan bir koruyucu gaz örtüsü ya da özün kompozisyonu sonucu ortaya çıkan bir koruyucu gaz atmosferi tarafından korunur. Burada öz, örtülü elektrottaki örtünün görevini üstlenmektedir. Ergimiş elektrot metali, ark tarafından kaynak banyosuna taşınır ve katılaştıran banyo üzerinde de kolaylıkla temizlenebilen bir cüruf tabakası oluşur (Tülbentçi 1990).



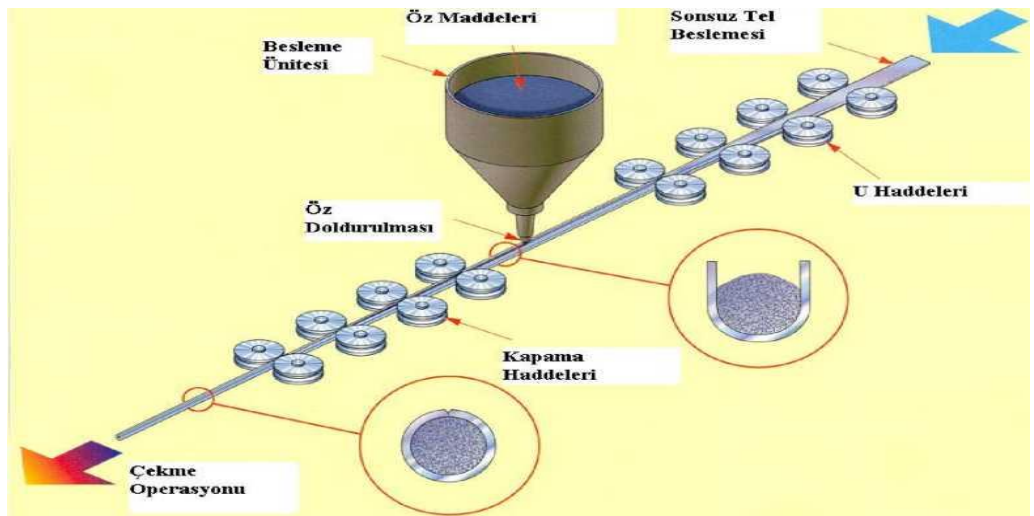
**Şekil 2.4.** Özlü tel elektrotla kaynakta ark bölgesi (Tülbentçi 1990)

Özlü tel elektrotla kaynakta, elektrot seçiminde şu hususlar göz önünde bulundurulur (Tülbentçi 1990):

- Esas metalin mekanik özellikleri,
- Esas metalin kimyasal bileşimi,
- Kaynak pozisyonu,
- Kaynak akımı,
- Kaynak ağız tasarımı,
- Parça kalınlığı ve geometrisi,
- Kullanma koşulları,
- İmalat ve işletme koşulları,

### 2.3. Özlü Tel Elektrotların Üretimi

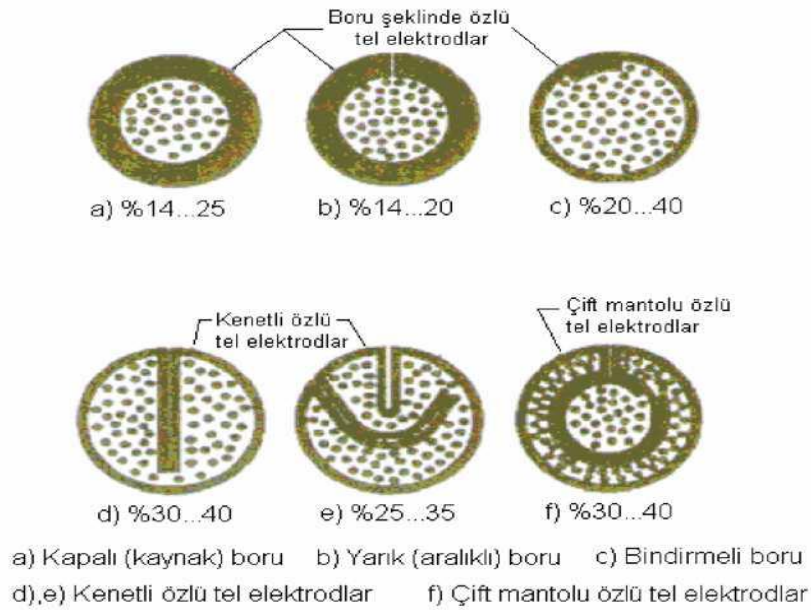
Özlü elektrotların üretimi iki şekilde gerçekleştirilir. Birinci yöntemde; 10 mm kalınlığında 0.4 mm genişliğindeki ince çelik şerit haddelenerek U kesit şeklinde kıvrılır ve içine ölçülen miktarda öz beslemesi yapılır. Özü oluşturan maddelerin homojen olarak karıştırılması yoğunluğun değişmemesi için önemlidir. U formundaki içi öz dolu şerit kapatılarak istenilen ölçülerde üretilir. Genellikle 1.2 mm ile 2.1 mm çapında tel elektrotlar üretilir. Üretim hızı 25m/dak. ya varan özlü tel üretim makinaları bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Özlü tel üretimi (Cary 1998)

İkinci yöntemde ise; genellikle 25.4 mm çapında bir ucu kapalı boruların içine açık olan ucundan toz beslemesi yapılır. Tozun borunun içinde homojen dağılması, boşluk bırakmaması amacıyla boruya titreşim uygulanır. Boru doldurulduktan sonra açık uç kısmı kapatılarak, istenilen ölçülerde üretilir.

Üretilen bu elektrotlar; kenetli tip ve boru tipi olarak isimlendirilir. Kullanılacak şerit ve boru istenilen alaşımdan seçilebilir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında dekapan ve ferro alaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin dezoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir (Tülbentçi 1990). Kenetli tip özlü elektrotların avantajı içerisinden öz dökülmemesi buna karşın dezavantajı ise karmaşık şekillerinden dolayı üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Kenetli tip elektrotlar daha çok sert dolgu kaynağında tercih edilmektedir.



**Şekil 2.6.** Özlü elektrotlarda en çok kullanılan kesit formları ve dolgu dereceleri (Gülsöz 2000).

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

- Kenetli tipte birleştirme mekanik olduğundan öz dış ortama açıktır, halbuki boru

tipinde öz, dış ortama tümüyle kapalı olduğundan nem kapma, dolayısı ile örtülü elektrotlarda olduğu gibi kurutma işlemi söz konusu değildir.

Hatta yüksek nem alma hassasiyetine rağmen bazik özlü elektrotlar bu yolla üretilmektedir.

- Manto (dış metal kısmı) yüzeyi, kesidin dış ortama tümüyle kapalı olmasının getirdiği avantaj nedeni ile aynı çıplak elektrota da olduğu gibi bakır kaplanabilmektedir. Böylece depolama esnasında elektrot yüzeyinin paslanması söz konusu olmaz.
- Kenetli tip özlü elektrotlarda manto mekanik olarak sıkıştırıldığından elektrot tel sürme disklerinden geçerken deforme olabilir ve manto açılarak toz dışarı akabilir. Bu da kaynakta hata, telin spiral ve merdanede sıkışması ile dökülen tozun metalik aksamalarda aşınmaya yol açması tehlikelerini doğurur, halbuki boru tipi özlü elektrotlarda böyle tehlikeler yoktur.
- Boru tipi özlü elektrotlarda manto et kalınlığı, kenetli tip elektrotlardaki manto et kalınlığına göre daha fazla olduğundan, elektrot daha yüksek akım şiddetleri ile yüklenebilir, bu da kaynakta daha derin nüfuziyet demektir (Gülbahar 1991).

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

**Çizelge 2.1.** MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrot tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler (Gülsöz 2000).

| Özlü tel elektrot<br>tipi            | EN 758'e<br>Göre | Mineral Bileşenler                                                                          | Metalik<br>Bileşenler   |
|--------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Rutil tip, yavaş<br>katılaştan cüruf | R                | SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , MgO                                | Fe, FeMn                |
| Rutil tip, hızlı<br>katılaştan cüruf | P                | SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , FeO,<br>TiO <sub>2</sub> (ilmenit) | Fe, FeMn,<br>FeSi, FeTi |
| Bazik tip                            | B                | TiO <sub>2</sub> , CaO, CaF <sub>2</sub>                                                    | Fe, FeMn,<br>FeSi       |
| Metal tozu dolgulu                   | M                | -                                                                                           | Fe, FeMn,               |

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

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

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

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

Metal özlü elektrotların özünde arzulanan alaşımlamayı sağlayacak miktar ve türde metal tozları ile çok az miktarda arkı dengeleyen maddeler bulunur. Bu tür özlü

elektrotlar ile kaynak sonrası dikiş üzerinde curuf oluşmadığından pasoları üst üste çekmek olasıdır ve  $-40^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar tokluğunu koruyan kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Metal özlü elektrotlar son yıllarda alaşımli çıplak tel elektrotlara ciddi bir rakip haline gelmişlerdir (Tülbentçi 1998).

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

#### **2.4. MAG Kaynağında Kullanılan Özlü Tel Elektrotlar İle Çıplak Tel Elektrotların Karşılaştırılması**

MAG kaynağında kullanılan özlü elektrotların çıplak elektrotlara göre bazı avantajları vardır. Bu avantajlar;

- MAG kaynağı özlü elektrotları,  $\text{CO}_2$  gazı altında, çıplak elektrotlara göre daha sakin ve sıçramasız yanar, böylece sıçrama ile ortaya çıkacak metal kaybı önlediği gibi bu sıçramaların temizlenmesi için gereken ek işçilikten de tasarruf edilmiş olur. Bu avantajı sağlayan husus, özde bulunan arkı stabilize edici ve metal damlasının ve banyonun yüzey gerilimini iyileştirici elemanlardır.
- Dikiş formu ve görüntüsü, çıplak elektrotlar ile yapılanaya göre daha düzgün olup, uygun parametreler seçildiği takdirde yanma çentiği ve oluğu oluşmamaktadır, bu avantajı da özdeki curuf oluşturunucu elemanlara borçluyuz.
- Özlü elektrotlarda, aynı çaplı çıplak elektrotlara oranla aynı akım şiddetlerinde daha büyük akım yoğunlukları ile çalışıldığından daha yüksek ergime gücü ile elektrot sürme ve kaynak hızları elde edilir (Gülbahar 1991).

#### 2.4.1. Çıplak tel ve özlü tel elektrotların sınıflandırılması

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

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

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

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

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

|       |                                         |
|-------|-----------------------------------------|
| EN440 | : Standart numarası                     |
| G     | : Tel elektrot veya MİG-MAG kaynak teli |
| 46    | : Mukavemet ve % uzama                  |
| 3     | : Çentik darbe özelliği                 |
| M     | : Koruyucu gaz                          |
| G3Si1 | : Tel elektrotun kimyasal bileşimi      |

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

**Çizelge 2.2. EN 758 - T 46 3 1Ni B M 4 H5**

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

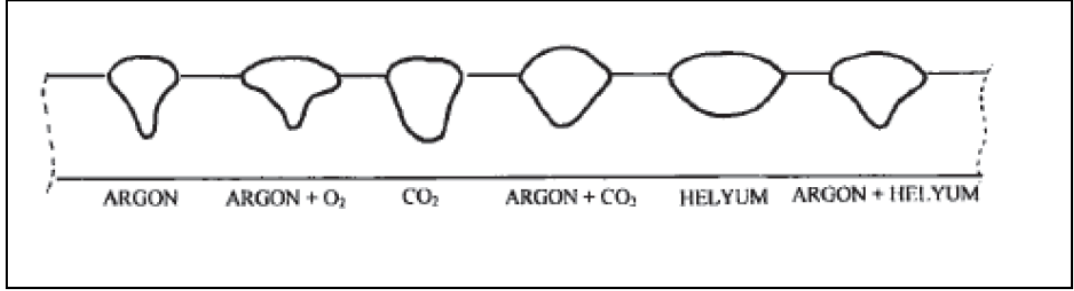
## **2.5. Özlü Tel Elektrotla Kaynakta Kullanılan Koruyucu Gazlar, Gaz Karışımları ve Temel Özellikleri**

Özlü tel elektrot ile kaynakta kullanılan koruyucu gaz veya gaz karışımları kaynak kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Kaynak işlemlerinde kullanılan

gazların tipleri, çeşitli özellikleri aşağıda verilmiştir. Bu özelliklerin kaynak üzerinde değişik etkileri vardır (Carry 1998).

**Çizelge 2.3.** Aktif ve soy gazların özellikleri (Carry 1998)

|                                            | Hava                | Ar     | CO <sub>2</sub>   | He        | N <sub>2</sub>      | O <sub>2</sub>    | H <sub>2</sub>    |
|--------------------------------------------|---------------------|--------|-------------------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Özellik                                    | Karışık Oksitleyici | Soygaz | Aktif Oksitleyici | Soygaz    | Gerçek Soygaz Değil | Aktif Oksitleyici | Aktif İndükleyici |
| Yapı                                       |                     |        | diatonik          | monotanik | diatonik            | diatonik          | diatonik          |
| Moleküler Ağırlık                          | 28.98               | 39.94  | 44.01             | 4.003     | 28.016              | 32                | 2.016             |
| Kaynama Noktası (°C 1Atm.)                 | -194                | -184   | -178              | -269      | -196                | -182              | -252              |
| Özgül Hacim (m <sup>3</sup> /kg) 21°C 1atm | 0.826               | 0.596  | 0.54              | 5.964     | 0.851               | 0.746             | 11.841            |
| Özgül kütle (m <sup>3</sup> /kg) 21°C 1atm | 1.211               | 1.678  | 1.852             | 0.168     | 1.175               | 1.34              | 0.084             |
| Gravite Hava=1                             | 1                   | 1.38   | 1.53              | 0.137     | 0.967               | 1.105             | 0.069             |
| Isıl Kapasite (W)                          | 0.0041              | 0.0027 | 0.0025            | 0.0241    | 0.0043              | 0.0042            | 0.0281            |
| Potansiyel Enerji (Ev)                     |                     | 15.7   | 14.4              | 245       | 15.51               | 12.5              | 15.6              |



**Şekil 2.7.** Koruyucu gazların kaynak dikişi formuna etkisi (Carry 1998)

Kullanılan koruyucu gazların temel görevi kaynak bölgesini atmosferin zararlı etkilerinden korumaktır. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi koruyucu gazlar, kaynak dikişi formunu da etkiler (Carry 1989). Havanın içerisinde bulunan oksijen ve azot gibi gazların kaynak banyosuna olumsuz yönde tesir etmelerini koruyucu gazlar engeller. Böylece kaynak metalinde oksit, gözenek ve kırılmalık oluşmaz.

