

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**GEMİ SAÇLARININ ÖZLÜ TEL ELEKTROD İLE KAYNAĞINDA  
KAYNAKLI BİRLEŞTİRMENİN DAYANIM VE MİKROYAPI  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Umut SÖNMEZ**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 625.02.00.

Sunuş Tarihi: 27.07.2009

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Vural CEYHUN**

**Bornova-İzmir**



**Umut SÖNMEZ** tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** tezi olarak sunulan “**Gemi Saclarının Özlü Tel Elektrod İle Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım Ve Mikroyapı Özelliklerinin Araştırılması**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 27 /07 /2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

Jüri Başkan : Prof. Dr. Vural CEYHUN

.....

Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr. İ. Etem SAKLAKOĞLU

.....

Üye : Doç.Dr.Gökdeniz NEŞER

.....



**ÖZET****GEMİ SACLARININ ÖZLÜ TEL ELEKTROD İLE KAYNAĞINDA  
KAYNAKLI BİRLEŞTİRMENİN DAYANIM VE MİKROYAPI  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI****SÖNMEZ, Umut**

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Vural CEYHUN

Temmuz 2009, 65 sayfa

Gemi inşa endüstrisi son yıllarda giderek daha fazla büyümekte ve artan inşa ve onarım ihtiyaçlarını karşılamakta zorlanmaktadır. Gemi inşa sektöründe yaygın olarak kullanılan örtülü elektrod ve tozaltı kaynak yöntemlerinin olumsuz etkilerini ortadan kaldıran ve gazaltı kaynak yönteminin üstünlükleriyle birleştiren özlü tel elektrodla gazaltı kaynak yöntemi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada 10 mm kalınlığında St 37-2 (S235 JR) çelik sac levhalara 60<sup>0</sup> kaynak açığı açılmış ve PA, PF ve PE kaynak pozisyonlarında, CO<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamında, E 71 T-1 rutil özlü tel elektrodla, pasolararası sıcaklık sabit tutularak, alın kaynağı yapılmıştır. Kaynaklı birleştirilen parçaların dayanım ve mikroskobik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sırasıyla sertlik, çekme, kırma enerjisi (çentik darbe) dayanımlarıyla beraber radyografik muayeneleri ve son olarak ta mikroskobik incelemeleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda farklı kaynak pozisyonlarında elde edilen çekme dayanımları ve kırma enerjisi değerlerinin de farklı olduğu saptanmıştır. Sertlik değerlerinin IIW tarafından belirtilen sınırların altında olduğu belirlenmiştir. Radyografik muayene sonucunda PE kaynak pozisyonunda birleştirilen numunelerde, kaynak bölgesinde porozite (gözeneklilik) olduğu görülmüştür. Mikro-yapı fotoğrafları incelendiğinde; PF ve PE pozisyonlarında alın kaynaklı numunelerde soğuma hızının yüksek olması nedeniyle kaynak metalinde WIDMANNSTAETTEN içyapısının olduğu tespit edilmiştir. Bu içyapının olduğu bölgeler sert ve kırılgan bir özellik gösterir.

**Anahtar Sözcükler:** Özlü Telle Kaynak Yöntemi, mikroyapı, dayanım



**ABSTRACT****INVESTIGATING THE MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF WELDED CONNECTIONS ON SHIP PLATES WITH FLUX CORED ARC WELDING**

SONMEZ, Umut

Post Graduate Thesis, Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Prof. Vural CEYHUN, PhD