Koruyucu gazlar kaynak formu, damla geçişi ve kaynak metalinin özelliklerini etkiler. Koruyucu gazların havaya göre özgül ağırlıkları kaynak bölgesinin korunmasında önemlidir. Özgül ağırlığı düşük olan koruyucu gazlar, helyum ve hidrojen gibi havada asılı kalırlar ve istenen korumayı gerçekleştiremezler, fakat özgül ağırlığı yüksek olan gazlar kaynak bölgesi üzerinde havanın yerini alarak korumalı bir bölge oluştururlar.

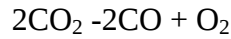
İyonizasyon enerjisi arkın özelliklerini etkiler. Düşük iyonizasyon enerjisine sahip koruyucu gazlar ile arkın tutuşturulması kolaydır. İyonizasyon enerjisi arttıkça oluşan ark ısı da artar. Koruyucu gazlardan beklenen en önemli özellik %99 oranından daha fazla saf olmalarıdır. Özlü tel ile MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz seçimini etkileyen faktörler şunlardır (Anık vd 1993):

- Kaynak yapılan metalin türü
- Ark karakteristiği ve metal geçiş formu
- Bağlantılardan beklenen mekanik ve metalürjik özellikler
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi

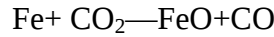
Özlü tel elektrotla kaynakta en yaygın olarak kullanılan gaz CO<sub>2</sub> 'dir. Bununla beraber %75 Ar ve %25 CO<sub>2</sub> ile bazen Ar- O<sub>2</sub> karışımları da kullanılır (Carry 1998).

### 2.5.1. Karbondioksit

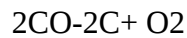
C ve O<sub>2</sub> elementlerinin birleşimiyle oluşmuştur ve bu özelliğiyle diğer koruyucu gazlardan farklılık gösterir.



şeklinde ayrışır. Normal şartlar altında renksiz, zehirsiz, yanmaz bir gazdır. Karbondioksitin oksitleyici özelliğini gidermek için öz maddesine daha fazla dezoksidasyon elementleri (silisyum, mangan ve alüminyum) katılmalıdır. Arkın dibinde tekrar birleşerek oluşan CO<sub>2</sub> kaynak bölgesindeki demir ile reaksiyona girerek demiroksit ve karbonmonoksit oluşturur.



Kızıl sıcaklıkta, CO nun bir kısmı dissosiasyona uğrar, C ve O<sub>2</sub>e ayrışır:



Karbondioksit kaynak metali üzerindeki etkisini iki şekilde gösterir. Birincisi karbon miktarını arttırmak, ikincisi ise karbon miktarını azaltmaktır. Kaynak banyosunun karbon içeriği %0.05'den az ise dikişte karbonlayıcı, karbon içeriği % 0.1'den fazla ise karbon giderici rol oynar. FeO oksitleyici karakterdedir ve açığa çıkan CO ise kaynak dikişinde hapsolarak gözenek oluşumuna neden olur.

Metal geçiş şekli küresel form şeklindedir ve aşırı sıçrantı oluşturur. Diğer gazlara oranla ucuzdur ve derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı üstünlüklerine sahiptir.

### 2.5.2. Karışım Gazlar

Tüm gazların avantajlarından faydalanmak amacıyla kullanılırlar. Ar/CO<sub>2</sub> gaz karışımlarında CO<sub>2</sub> miktarını belirleyen husus istenen nüfuziyet şeklidir. Genellikle argon gazı %5-25 arası CO<sub>2</sub> takviyesi ile karıştırılarak kullanılır. Sprey damla geçişinin istendiği kalın malzemeler ile az nüfuziyetin gerekli olduğu ince malzemelerin kaynağında az miktarda CO<sub>2</sub> ihtiva eden karışımlar kullanılır. Ar gazına yüksek miktarda CO<sub>2</sub> ilavesi kalın malzemelerin kaynağında kısa devre transfer şekliyle derin nüfuziyet ve daha fazla temizleme etkisi meydana getirir. En yaygın olarak kullanılan %75 Ar ve %25 CO<sub>2</sub> gaz karışımlarında sprej geçiş şekli gözlenir. Ar gazına CO<sub>2</sub> ilavesi ile görüntüsü iyi kaynak dikişleri elde edilir. Bu koruyucu gaz karışımı altında sprej geçiş formu oluşur. Argona CO<sub>2</sub> ilavesiyle ark stabilitesi önemli ölçüde artırılır.

## 2.6. Kaynak Donanımı ve Ekipmanları

### 2.6.1. Kaynak Ekipmanları

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

### 2.6.2. Kaynak Torçları

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

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

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

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

### **2.6.3. Anod Memesi**

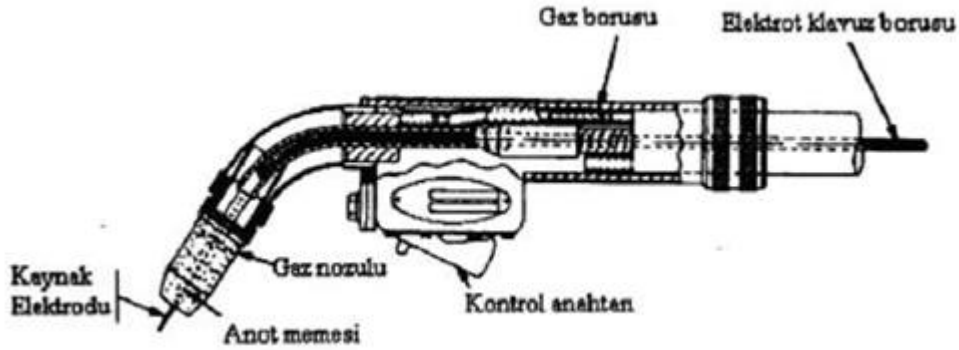
Bakır veya bakır alaşımlarından yapılmaktadır. Torç içerisindeki temel görevi elektrik akımını elektrotla iletmek ve elektrotu iş parçasına doğru yönlendirmektir. Anod memesinin iç cidarı önemlidir. Çünkü elektrot meme içinde kolaylıkla hareket edebilmeli ve çok iyi bir elektriksel temas sağlamalıdır.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

#### 2.6.4. Gaz Nozulu

Kaynak için gerekli miktarda koruyucu gazı sağlamak için, çeşitli iç çaplara sahip metal gaz nozulları mevcuttur. Genellikle kaynak işlemindeki ihtiyaçlara göre nozulların iç çapları yaklaşık olarak 10 mm ile 22 mm arasında değişmektedir. Nozullar genellikle herhangi bir durumda kolayca değiştirilebilmesi için kılavuzlu bir şekilde imal edilirler. Anod memesi gaz nozulunu merkezlemelidir. Böylece nozul düzgün bir koruyucu gaz sütununun kaynak bölgesine gönderilmesini sağlar. Korunması gereken alanı arttırdığından yüksek akımların kullanıldığı uygulamalarda büyük gaz nozulu, düşük akımla çalışıldığında ve kısa devre iletimi ile kaynak yapıldığında küçük gaz nozulu kullanılır (Komaç1995).

#### 2.6.5. Kaynak Torçları

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



**Şekil 2.8.** Otomatik gaz soğutmalı MIG/MAG kaynak torcu (Karaman 2002)

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

#### **2.6.6. Basınç Düşürme Manometresi ve Debimetre**

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



**Şekil 2.9.** Basınç düşürme manometresi

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

#### **2.6.7. Tel Sürme Mekanizması**

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

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

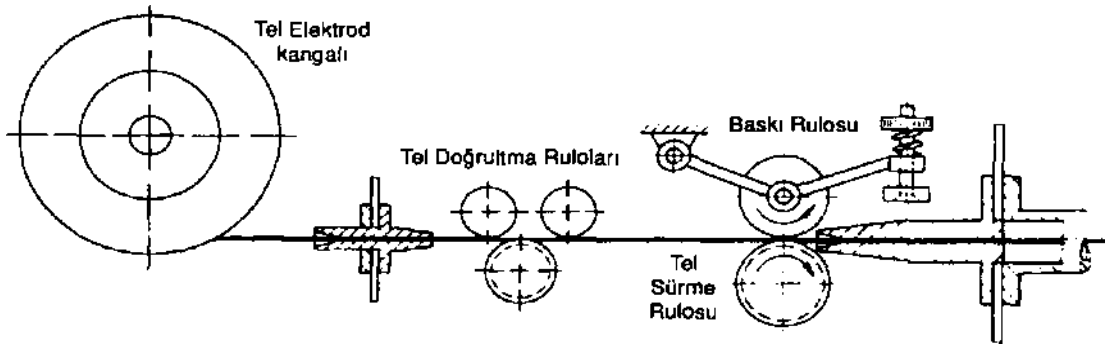
Günümüzde en fazla bu tür kaynak akım üreteçleri tercih edilir. Çok kalın tel elektrotların kullanılması halinde düşey karakteristikli sabit akımlı kaynak akım üreteçleri gerekli olmaktadır. Bu durumlarda tel sürme tertibatının motoru sabit devirde d Tel sürme tertibatları çalışma prensibi bakımından, makaralı (rulolu) tertibatlar ve planet tertibatlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

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

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

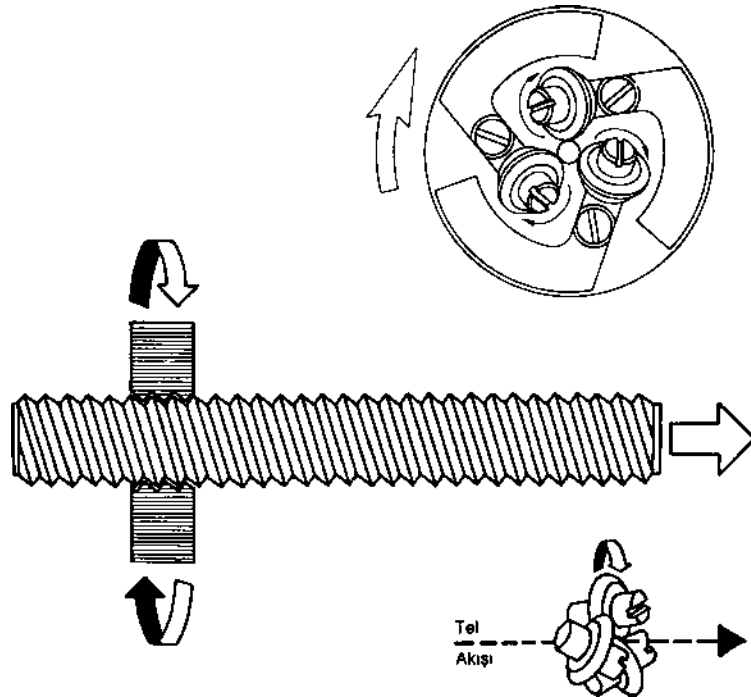
Tel bobinden sağılırken tam düz değildir ve bu şekilde tel kaynak bölgesine sevk edilirken, spiral kılavuz içinde sürtünme yaptığından sürme tertibatını zorlar ve bu da tel ilerletme hızının düzensiz olmasına neden olur ki bu olay da kaynak dikişinin kalitesini etkiler (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).

Makaralı tel sürme tertibatlarının yegane sakıncası makaradan sağılan teli tam olarak doğrultamamalarıdır. Dört makaralı tertiplerde tel bir dereceye kadar düzelir, iki makaralı tertibatlarda, sürme mekanizmasından önce bir tel doğrultma makaraları grubuna gerek vardır. Sönmez, ark boyundan komut alarak hızını ayarlar (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).



**Şekil 2.10.** İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması (Tülbentçi1998; Kaluç 2004)

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



**Şekil 2.11.** Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması

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

### **2.6.8. Kaynak Kontrol Ünitesi**

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

Genel olarak iki ve dört zamanlı kontrol sistemleri mevcuttur.

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

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

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

### 2.6.9. Sulu Soğutma Sistemleri

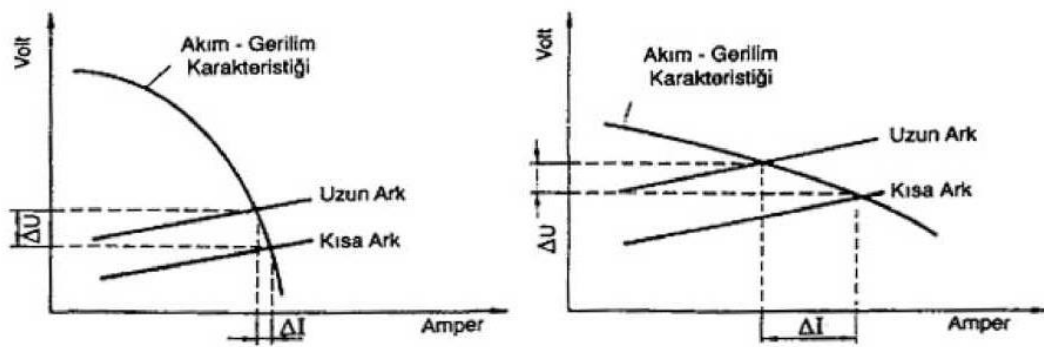
Özellikle MIG-MAG kaynak yönteminin otomatik veya mekanize sistemler yardımı ile uygulamalarında yüksek akım şiddetleri ile daha yoğun bir tempo ile çalışılır. Bu gibi durumlarda hava ile soğutulan torçlar beklenen verimi veremediğinden su soğutmalı torçlar tercih edilir. Prensip olarak su, doğrudan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

### 2.7. MİG - MAG Akım Üreteçleri

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

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

Düşey karakteristikli akım üreteçlerinde ark geriliminin önemli bir büyüklükte değişmesine karşın akım şiddetindeki değişim çok azdır. Bu olay ark boyunun kaynakçı tarafından ayarlandığı örtülü elektrot ile ark kaynağı ve TIG kaynağında çok önemli bir özelliktir, kaynakçının el hareketleri nedeni ile ark boyunda bir değişme olduğu zaman ergime gücünde meydana gelen değişim çok azdır ve bu da düzgün kaynak dikişi eldesi için çok önemli bir etkidir. Ark boyunun kaynak donanımı tarafından ayarlandığı ve sabit tutulduğu MIG-MAG yönteminde bu karakteristiğe sahip bir akım üretici kullanıldığında ark boyunun değişmesi, yani ark geriliminin değişmesi sonucu ark boyunu sabit tutabilmek için ark boyundan kumanda alan bir elektronik tertibat yardımı ile tel sürme tertibatının motor devri değiştirilir. Diğer bir anlatım ile bu tür bir akım üretici kullanıldığında, ark boyunun değişimi tel sürme motorunun hızının değiştirilmesi ile ark boyu sabit tutulur. Bu sistem hem pahalıdır ve hem de çok hızlı değildir, ancak tel ilerleme hızının yavaş olduğu kalın çaplı tel elektrot hali için uygundur. MIG-MAG yönteminde genelde ince tel (0.8, 1.0, 1.2 ve 1.6 mm) elektrot kullanıldığından bu kumanda sistemi yavaş kalmakta ve iyi sonuç vermemektedir; bu sistem 2,5 mm'den daha kalın çaplı tel elektrotların kullanıldığı otomatik kaynak sistemlerinde, tozaltı kaynak yönteminde ve elektrocuruf kaynak yönteminde uygun sonuçlar vermektedir (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).



**Şekil 2.12.** Kaynak akım üreteçlerinde volt-amper karakteristikleri (Tülbentçi 1998)

Sabit gerilimli diye de adlandırılan yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark geriliminin dolayısı ile de ark boyunun az bir miktarda değişmesine karşın akım şiddetinde yani ergime gücünde değişim çok daha şiddetlidir. Bu tür kaynak akım



bağlı olarak artacağından netice de ark boyu normale döner (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).

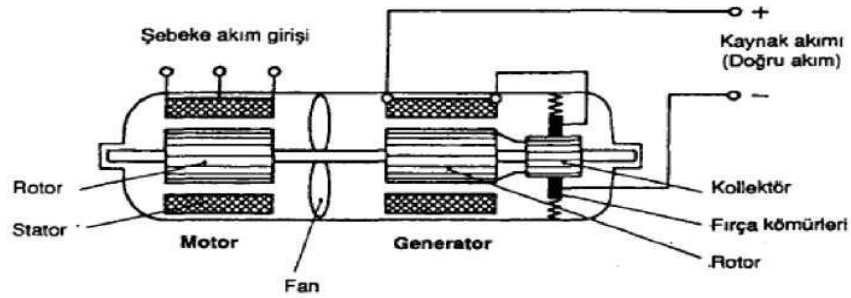
Bu kaynak yönteminde görüldüğü gibi ark boyunun ayarlanması yarı otomatik kaynak halinde dahi, kaynakçının kişisel el becerisine bırakılmamıştır. Ark boyu kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır.

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

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

### **2.7.1. Motor Generatör Tipi Akım Üreteçleri**

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



**Şekil 2.14.** MIG-MAG yöntemi için motor-generator akım üretici (Tülbentçi 1998)

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

### 2.7.2. Redresör Türü Akım Üreteçleri

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

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

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

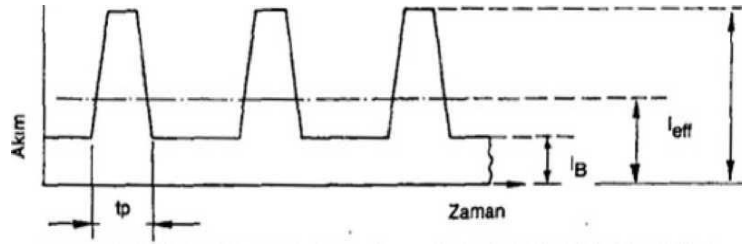
Kaynak akım gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanabilir.

Kaynak akım şiddeti ise MIG-MAG kaynak üreteçlerinde tel ilerletme düğmesinden ayarlanır. Seçilmiş olan gerilim ve akım şiddetinin dikiş biçimi ve ark oluşum türü üzerine etkileri vardır. Uygun seçilmiş bir çalışma noktası arkın sakin ve kararlı bir şekilde yanışı ile kendini belli eder (Tülbentçi 1998; Kaluç 2004).

### 2.7.3. Sinerjik Darbeli Akım Üreteçleri

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

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



**Şekil 2.15.** MIG/MAG kaynağında darbeli akımın zamana bağlı değişimi

$I_B$  : Temel akım şiddeti (A)

$I_P$  : Darbeli akım (A)

$t_p$  : Darbe süresi (ms)

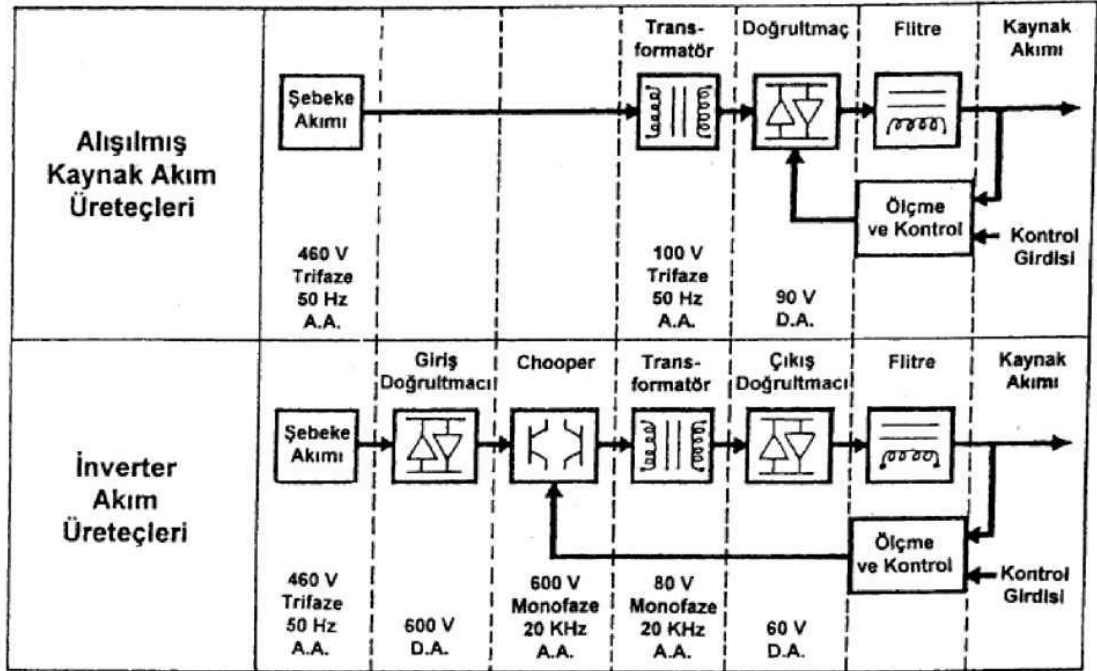
$f$  : Darbe frekansı

$I_{ort}$  : Ortalama akım şiddeti (A)

#### 2.7.4. İnverter Türü Kaynak Akım Üreteçleri

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

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



Şekil 2.16. İnverter türü akım üreteçlerinin prensip şeması (Tülbentçi 1998)

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

- Transformatörlerin büyüklüğü alternatif akımın frekansı ile ters orantılıdır; frekans büyüdükçe transformatör küçülür. Aynı akım gücündeki bir normal redresör ve inverter karşılaştırıldığında, inverterin ağırlık olarak %25 ve boyut olarak ta %33 daha küçük olduğu görülür.

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

İnverterlerin bu üstünlükleri darbeli ark sistemi ile birleştirildiğinde, saf CO<sub>2</sub>'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde bile sıçrama görülmez. Darbeli akım ile çalışan inverterlerin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

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

## 2.8. Ark Türleri ve Arkta Kaynak Metali Taşınımı

### 2.8.1. MAG kaynağında damla transferinin gerçekleşmesi

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

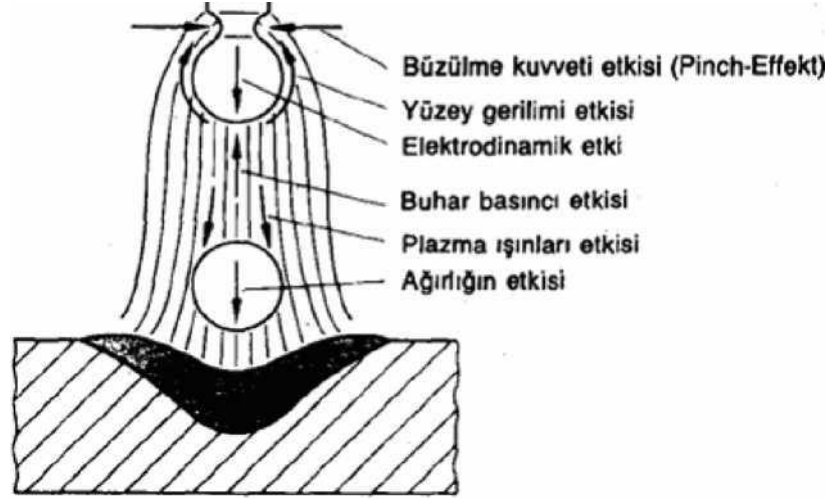
Kaynak arkı içinde metal taşınım türü aşağıda sıralanmış olan bir dizi faktörün etkisi altındadır:

- Kaynak akım şiddeti,
- Tel elektrot çapı,
- Elektrotun bileşimi,
- Serbest tel uzunluğu,
- Koruyucu gazın türü.

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

Radyal büzülme kuvvetinin büyük olduğu kısımdan, bu kuvvetin daha zayıf olduğu kısma doğru bir eksenel kuvvet oluşur ve bu da oluşmuş damlanın elektrot ucundan

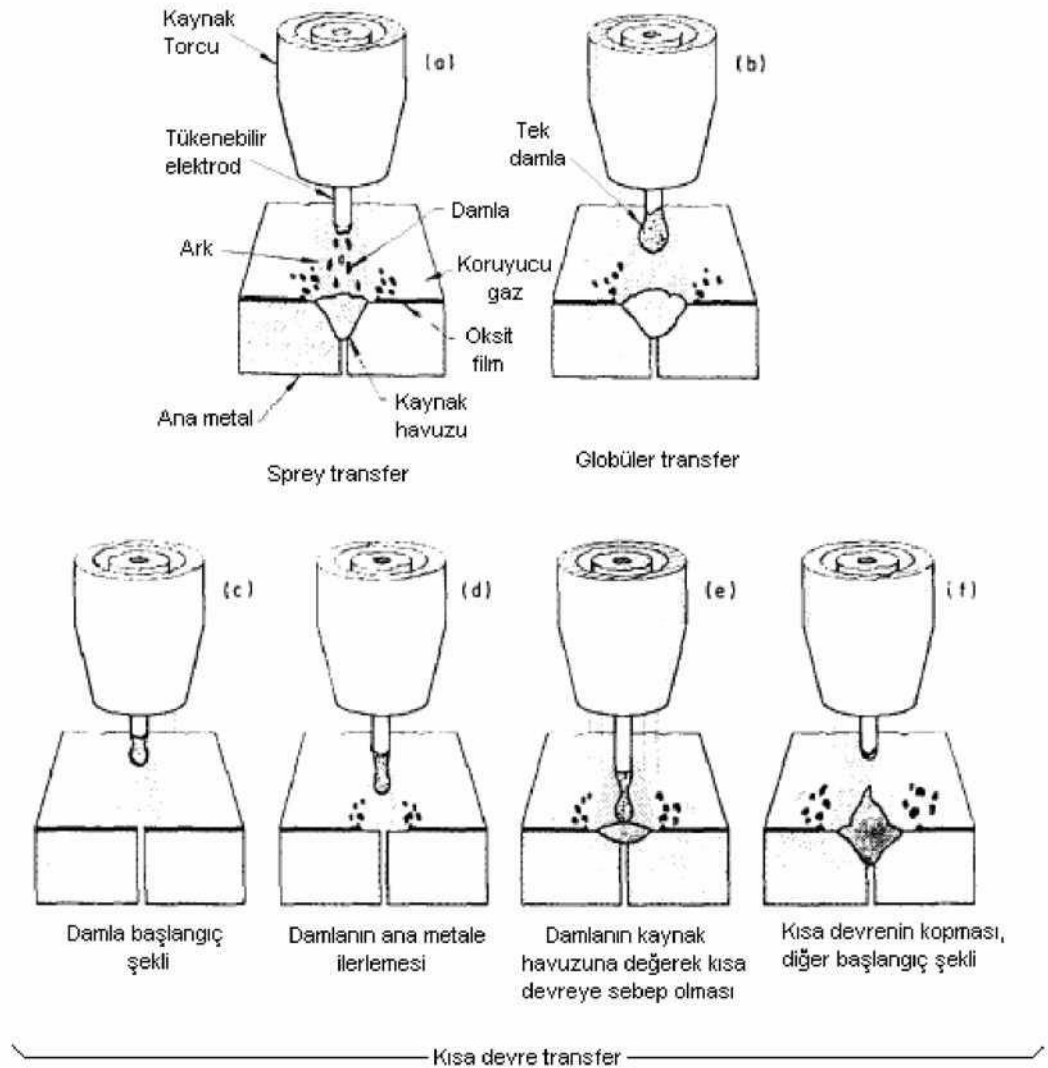
ayrılmasına ve kaynak ağzına taşınmasına yardımcı olur (Tülbentçi 1998).