June 2009, 65 Pages

Ship building industry has been growing and the industry struggling to meet the building and repairing needs. Ship building sector has started using flux cored arc welding technique that removes the negative effects of coated electrode and submerged arc welding techniques and has the superior properties of the gas metal arc welding technique regularly. In this study, St 37-2 (S235 JR) steel plates with 10 mm thickness have been welded 60° and butt welded on PA, PF and PE welding positions, in a CO<sub>2</sub> protective environment, with E71 T-1 rutile based wire electrode, and heat between increments kept stable. Hardness, tensile test, breaking energy (Charpy impact test) strength and radiographic investigations, and lastly microscope investigations were conducted in order to define the strength and microscopic properties of the welded specimens. As a result of these investigations, tensile strength and breaking energy values have been obtained for different welding positions. Hardness values were between limits set by IIW. According to the radiographic tests, for specimens welded on PE welding positions, the porosity is observed. Welding metal has been seen to have WIDMANNSTATAETTEN interior structure as a result of the fast cooling down on PF and PE positioned welding samples, as seen on Microstructure photographs. Regions made of this interior structure were seen to be hard and brittle

**Keywords:** Flux Cored Arc Welding , microstructure, strength



## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tez çalışmam süresince çok değerli önerileri ile katkıda bulunan danışmanım Sayın Prof. Dr. Vural CEYHUN'A sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmam esnasında yardımları ve desteği için Oerlikon Kaynak Elektrodları Ve Sanayi A.Ş.' ne teşekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Eşime ve Aileme teşekkürlerimi sunarım.

Umut SÖNMEZ

İzmir ,2009



**İÇİNDEKİLER**

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET .....	V
ABSTRACT .....	VII
TEŞEKKÜR .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XV
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XIX
SİMGELER DİZİNİ .....	XXI
KISALTMALAR DİZİNİ .....	XXIII
1.GİRİŞ .....	1
2. TEORİK BİLGİLER .....	8
2.1.Özlu Elektrodlarla Kaynak .....	8

## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.2 Özlü Elektrodların Üretimi .....	12
2.3 Özlü Elektrodu Oluşturan Öz Maddeleri .....	14
2.4 Özlü Elektrodların Standartları .....	20
2.5 Özlü Elektrodla Kullanılan Koruyucu Gazlar, Gaz Karışımları Ve Temel Özellikleri .....	23
2.5.1 Karbondioksit.....	25
2.5.2 Karışım gazlar .....	26
2.6 Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Ekipmanları .....	27
2.7 Özlü Elektrodla Kaynakta Kaynak Yöntemleri Ve Birleştirme Şekilleri .....	33
2.8 Özlü Elektrodla Kaynağın Avantajları, Dezavantajları Ve Temel Uygulama Alanları .....	36
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	39
3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri .....	39

**İÇİNDEKİLER (Devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1.1 Ana metal .....	39
3.1.2 Kullanılan Elektrod .....	40
3.1.3 Koruyucu gaz .....	41
3.1.4 Kaynak makinesi .....	41
3.2 Mikroskopik Özelliklerin Belirlenmesi .....	43
3.2.1 Radyografik muayene .....	48
3.3 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi .....	51
3.3.1 Uygulanan test yöntemleri .....	51
3.3.1.1 Vickers sertlik deneyi.....	51
3.3.1.2 Çekme deneyi .....	54
3.3.1.3 Çentik darbe deneyi .....	56
4.SONUÇLAR .....	59
KAYNAKLAR .....	61
ÖZGEÇMİŞ .....	64



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
<b>Şekil1.1</b> Çeşitli kaynak malzemelerinin endüstride kullanım alanları .....	1
<b>Şekil 1.2</b> Özlü tel elektrodla basınçlı kapların kaynağı .....	2
<b>Şekil 1.3</b> Endüstrinin kaynak malzemesi ihtiyaçları.....	3
<b>Şekil 2.1</b> Özlü tel elektrodla kaynakta ark bölgesi .....	9
<b>Şekil 2.2</b> Seramik altlıkla özlü tel elektrod kaynağında hazırlık .....	11
<b>Şekil 2.3</b> Stiffiner köşe kaynaklarının özlü tel elektrodla kaynağı .....	11
<b>Şekil 2.4</b> Özlü tel üretimi .....	12
<b>Şekil 2.5</b> Uygulamada özlü tel elektrod kesitleri .....	13
<b>Şekil 2.6</b> Koruyucu gazların kaynak dikişi formuna etkisi .....	24
<b>Şekil 2.7</b> Özlü elektrodla kaynak donanımı .....	27
<b>Şekil 2.8</b> İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması .....	29
<b>Şekil 2.9</b> Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması .....	29
<b>Şekil 2.10</b> Yarı otomatik gaz soğutmalı MIG/MAG kaynak torcu .....	31
<b>Şekil 2.11</b> Çeşitli MIG-MAG torçları .....	32
<b>Şekil 2.12</b> ISO 6947/EN 287 ve ASME standartlarına göre kaynak pozisyonlarının gösterimi .....	34
<b>Şekil 2.13</b> Özlü tel elektrodla kaynak yöntemi için kaynak bağlantı tasarım detayları .....	35
<b>Şekil 3.1</b> Oerlikon GKS 500 kaynak makinesi .....	41
<b>Şekil 3.2</b> Kaynaklı birleştirilen numunenin boyutları .....	42
<b>Şekil 3.3</b> Mikroyapı analizi için hazırlanan numune boyutları .....	43

## ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.4 1 numaralı numunenin(PA) ana metal mikroyapısı .....	44
Şekil 3.5 1 numaralı numunenin(PA) IEB mikroyapısı .....	44
Şekil 3.6 1 numaralı numunenin(PA) kaynak metali mikroyapısı .....	45
Şekil 3.7 2 numaralı numunenin(PF) ana metal mikroyapısı .....	45
Şekil 3.8 2 numaralı numunenin(PF) IEB mikroyapısı .....	46
Şekil 3.9 2 numaralı numunenin(PF) kaynak metali mikroyapısı .....	46
Şekil 3.10 3 numaralı numunenin(PE) ana metal mikroyapısı .....	47
Şekil 3.11 3 numaralı numunenin(PE) IEB mikroyapısı .....	47
Şekil 3.12 3 numaralı numunenin(PE) kaynak metali mikroyapısı .....	48
Şekil 3.13 PA pozisyonunda kaynak edilen numunenin radyografik filmi .....	50
Şekil 3.14 PF pozisyonunda kaynak edilen numunenin radyografik filmi .....	50
Şekil 3.15 PE pozisyonunda kaynak edilen numunenin radyografik filmi .....	51
Şekil 3.16 Sertlik ölçülen bölgeler .....	52
Şekil 3.17 PA pozisyonunda birleştirilmiş kaynaklı parçanın sertlik dağılımı .....	53
Şekil 3.18 PF pozisyonunda birleştirilmiş kaynaklı parçanın sertlik dağılımı .....	53
Şekil 3.19 PE pozisyonunda birleştirilmiş kaynaklı parçanın sertlik dağılımı .....	53
Şekil 3.20 Değişik pozisyonlarda birleştirilmiş kaynaklı parçaların ortalama çekme dayanımları .....	55

**ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Şekil 3.21</b> Çekme çubuğu numunesinin ölçüleri .....	56
<b>Şekil 3.22</b> WOLPERT marka 40 kN 'luk universal çekme cihazı .....	56
<b>Şekil 3.23</b> Çentik darbe deneyi numune ölçüleri .....	57
<b>Şekil 3.24</b> Değişik pozisyonlarda birleştirilmiş kaynaklı parçaların kırma enerjisi değerleri .....	58
<b>Şekil 3.25</b> WOLPERT marka 300 J 'luk çentik darbe deneyi cihazı .....	58



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1 Özlü tel elektrodu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri .....	14
Çizelge 2.2 Öz maddelerinin sınıflandırılması ve kaynak özellikleri .....	15
Çizelge 2.3 MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler .....	17
Çizelge 2.4 EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri .....	19
Çizelge 2.5 AWS A 5.20 ' ye göre özlü elektrodların sınıflandırılması .....	22
Çizelge 2.6 Aktif ve soy gazların özellikleri .....	23
Çizelge 2.7 Özlü tel elektrodla kaynak edilebilir metaller .....	38
Çizelge 3.1 Ana metalin kimyasal bileşim oranları .....	39
Çizelge 3.2 Rutil karakterli özlü tel elektrodun kimyasal bileşimi .....	40
Çizelge 3.3 Kaynak metalinin mekanik özellikler .....	40
Çizelge 3.4 Kaynak parametreleri .....	42
Çizelge 3.5 Özlü tel elektrodla kaynak edilmiş numuneler ile ana malzeme ve kaynak metalinin çekme deneyi sonuçları .....	55
Çizelge 3.6 Kaynaklı birleştirmelerin Kırma Enerjisi değerleri .....	57