**Şekil 2.17.** Elektrotun ucunda oluşan metal damlasına etkiyen kuvvetler ve yönleri (Tülbentçi 1998; Anık vd 2000)

Gazaltı kaynağında metal damlalar elektrotan iş parçasına dört şekilde taşınırlar.

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



**Şekil 2.18.** GMAW’de metal transfer modları (Nippes 1989; Geçmen 2006)

### 2.8.2. Kısa Ark (Kısa Devreli Metal Taşınımı)

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

Kısa devre damla iletim oluşum sırası Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Kısa devre ark döngüsünün başlangıcında, tel elektrotun ucunda küçük sıvı damla oluşur (Şekil 2.18.c). Sonra ergiyen damla

Şekil 2.18.d'de görüldüğü gibi iş parçasına doğru hareket eder. Sonra ergiyen metal iş parçası ile temas ederek bir kısa devre oluşturur. Döngünün bu safhasında, yer çekimi ve yüzey gerilimi ile metal transferi oluşur ve ark söner (Şekil 2.18.e). Son olarak ergimiş damla metal bağlantısı manyetik alanın etkisiyle meydana gelen büzülme kuvveti etkisi (Pinch-Effekt) ile kopar. Büzülme kuvvetinin şiddeti ve miktarı güç kaynağı tarafından kontrol edilmektedir. Bu durumda elektriksel temas kopar ve ark tekrar oluşur (Şekil 2.18.f). Arkın tekrar canlanmasıyla döngü yeniden başlar (Nippes 1989; Geçmen 2006).

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

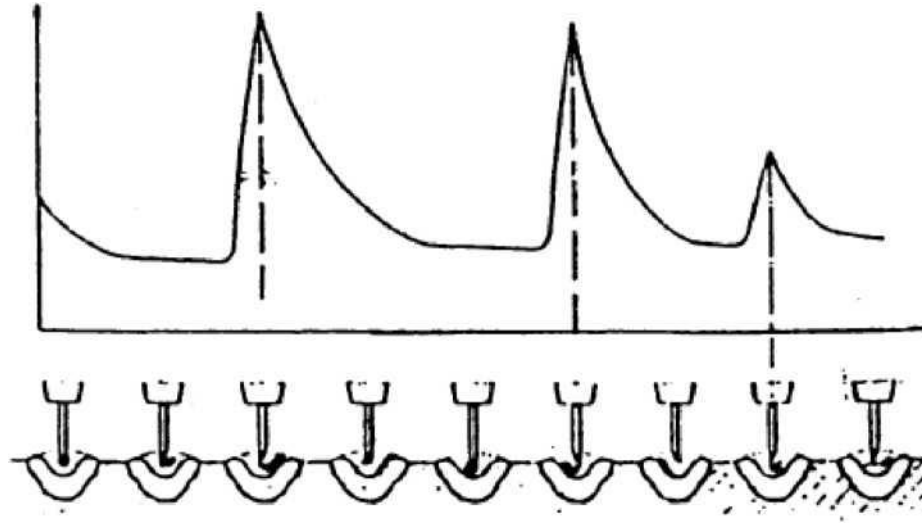
Uygulanan akım şiddeti; ark gerilimi, koruyucu gaz türü ve elektrot metaline bağlı olarak saniyede 20 ila 200 kez tekrarlanır. Damlanın büyüklüğü ve kısa devrenin süresi, ergimiş metalin yüzey gerilimini etkileyen koruyucu gazın türüne bağlı olarak değişir. Uygulamada bu tür metal taşınımı için demir esaslı malzemelerde saf CO<sub>2</sub> veya karbondioksitçe zengin karışım gazlar tercih edilir (Tülbentçi 1998).

### **2.8.3. Uzun Ark (Damlasal Metal Taşınımı)**

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrotun uç kısmında ergime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrot çapını aştıktan sonra elektrotdan kopar ve yer çekimi yardımı ile ark sütunu

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

Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkar, yalnızca CO<sub>2</sub> haricindeki gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde görülür, buna karşın CO<sub>2</sub>'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma bölgesinde damlasal metal taşınımı görülür. Damlaların iri olması ve metalin kaynak banyosuna yerçekimi ile taşınmasından ötürü bu yöntemde tavan kaynağı yapmak zorlaşır. Damlasal metal taşınımı halinde ark stabil değildir ve sıçrama miktarı fazladır (Anık vd 2000).



**Şekil 2.19.** Uzun ark ile MIG-MAG kaynağında damla geçişi (Tülbentçi 1998; Anık vd 2000)

#### 2.8.4. Sprey Ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı)

Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, sprej ark halinde görülür. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrot ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlalar halinde geçişi ile gerçekleşir. Damlacıklar tel çapından çok küçüktür ve telden uzun ark halinden çok

daha süratle ayrılırlar. Damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir (Anık vd 2000).

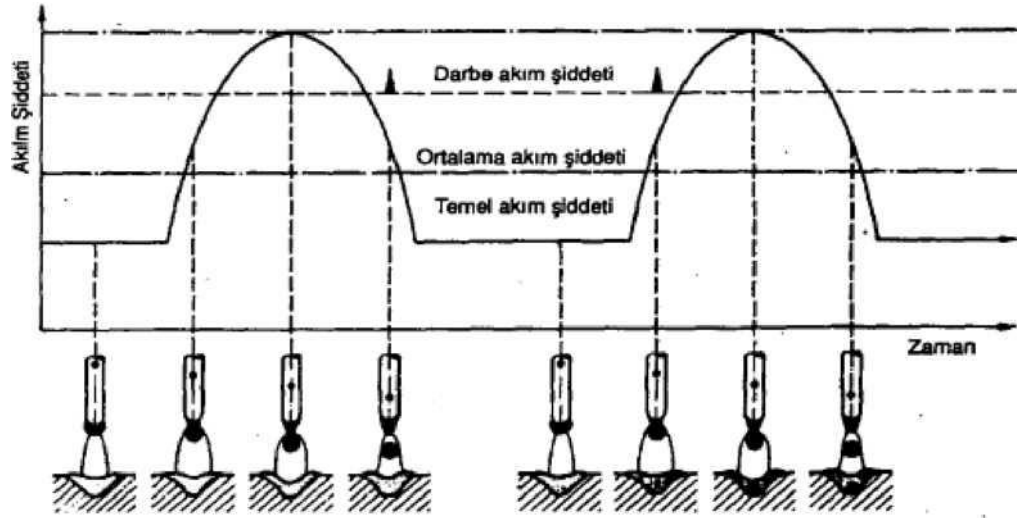
Sprey ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilim kullanıldığında ortaya çıkar. %10-15 den daha fazla CO<sub>2</sub> ihtiva eden koruyucu gaz karışımlarında doğru spray ark elde edilemeyebilir (Nippes 1989).

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

#### **2.8.5. Darbeli Sprey Ark İle Metal Taşınımı**

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

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



**Şekil 2.20.** Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi (Tülbentçi 1998; Anık vd 2000)

Akım şiddetinin yükselmesi, parçaya olan ısı girdisinin artmasına neden olur ve daha çok yükselmesi halinde ise darbeler arasındaki sürede de ergime olabileceğinden damla oluşum düzeni yok olur. Bu bakımdan kalın ve ısıyı iyi ileten metaller olabildiği kadar kalın elektrot kullanarak kaynatılmalıdır (Tülbentçi 1998; Anık vd 2000).

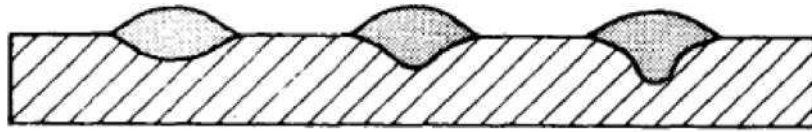
Darbe akımı, elektrot ucunda temel akım tarafından oluşturulmuş damlaya, kuvvetli bir büzülme kuvveti (Pinch Effekt) uygular ve damla kısa devre oluşturmadan ark tarafından kaynak banyosuna taşınır. Bu şekilde kısa devresiz damla taşınımı ancak darbe akımı belirli bir değere eriştiği zaman olasıdır ve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

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

Bu ark türünün çeliklere uygulanmasında koruyucu gaz olarak  $CO_2$  kullanılmaz, zira darbe fazında ark kuvvetleri damla oluşumuna ters yönde etki yapmaktadır (Tülbentçi 1998).

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

Darbe frekansı                      25 Hz                      60Hz                      100Hz



**Şekil 2.21.** Darbe frekansının dikiş profiline etkisi (Tülbentçi 1998; Anık vd 2000)

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

#### 2.8.6. Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi

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

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

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

**Çizelge 2.4.** MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları (Tülbentçi 1998; Anık vd 2000).

|                  | SPREY ARK                                                                                                                                                                                      | UZUN ARK                                                                                                                                                                  | KISA ARK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | DARBELİ ARK                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MIG              | Alüminyum<br>Bakır                                                                                                                                                                             | Alüminyum                                                                                                                                                                 | Alüminyum<br>S <sup>1.5</sup> mm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Alüminyum<br>Bakır                                                                                                                                                                                                             |
| MAG              | Alaşımsız, az<br>alaşım ve<br>yüksek alaşım<br>çelikler                                                                                                                                        | Alaşımsız ve<br>az alaşım<br>çelikler                                                                                                                                     | Alaşımsız, az<br>alaşım ve<br>yüksek alaşım<br>çelikler                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Az alaşım ve yüksek<br>alaşım çelikler                                                                                                                                                                                         |
| MAG              |                                                                                                                                                                                                | Alaşım ve<br>az alaşım<br>çelikler                                                                                                                                        | Alaşımsız ve<br>alaşım çelikler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                |
| KAYNAK POZİSYONU | Yatay ve oluk<br>pozisyonda kalın<br>ve orta kalın<br>parçaların iç köşe<br>ve alın<br>birleştirmelerinin<br>dolgu ve kapak<br>pasolarında.<br>Oluk pozisyonda<br>kök ve dolgu<br>pasolarında. | Yatay, oluk<br>ve yukarıdan<br>aşağıya dik<br>pozisyonlarda<br>a kalın ve<br>orta kalın<br>parçaların<br>alın<br>birleştirmeler<br>inin dolgu ve<br>kapak<br>pasolarında. | Her pozisyonda<br>ince parçaların<br>içköşe, alın<br>birleştirmelerinde<br>Her pozisyonda<br>kalın parçaların<br>alın<br>birleştirmelerinin<br>kök pasolarında.<br>Tavan, içköşe<br>tavan,<br>yukarıdan aşağı<br>ve aşağıdan<br>yukarı dik,<br>korniş<br>pozisyonlarında<br>içköşe ve alın<br>birleştirmelerini<br>n dolgu ve<br>kapak<br>pasolarında. | Her pozisyonda orta<br>ve kalın parçaların iç<br>köşe ve alın<br>birleştirmelerinin<br>dolgu ve kapak<br>pasolarında.<br>Kök paso için özel<br>hallerde.<br>Az ısı girdisinin<br>uygulanmasının<br>gerekli olduğu<br>hallerde. |

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri

##### 3.1.1. Ana metal

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

**Çizelge 3.1.** Metalin kimyasal bileşimi (Erdemir 2000)

| Yeni standart   | Önceki standart | Kimyasal bileşim |          |          |           |           |           |           |       |
|-----------------|-----------------|------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| DIN EN 10025-94 | DIN 17 100-80   | C<br>max         | P<br>max | S<br>max | Mn<br>max | Si<br>max | Cu        | Al<br>min | N     |
| S235JRG2        | Rst37-2         | 0.17             | 0.025    | 0.02     | 0.80      | 0.30      | 0.25-0.40 | 0.15      | 0.012 |

#### 3.2. Kullanılan Elektrotlar

##### 3.2.1. Rutil karakterli özlü tel elektrot (ELCOR R 71)

Elektrotun Standart Gösterilişi

TS EN ISO 17632-A : T 42 2 P C 1  
 EN ISO 17632-A : T 42 2 P C 1  
 AWS A 5.20 : E 71 T - 1 C  
 Elektrot çapı : 1,2 mm

**Çizelge 3.2.** Kaynak telinin kimyasal bileşimi (Anonim 2013)

| C    | Si  | Mn  | P     | S     |
|------|-----|-----|-------|-------|
| 0.06 | 0.5 | 1.3 | 0.015 | 0.015 |

**Çizelge 3.3.** Kaynak telinin mekanik değerleri (Anonim 2013)

| Isıl işlem | Akma Dayanım (N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme dayanımı | Çentik Dayanımı (ISO-V/-40°C) (ISO-V/-20°C) | Uzama (L <sub>0</sub> =5d <sub>0</sub> )(%) |
|------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| AW veya A  | Min.420                           | 500-600        | Min.50J/100J                                | Min.22                                      |

**3.2.2. Rutil Karakterli Masif Tel Elektrot (SG2)**

Elektrotun Standart Gösterilişi

TS EN ISO 14341-A : G3 Si 1  
 EN ISO 14341-A : W3 Si 1  
 AWS A 5.18 : ER 70 S-6  
 Elektrot çapı : 1,2 mm

**Çizelge 3.4.** Kaynak telinin kimyasal bileşimi (Anonim 2013)

| C    | Si   | Mn   |
|------|------|------|
| 0.08 | 0.85 | 1.45 |

**Çizelge 3.5.** Telinin Mekanik değerleri (Anonim 2013)

| Akma dayanımı<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme dayanım<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Çentik dayanım<br>(ISO-V/-30 °C) | Uzama<br>(L <sub>0</sub> =5d <sub>0</sub> )(%) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|
| Min .420                              | 500-640                               | Min.47J                          | Min.22                                         |

### 3.3. Koruyucu Gaz

Numunelerin kaynaklı birleştirmeleri %76 Ar+%20 CO<sub>2</sub>+% 4 O<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamı altında yapılmıştır.

### 3.4. Kaynak Makineleri

**Şekil 3.1.** GeKa GKM 500-2W kaynak makinesi (Anonim 2014a)

**Çizelge 3.6.** GeKa GKM 500-2W kaynak makinesinin teknik özellikleri (Anonim 2014c)

| Model                           | GKM 500 2W            |
|---------------------------------|-----------------------|
| Şebeke Gerilimi                 | 3 faz, 380 V, 50-60Hz |
| Sigorta (Gecikmeli)             | 63A                   |
| Kurulu Güç                      | 28,3 kVA              |
| Boşta Çalışma Gerilimi          | 16-57V                |
| Çıkış Akımı Aralığı             | 40A-500A              |
| Devrede Kalma Oranı             | %60 500A   %100 360A  |
| Standartlar                     | EN 60974-1 EN 60529   |
| Koruma Sınıfı                   | IP23                  |
| İzolasyon Sınıfı                | H                     |
| Boyutlar (mm)                   | 1100x510x1440         |
| Ağırlık                         | 226 Kg                |
| <b>Tel Besleme Ünitesi</b>      |                       |
| Kullanılabilir Tel Çapları (mm) | 0.8/1.0/1.2/1.6       |
| Tel tipleri                     | Masil Tel / Özlü Tel  |
| Tel Besleme Hızı (m/dk)         | 22 max.               |
| Ağırlık                         | 15 Kg                 |
| Boyutlar                        | 630x460x230           |



**Şekil 3.2.** GeKa Mac PoWer MIG GPS 270 C İnverter DC-Darbeli MİG\MAG kaynak makinesi (Anonim 2014a)

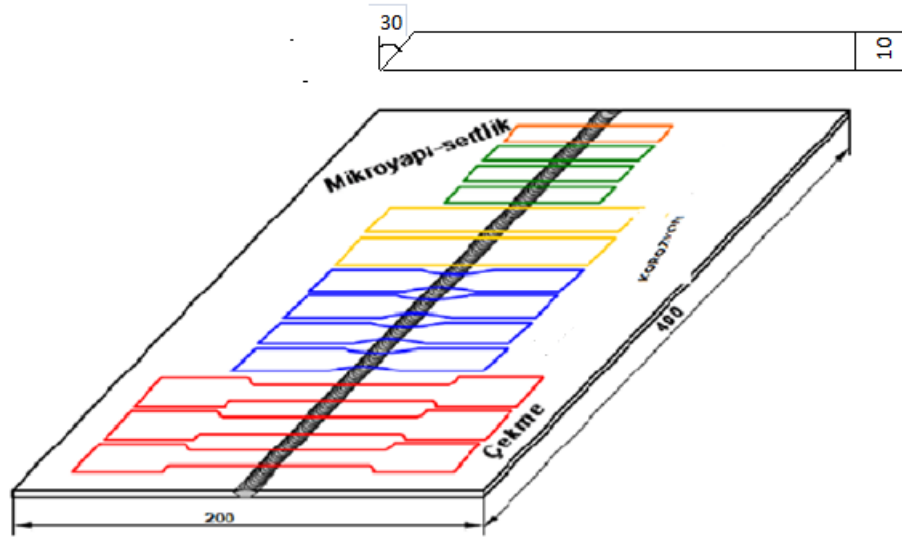
**Çizelge 3.7.** GeKa Mac PoWer MIG GPS 270 C İnverter DC-Darbeli MİG\MAG kaynak makinesi Teknik özellikleri (Anonim 2014a)

| Model                  | PoWer MIG GPS 270C         |
|------------------------|----------------------------|
| Şebeke Gerilimi        | 3 faz, 400+_%15 V, 50-60Hz |
| Sigorta (Gecikmeli)    | 32A                        |
| Kurulu Güç             | 13.6 kVA                   |
| Boşta Çalışma Gerilimi | 81V                        |
| Çıkış Akımı Aralığı    | 30A-300A                   |
| Devrede Kalma Oranı    | %40 270A                   |
| Standartlar            | EN 60974-1 IEC 60974-10    |
| Koruma Sınıfı          | IP23                       |
| İzolasyon Sınıfı       | H                          |
| Boyutlar (mm)          | 300x653x664                |
| Ağırlık                | 51 Kg                      |

### 3.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Deney numunelerinin hazırlanabilmesi için öncelikle 400x200 ebatlarında iş parçasına 60° lik kaynak ağzı açılmıştır. Daha sonra kaynak edilecek olan yukarıdaki ebatlarda ikişer adet numune karşılıklı olarak kök aralığı 2 mm boşluk kalacak şekilde birleştirilmiştir.

Numunelerin çarpılmalardan önlenmesi için kenarlarından sabitlenmiştir. Ayrıca kaynak banyosunun kaynak ağzını ertiterek aşağı akmasını engellemek için bakır altlık kullanılmıştır. Birleştirme işlemi yapıldıktan sonra herdeney için standartlarda belirtilen ölçülerde numuneler hazırlanmıştır.



**Şekil 3.3.** Kaynak edilecek iş parçası

Kaynak yapmak için Geleneksel ve inverter kaynak makinesi için aşağıdaki parametreler seçilmiştir.

### 3.5.1. Geleneksel makine ayar parametreleri

**Çizelge 3.8.** Geleneksel makine için uygulanan değerler

|           | Kaynak akımı(A) | Kaynak gerilimi(V) | Kaynak Hızı(cm/sn) |
|-----------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Masif Tel | 150             | 25                 | 25                 |
| Özlü Tel  | 300             | 25                 | 25                 |

### 3.5.2. Sinerjik Makine Ayar Parametreleri

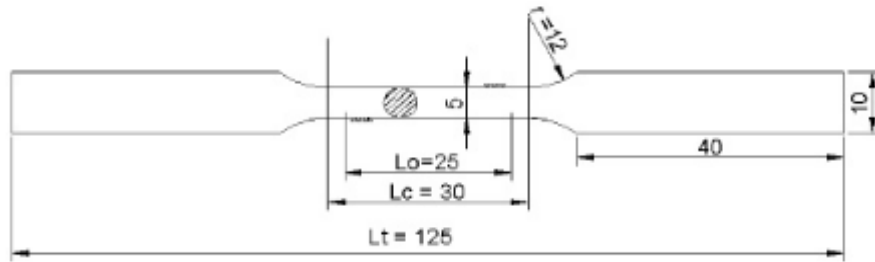
Arclent : -7  
 Arc control : -5  
 Amper : 150

### 3.6. Uygulanan Test Yöntemleri

#### 3.6.1. Çekme deneyi

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

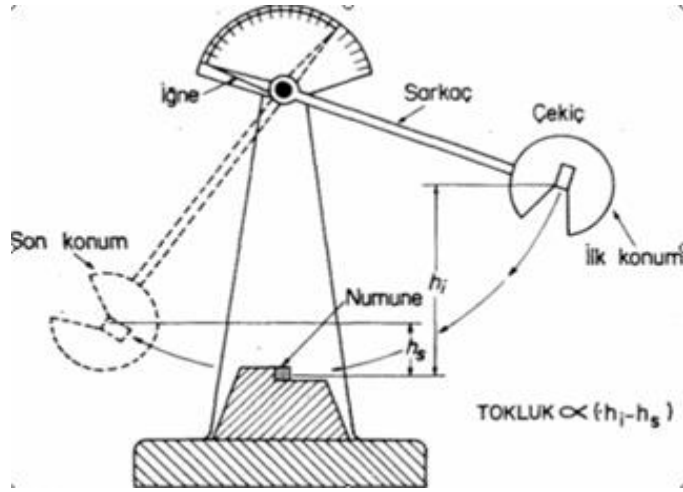
Bu çalışmada TS EN ISO 6892-1 Ocak 2010 Ek-D standardına göre aşağıda teknik resmi verilen ölçülerde CNC tornada numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.4. Çekme deney numune boyutları (TS EN ISO 2010)

#### 3.6.2. Çentik Darbe Deneyi

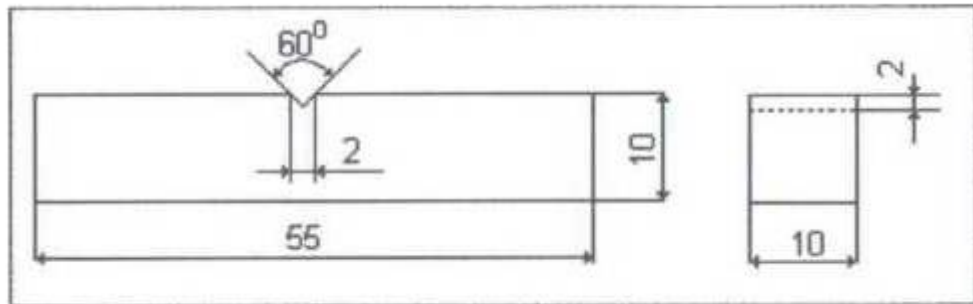
Darbeli yükler altında bir malzemenin kırılması için gerekli enerji miktarının belirlenmesini bulmak için yapılır.



**Şekil 3.5.** Çentik darbe deney cihazının çalışma prensibi (Louisiana Technin Univercity 1999)

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

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



**Şekil 3.6.** Çentik darbe deney numunesi

### 3.6.3. Korozyon Deneyi

Korozyon, metalik malzemelerin içinde bulundukları ortamla elektrokimyasal reaksiyona girmeleri sonucu, metalik özelliklerini kaybetmeleri olayıdır. Korozyon testleri kaynak işlemi uygulanmış St 37 çeliğinin elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi için yapılmıştır. %3.5'luk NaCl çözeltisi korozyon deneylerinde elektrolit olarak kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Korozyon deneyleri GAMRY firmasının Series G750<sup>TM</sup> Potansiyostat / Galvanostat cihazında yapılmıştır. Tafel tekniği ve OCP (Açık Devre Potansiyel) Teknikleri kullanılarak ölçümler alınmıştır. Yaptığımız tafel tekniğinde kullanılan veriler Çizelge 3.9'da verilmiştir.

**Çizelge 3.9.** Tafel Tekniği parametreleri

| Kurulum Parametreleri                  | Değerler     |
|----------------------------------------|--------------|
| Başlangıç Potansiyeli (V)              | -0,1 vs. Eoc |
| Bitiş Potansiyeli (V)                  | 1,5 vs Eoc   |
| Tarama Hızı (mV/sn)                    | 1            |
| Numune Veri Alım Peryodu (sn)          | 1            |
| Numune Alanı (cm <sup>2</sup> )        | 0,38         |
| Numune Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> ) | 7,85         |
| Eşdeğer Ağırlık                        | 19,65        |

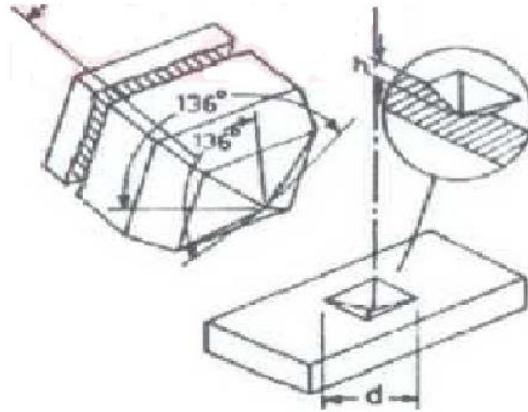
Korozyon potansiyelinden başlayarak anodik veya katodik yönde çizilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri Tafel eğrileri olarak bilinir ve tafel eğrilerinin çizgisel kısımları geriye doğru ekstrapole edildiğinde korozyon potansiyelinde kesişirler. Kuramsal olarak, korozyon potansiyelinde kesiştikleri noktanın belirlendiği akım korozyon

akımıdır[1]. Yaptığımız tafel tekniğinde kullanılan veriler Çizelge 5.9 da verilmiştir. Yapılan deneylerde, potansiyel değerleri  $E_{oc}$  (açık devre potansiyeli)'ye göre yapılmıştır (Yalçınkaya 2014)

#### 3.6.4. Vickers Sertlik Deneyi

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

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



**Şekil 3.7.** Vickers deney ucu ve açılan (Bushan *et al.* 1991)

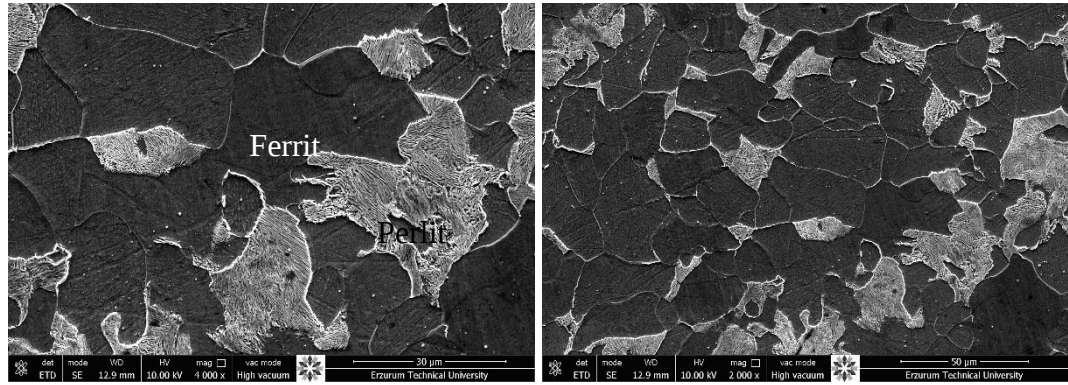
Bu yöntemde Şekil 5.8'de gösterildiği gibi yüzleri arasında  $136^\circ$  lik bir açı bulunan kare tabanlı bir piramit uç kullanılır. Sertlik, mikroskoptaki iz köşegenlerin uzunluğunun ölçülmesi ve bunların ortalamasının alınarak  $HV=0,102 F/d^2$  bağıntısındaki yerine konulmasıyla hesaplanır. Bir mikrosertlik testinde 1 g ile 120 g arasındaki yükler

uygulanır. Vickers sertlik deneyinin kullanım alanı çok geniştir; çok yumuşak ve çok sert malzemelerde olduğu gibi çok ince parçalar için de uygundur. 3 HV (kurşun) ile 1500 HV (sert metal) arasındaki sertlik değerleri elde edilebilir. Bu yöntemin kullanımının yaygınlaşmasındaki en önemli faktör küçük izlerde ve yüklerde bile kare köşegenin çok hassas olarak ölçülebilmesidir.