**SİMGELER DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
<i>Ar</i>	Argon
<i>CO<sub>2</sub></i>	Karbondioksit
<i>CO</i>	Karbonmonoksit
<i>O<sub>2</sub></i>	Oksijen



**KISALTMALAR DİZİNİ**

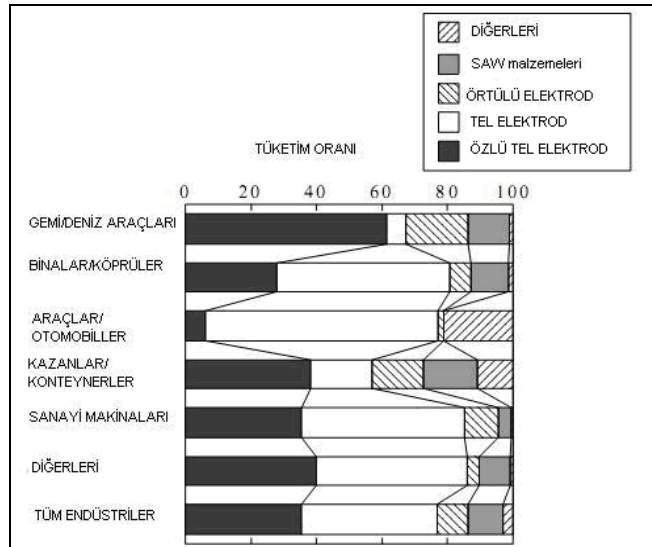
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AWS	American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği)
DAEN	Doğru Akım Elektrod Negatif Kutuplama (Düz Kutuplama)
DAEP	Doğru Akım Elektrod Pozitif Kutuplama (Ters Kutuplama)
EN	Avrupa Normları
FCW	Özlu Telle Kaynak
IEB	Isıdan Etkilenmiş Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
TS	Türk Standartları



## 1.GİRİŞ

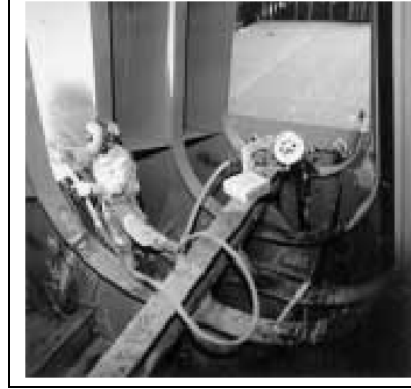
Özlu tel elektrod ile kaynak yöntemi, prensip olarak bir MIG/MAG kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi ark kaynağı yöntemlerinden biri olarak sınıflandırılır.1950'li yıllarda MIG/MAG kaynak yöntemindeki gelişmeler ve çalışmalar özlu tel ile kaynak yönteminin oluşmasına öncü olmuştur.1957 yılından sonra yaygın olarak çeliklerin kaynağında kullanılmaya başlanmıştır.

Gaz koruması altında gerçekleştirilen ark kaynağı yöntemlerinde çıplak ve özlu tel elektrod kullanımı önemli bir paya sahiptir. Özellikle yüksek verim ve uygulama kolaylığı açısından özlu tel elektrod kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle gemi ve deniz araçlarında özlu 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)