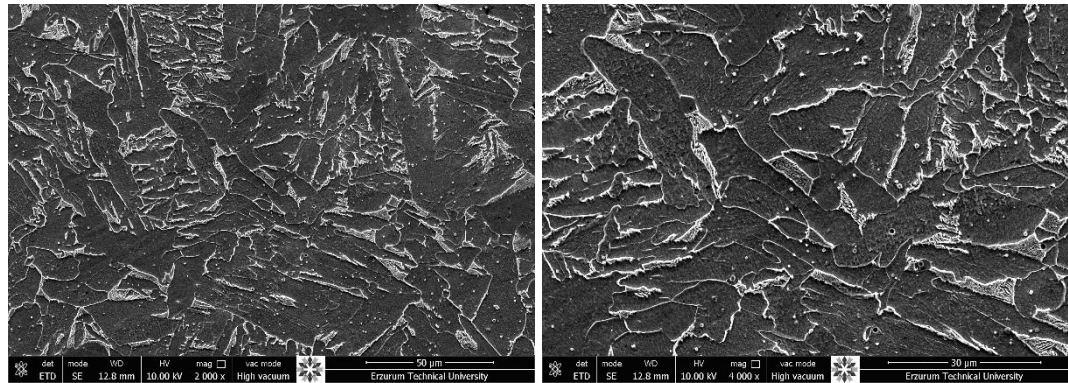
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Geleneksel ve sinerjik kaynak makinaları ile masif ve özlü tel ile kaynak edilmiş st 37 çeliğin mekanik (çekme, çentik darbe ve sertlik) ve korozyon özellikleri araştırılmıştır. Yapılan analizlerden sonra elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

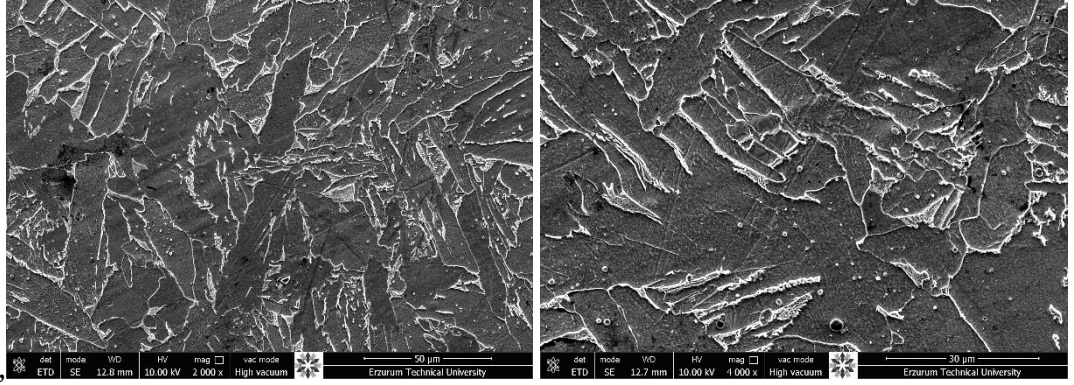
##### 4.1. İç Yapı Analizleri



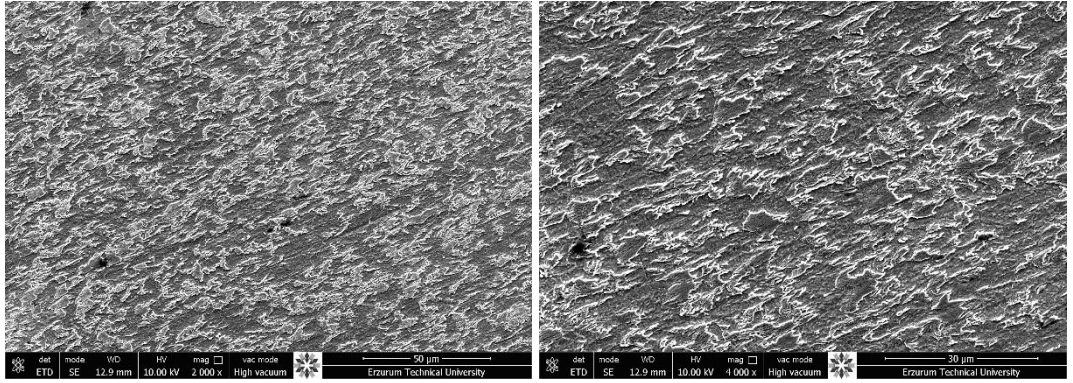
Şekil 4.1. Ana malzeme



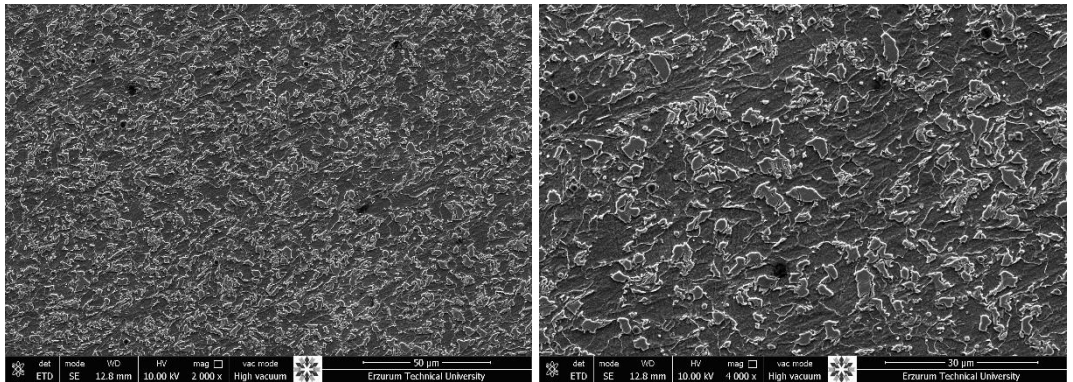
Şekil 4.2. Geleneksel makine masif tel kaynak dış bölgesi



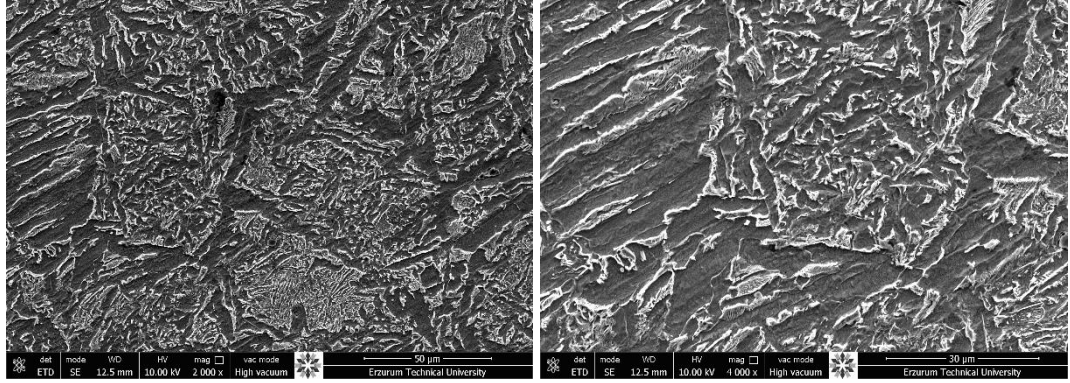
Şekil 4.3. Geleneksel makine masif tel kaynak iç bölgesi



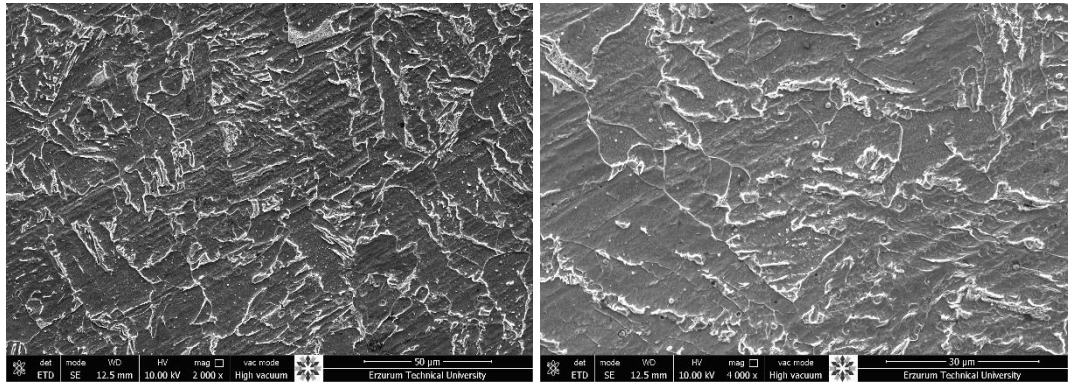
Şekil 4.4. Geleneksel makine özlü tel kaynak dış bölgesi



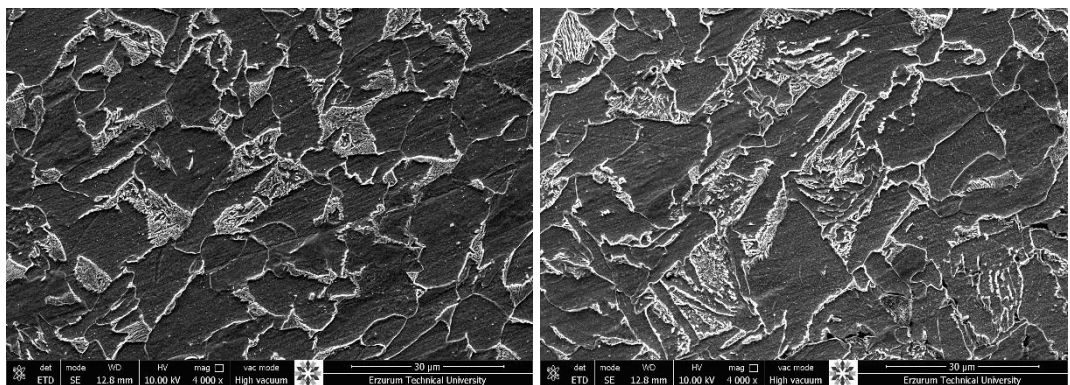
Şekil 4.5. Geleneksel makine özlü tel kaynak iç bölgesi



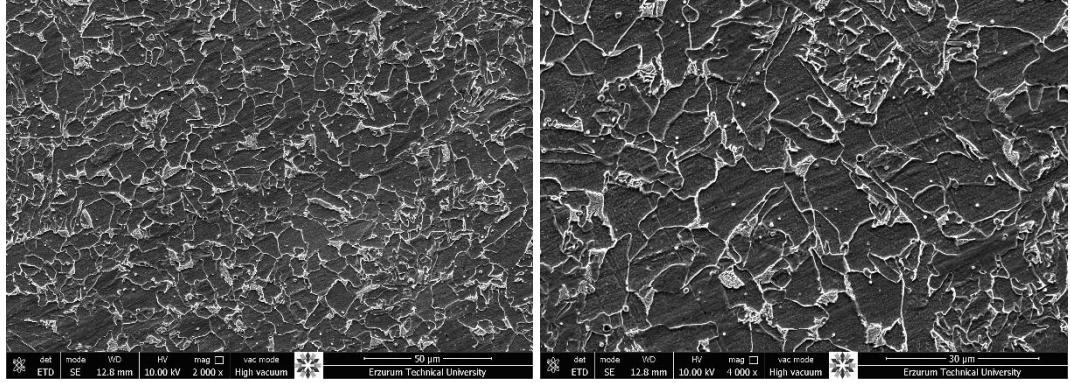
Şekil 4.6. Sinerjik makine masif tel kaynak dış bölgesi



Şekil 4.7. Sinerjik makine masif tel kaynak iç bölgesi



Şekil 4.8. Sinerjik makine özlü tel kaynak dış bölgesi

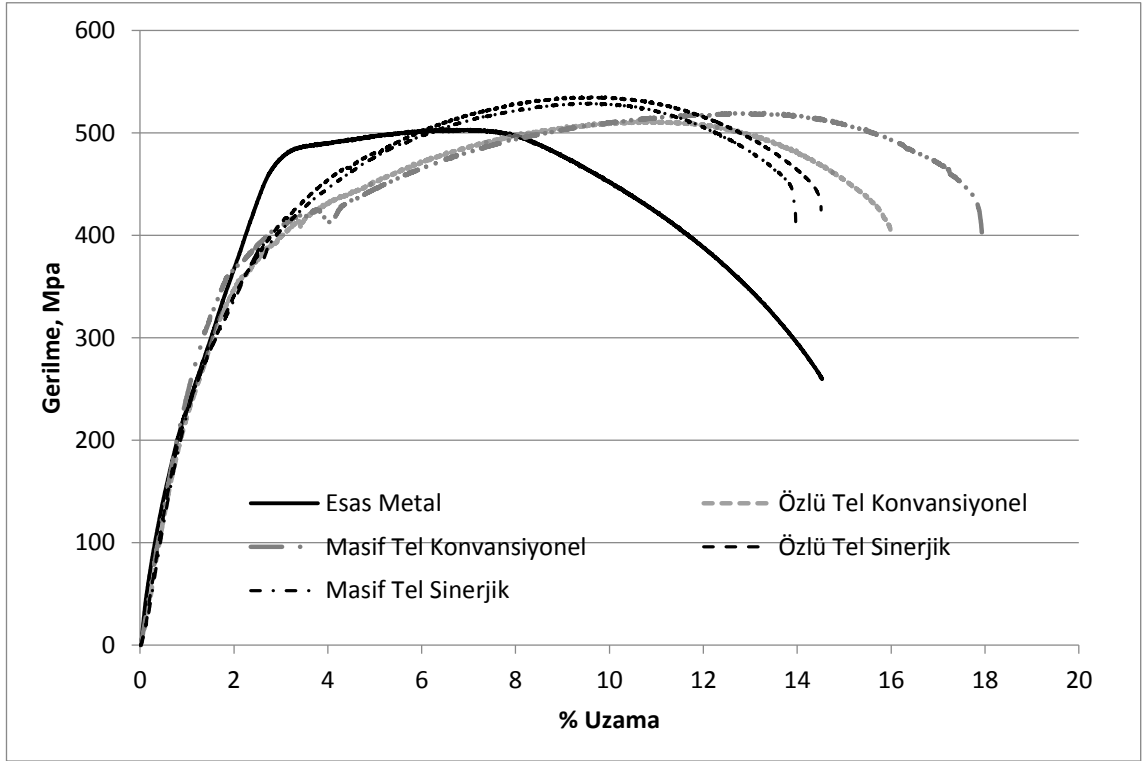


**Şekil 4.9.** Sinerjik makine özlü tel kaynak iç bölgesi

SEM görüntüleri incelendiğinde sinerjik makinenin darbeli akımla düşük ısı girdisi vererek spray ark transferi sağlaması ile Geleneksel makineye göre malzemenin içyapısını fazla etkilemediği görülmüştür. Yine özlü tel ile yapılan kaynağın masif tele ile yapılan kaynağa göre daha düşük parametre değerlerinde damla geçişi sağlamasından dolayı içyapıyı çok fazla etkilenmediği düşünülmektedir (Praveen *et al.* 2005).

Özlü telin kaynağı sırasında oluşan kaynak örtüsü kaynak bölgesinin yavaş soğumasını sağladığı için masif tele göre daha düzenli bir içyapı elde edilmiştir. Örtü kaynak bölgesini dış ortamın zararlı etkilerinden korumuş daha pürüzsüz bir görüntü elde edilmiştir.

#### 4.2. Çekme Deney Sonuçları



**Şekil 4.10.** Çekme deneyi sonuçları

Çekme deneyi yapılırken tüm numunelerin kopma işleminin ana malzemedan gerçekleştiği gözlenmiştir. Tüm kaynaklı numunelerden elde edilen çekme dayanım değerlerinin ana metalden elde edilen çekme değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuç olarak yapılan kaynak birleştirmelerinin emniyetli olduğu saptanmıştır.

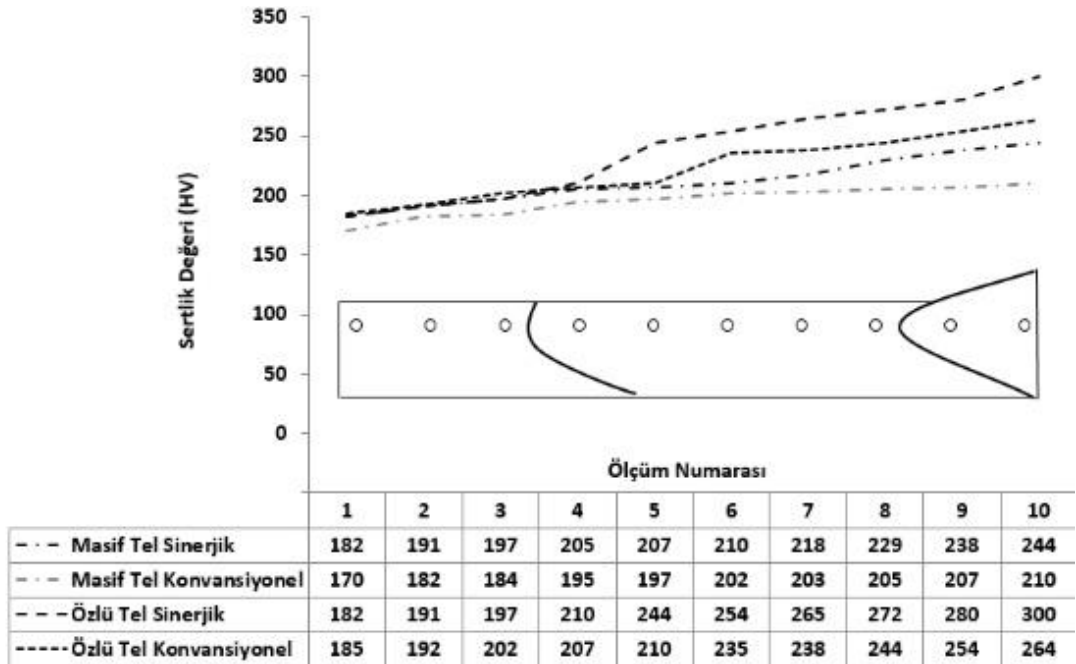
### 4.3. Çentik Darbe Deney Sonuçları

Çizelge 4.1. Çentik darbe deneyi sonuçları

| Numune | Ana malzeme<br>(-20/+20)<br>Joule | Konvansiyonel<br>makine masif<br>tel (-20/+20)<br>Joule | Konvansiyonel<br>makine özlü tel<br>(-20/+20)<br>Joule | Sinerjik<br>makine masif<br>tel (-20/+20)<br>Joule | Sinerjik<br>makine özlü<br>tel (-20/+20)<br>Joule |
|--------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1      | 15/25                             | 23/40                                                   | 26/45                                                  | 33/51                                              | 33/58                                             |
| 2      | 14/23                             | 22/39                                                   | 27/46                                                  | 30/51                                              | 34/56                                             |
| 3      | 16/24                             | 22/41                                                   | 27/45                                                  | 30/52                                              | 34/57                                             |
| 4      | 14/25                             | 21/40                                                   | 27/47                                                  | 30/48                                              | 34/62                                             |

Çentik darbe test sonuçlarına göre Sinerjik makine ve özlü tel ile yapılan kaynağın mekanik özelliklerinin diğer kaynaklı birleştirmelere göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

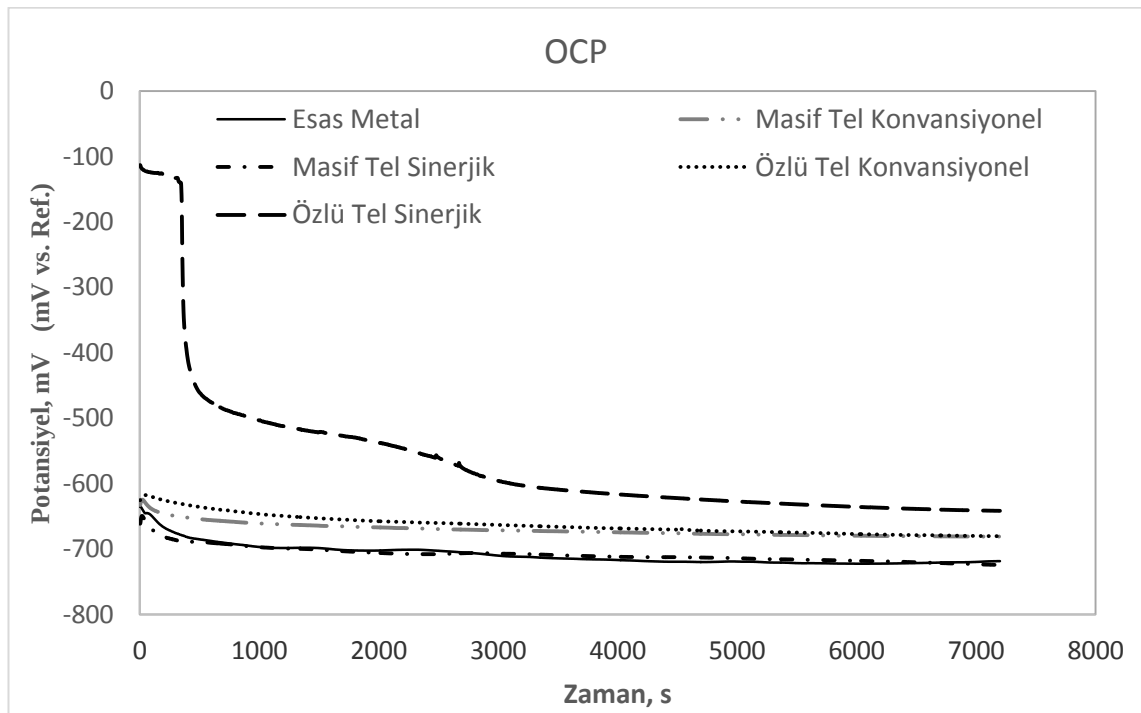
### 4.5. Sertlik Deney Sonuçları



Şekil 4.11. Ana malzemedan kaynak dikiş merkezine kadar olan sertlik değişimi

Sertlik değerleri incelendiğinde, sertliğin ITAB'e doğru gidildikęe arttığı görülmektedir. En düşük sertlik değerinin geleneksel makinede ayrıca en yüksek sertlik değerinin ise sinerjik makine de olduğu belirlenmiştir. Kaynak tellerinde ise  zl  telin kaynağının masif telin kaynağına göre daha sert olduğu saptanmıştır.

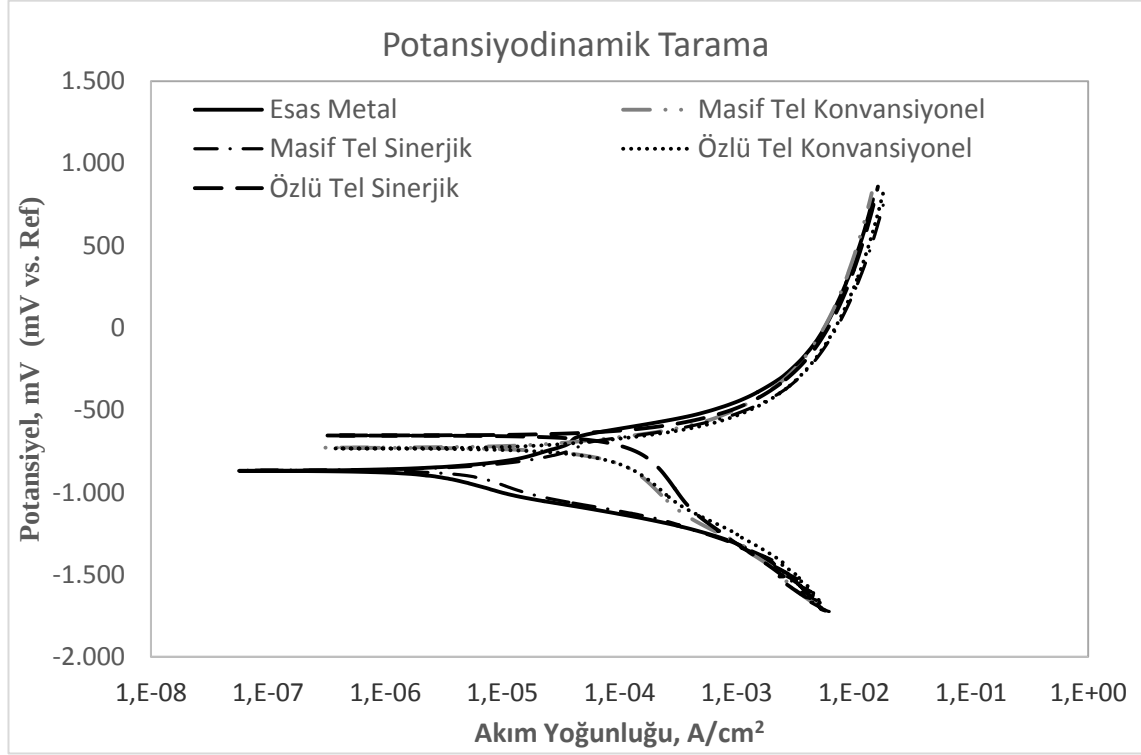
#### 4.4. Korozyon Deney Sonuçları



şekil 4.12. OCP grafikleri

Açık devre (OCP) grafikleri malzemelerin zamanla kararlılığını göstermekte olup, grafik incelendiğinde tüm şartlar için zamanla potansiyelde düşüş gözlemlenmiştir. Yapıdaki fosfat ve düşük ısı girdisi ile  zl  sinerjik tel kaynağı yüksek potansiyel ile en soy durumu sergilemiş ve zamanla ani bir d ş me göstermesine rağmen deney süresince soy kalmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Özlü ve masif konvansiyonel kaynak işlemi soy durum açısından benzer davranış sergilemiş, masif sinerjik ise esas metal ise kendi içerisinde benzer davranış sergilemişlerdir. Bu etkiler şekil 4.12'de potansiyodinamik

tarama grafiklerinden doğrulanmakta bu malzeme grupları potansiyodinamik tarama deneylerinden yakın korozyon potansiyeli göstermişlerdir.

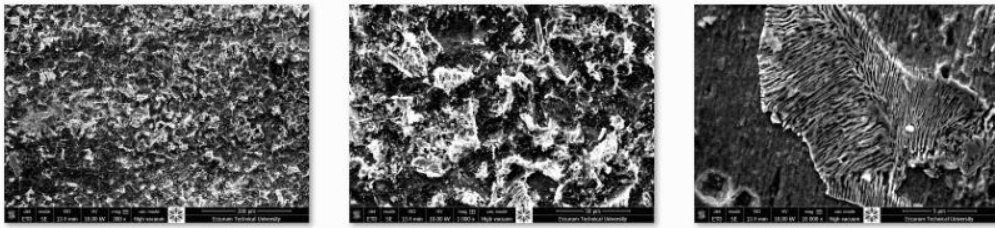


**Şekil 4.13.** Potansiyodinamik tarama grafikleri

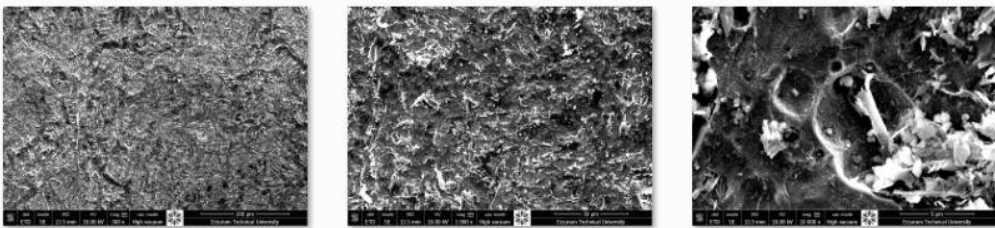
Şekil 4.12 potansiyodinamik tarama grafiklerini göstermektedir. Yapılan kaynak işlemi ile anodik karakterde dikkate değer değişimlerin olmamıştır. Açık devre potansiyeli ölçümlerinden de görüldüğü gibi soy durum açısından özlü tel sinerjik kaynak makinesi ile yapılan kaynağın en kararlı durumu sergilediği, masif tel ve sinerjik makine ile yapılan kaynağın ise en düşük korozyon potansiyelini gösterdiği, esas metalin korozyon davranışında bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Konvansiyonel makine ile yapılan kaynakta ise hem özlü hem de masif telde potansiyel bakımından esas metale göre artış gösterdiği, masif tel ve sinerjik makine ile yapılan kaynağın ise kendi içerisinde benzer, yakın korozyon potansiyeli ve korozyon akımına neden olduğu görülmüştür. Soy durum açısından özlü tel sinerjik makine ile yapılan kaynağın iyi davranış göstermesine rağmen korozyon bölgesinde yüksek akım çekmesi sebebi ile korozyon hızının yüksek olduğu ve korozyon sebebi ile olacak malzeme kaybının diğer

kaynak işlemlerine göre daha yüksek olacağı görülmüştür. Artan potansiyeli sebebi ile özlü tel sinerjik kaynak ve esas metal arasında galvanik çift oluşturma ve iki malzemenin bu potansiyel farkı nedeni ile hızlı bir korozyon olabileceği ve yüksek potansiyel farkında korozyon hızını arttırabileceği, esas metalin anot olarak davranacağı ve korozyonun esas metal üzerinde ilerleyeceği söylenebilir. Bu sebeple galvanik çift oluşturma eğiliminin az olması ve esas metal ile yakın korozyon potansiyeli olması sebebi ile korozyon açısından özlü tel ve sinerjik makine kullanımı ve korozyon bölgesinde düşük akım çekmesi nedenleri ile bu malzeme için seçilebilecek en iyi kaynak yöntemi olabileceği gözlemlenmektedir.

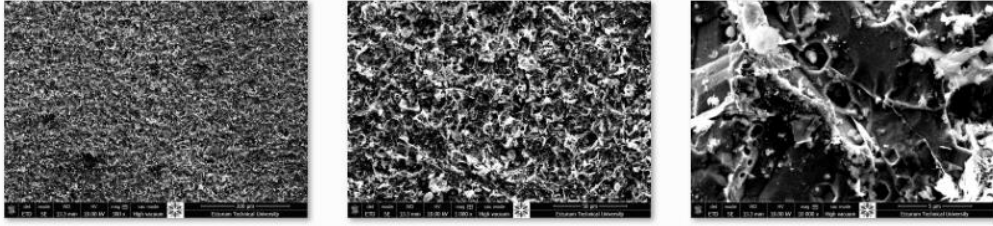
#### 4.4.1. Korozyon SEM görüntüleri



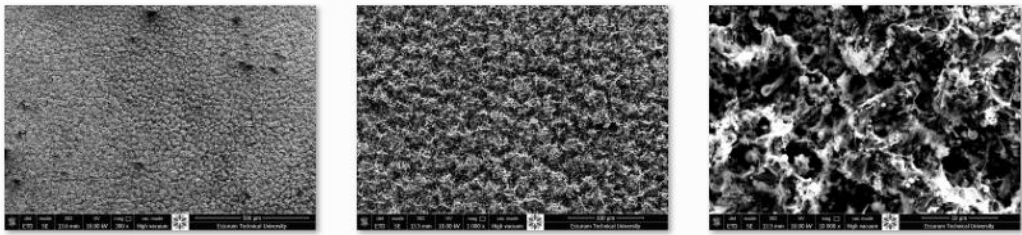
**Şekil 4.14.** Ana metal



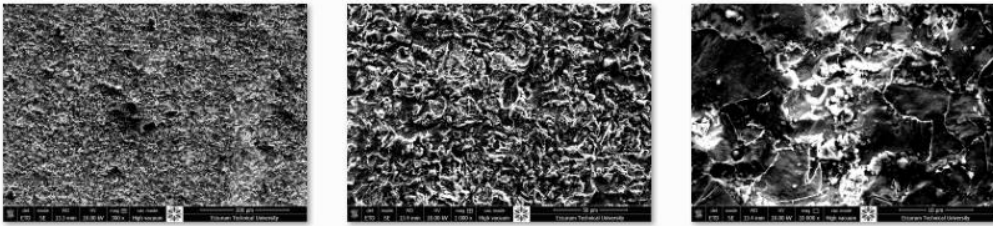
**Şekil 4.15.** Geleneksel makine masif tel



**Şekil 4.16.** Sinerjik makine masif tel



**Şekil 4.17.** Geleneksel makine özlü tel



**Şekil 4.18.** Sinerjik makine özlü tel

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında konvansiyonel ve sinerjik kaynak makineleri ile özlü ve masif tel kullanılarak St 37 malzemeleri kaynaklı bağlantı ile birleştirilmiş, çekme, darbe, sertlik ve korozyon testleri ile kaynaklı yapı irdelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Darbeli sinerjik kaynak makinesi konvansiyonel kaynak makinesine göre içyapıda fazla bir değişiklik meydana getirmediği daha homojen bir yapı oluşturduğu ve kaynak metaline çok daha az ısı girdisi verdiği tesbit edilmiştir.
- Çekme deneyi değerlerine göre bütün kopmaların ana malzemeden olmasından dolayı kaynaklı malzemelerin çekme dayanım değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülüyor. Ancak kaynaklı malzemelerin kaynak bölgesinin sert olması deformasyonu engellediği için kaynaklı numunelerin çekme dayanımının biraz daha fazla olduğu görülmektedir.
- Yapılan sertlik deneyinde sertliğin ana metalden kaynak metaline doğru gidildikçe arttığı ve en yüksek sertliğin kaynak bölgesinde olduğu tesbit edilmiştir.
- Gözle muayene de Darbeli sinerjik kaynak makinenin sprej ark sayesinde konvansiyonel makineye göre sıçraması daha az olmuştur. Bu da kaynakçı için dikiş üzerinde daha doğrusal kontrol sağlamıştır.
- Özlü telin kaynak banyosunu örtmesi sayesinde masif tele göre daha pürüzsüz bir yüzey sağladığı gözlemlenmiştir.
- Özlü tel içerisinde bulunan alaşım elementlerinin özelliklerinden dolayı mekanik özelliklerinin masif tele göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

- Soy durum açısından özlü tel ile sinerjik kaynak makinesi tarafından yapılan kaynağın en kararlı durumu sergilediği görülmektedir dolayısıyla korozyon açısından sinerjik makine ile özlü telin kullanımı ve korozyon bölgesinde düşük akım çekmesi nedeni ile bu malzeme için seçilebilecek en iyi kaynak yöntemi olabileceği gözlemlenmektedir.
- Yapılan çalışmalar sonucunda sinerjik darbeli kaynak makinesin ve özlü telin malzemelerin kaynağı için en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir. Uygulanacak kaynak bağlantılarında sinerjik darbeli kaynak makinası ve özlü tel kullanımı tarafımızdan önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Anık, S. ve Vural, M., (1996), Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), Gedik Eğitim Vakfı Yayın No:3, İstanbul
- Anık, S. ve Vural, M., 1996. Gazaltı Ark Kaynağı: (TIG-MIG-MAG), GEV,
- Anık, S., Anık, S. E. ve Vural, M., (2000), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anık, S., Dikicioğlu A., Vural M., 1984, Koruyucu Gaz Altında Kaynak ve Alüminyumun MIG Kaynağı, Kaynak Tekniği Derneği Yayını
- Anık, S., Tülbentçi, K. ve Özgöktüğü, T., (1978), Soru ve Cevaplarla Kaynak Teknolojisi, Eğitim Yayınları, Ankara.
- Anık, S., Vural, M., 1996, Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), Gedik Eğitim Vakfı, Yayın No:3, İstanbul
- Anonim, 2013. GeKa katalog 2013, sayfa 168
- Anonim, 2014a. <http://www.gedikkaynak.com.tr/urun/gkm-500-2g-ayrilabilir-tel-surme-uniteli-migmag-kaynak-makinesi>
- Anonim, 2014b. <http://www.gedikkaynak.com.tr/urun/power-mig-gps-270-c-migmag-kaynak-makinesi>
- Anonim, 2014c, <http://www.gedikkaynak.com.tr/wp-content/uploads/2014/04/gkm-500-2w.jpg>
- Anonymous, 1982, The Weldability of Steels, Australian Welding Research Association, Technical Note 1
- AWS A5.20-79, 1994, Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding,
- Carry, H.B., 1998, Modern Welding Technology 4 th.Ed. Prentice Hall
- Cary, H.B. and Helzer, S.C., 2005. Modern Welding Technology, Pearson
- Ceyhun,V., Elöve,D., Tatlıses,B., Tunca, İ., 2007, AWS A5.20 (E71T-1) Özlü Tel Elektrod ve CO2 Koruyucu Atmosferde Alın Kaynağı Yapılmış S355 (St 52) Sacının Kaynak Sonrası Mikroskobik ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Metal Dünyası, Haziran, 116-119
- Eryürek, B., 1998, Gazaltı(MIG/MAG) Kaynağı, İstanbul, As Kaynak Yayınları
- Eryürek, İ. B., (2003), Gazaltı Kaynağı, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş, İstanbul.
- Geçmen, İ., (2006), Çeliklere Gazaltı Kaynağının Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gülbahar, B., (1991), Özlü Elektrodlar ve Uygulama Alanları, Mühendis ve Makine, Mart, 28-35.
- Gülenç, B. ve Tülbentçi, K., (1996), “Düşük Karbonlu ve Az Alaşımlı Çeliklerin MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Seçimi”, Uluslararası Kaynak Teknolojisi’96 Sempozyumu Bildirileri, 15-16 Mayıs, İstanbul.
- Gülenç, B., ve Tülbentçi, K., (1997), “Gaz Metal Ark Kaynağında Metal Transferi”, 1.Ulusal Kaynak Teknolojisi Bildiriler Kitabı, 13-15 Kasım, Ankara
- Gülsöz, A., (2000), Özlü Tel Elektrodların Önemi ve Kaynak Özellikleri, Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı, Eylül, 35-40.
- Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul.

- Güner, M., 2007, Mag Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel - Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jeffus, L., 2004, Welding Principles and Applications, Fifth Edition, 275-293
- Kaluç E., (2004), Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1 , MMO Yayını, Kocaeli.
- Karaman, F., 2002, Masif ve Özlü Telle Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kou, S., 2003, Welding Metallurgy, Second Edition
- Krysiak, K. F. ve Bhadha, P. M., (1990), “Shielding Gas Purification Improves Weld Quality”, Welding Journal, November, 47-49.
- Morimoto, T., 2005, Developments in Flux-cored Wire for Gas-shielded Arc Welding, Kobelco Technology Review No. 26
- Müftüoğlu, F. 1997, Alaşımız Çeliklerin Özlü Elektrodla Kaynağında Ar-CO<sub>2</sub> Koruyucu Gaz Karışımlarının Kaynak Dikişine Etkisi ve Optimum Gaz Karışımının Tayini, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Nippes, E. F., (1989), Metals Handbook Ninth Edition Volume 6: Welding, Brazing and Soldering, ASM.
- Okan, A.N., (1989), Gazaltı Kaynak Yönteminde Koruyucu Gazlar, BOS Yayınları, İstanbul.
- Ören, E., (2002), MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İç köşe Dikiş Geometrisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Savaşkan, T., (1999), Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Sönmez, İ., 2000, Özlü Elektrodla Kaynakta Ayrı Gaz Nozulları Kullanımının Kaynak Dikişine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Stenbacka, N. ve Persson, K. A., (1989), “Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding”, Welding Journal, November, 41-47.
- TS 287 EN 895, (1996), Metalik Malzemeler - Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler - Enine Çekme Deneyi
- TS EN ISO, (2010). 6892-1 Ocak 2010 ek-D
- Tülbentçi, K., (1998), MIG-MAG Kaynak Yöntemi, Arctech Yayın No:2, İstanbul.
- Tülbentçi, K., 1990, Mıg-Mag Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, İstanbul, Gedik Holding Yayınları
- Vaidya, V.V., 1989, Flux Cored Arc Welding Wires -Factors Affecting Selection, Canadian Welder and Fabricator, November, 19-24
- Yalçın, A. E., (2005), Koruyucu Gaz Kaynak Uygulamalarında Gaz Karışımları-Dikiş Formu İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yalçınkaya, S., (2014). <http://library.cu.edu.tr/tezler/7044.pdf>.

## ÖZGEÇMİŞ

1976 tarihinde Erzurum’da doğdu. İlköğrenimini Erzurum Soğucak köyü İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Erzurum Atatürk Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü’nde tamamladı. 1996 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2000 yılında mezun oldu. 2001-2007 yılları arasında Otomotiv sektöründe Genel Müdürlük, 2007-2012 yılları arasında Kaynak sektöründe Erzurum Bölge Müdürü olarak görev yaptı.

2011 yılı Ekim ayı itibariyle Kafkas Üniversitesi Kazım Karabekir Teknik Bilimler M.Y.O da Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.