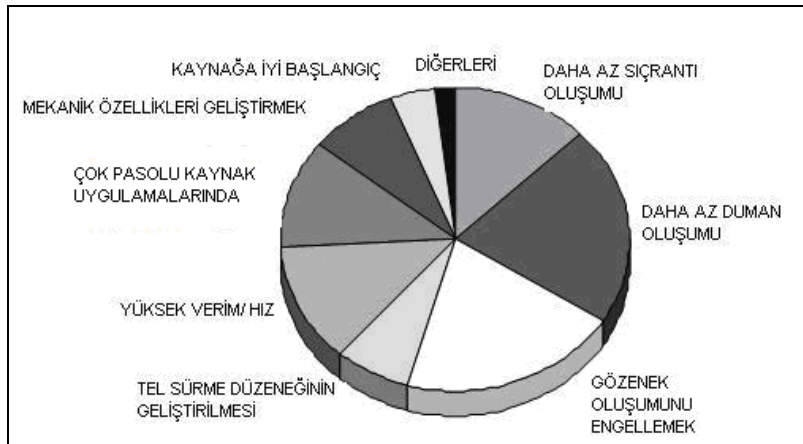
Yöntemin tarihsel gelişimi üç bölüm halinde incelenebilir: İlk bölümde büyük çaplı (örneğin 3.2 mm) elektrodlar kaynak kabiliyetlerinin ve uygulanabilirliğinin kısıtlı olması nedeniyle sadece dolgu işlemlerinde kullanılmıştır. İlk etapta verimliliği arttırmak için özlü tel elektrodların geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. 1979 yılında başlayan ikinci dönemde ise tüm kaynak pozisyonlarına uygun cüruf oluşturan FCW (özlü telle kaynak yöntemi) daha küçük çaplı elektrodlar (örneğin 1.2 mm) ile uygulanmaya başlamıştır. Böylece kaynak maliyetleri daha fazla azaltılmış, gemi inşa sektöründe yarı ve tam otomatik uygulamalarda geniş anlamda kullanım alanı bulmuştur (Morimoto, 2005). Şekil 1.2’de cüruf oluşturan FCW tüm pozisyonlarda uygulaması görülmektedir.



**Şekil 1.2** Özlü tel elektrodlarla basınçlı kapların kaynağı (Morimoto, 2005)

1985 yılında başlayan üçüncü dönemde metal özlü FCW gelişimi ile özlü telle kaynak yönteminin uygulanabilirliği genişlemiştir. Otomasyon ve robotlarla birlikte kullanıma uygunluğu sayesinde, sadece gemi inşa değil diğer alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü MAG kaynağına nazaran daha az cüruf oluşturmakta, daha yüksek kaynak hızlarına erişilmekte ve az sıçrıntı meydana getirmektedir (Morimoto, 2005).

1989 yılında metal özlü FCW elektrodun çelik plakalar için geliştirilmesi ile düşük karbonlu ve çekme dayanımı 480 MPa olan çeliklerin kaynağı mümkün olmuştur. Bu tip elektrodlarla yapılan kaynaklı birleştirmelerde gemi inşa ve köprü yapımında özellikle kullanılan çelik plakaların köşe kaynağında gözenek oluşumu daha az gözlenmektedir. Günümüzde yüksek dayanımlı ve düşük işletme sıcaklıklarına uygun çeliklerin (590 MPa çekme dayanımı olan), ve paslanmaz çeliklerin kaynağında karışım gazları ile beraber kullanılmaktadır (Morimoto, 2005).



Şekil 1.3 Piyasaların kaynak malzemesi ihtiyaçları (Morimoto, 2005)

Karbonlu çeliklerin özlü tel elektrodlarla kaynağında asıl çalışma alanı diğer kaynak yöntemlerine kıyasla, daha fazla verim ve hız elde etme konuları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu nedenle daha yüksek dolgu oranları, kaynak hızları ve robotik uygulamalara uygunluk elde edilmiştir. Şekil 1.3 ark kaynağı uygulamalarında endüstrinin özlü tel elektrod ihtiyacını göstermektedir. Şekilden daha az duman oluşumu hariç diğer gereksinimlerin yüksek verim ve hız ihtiyaçlarını sağlamaya yönelik olduğu açıkça görülmektedir (Morimoto, 2005).

İlk zamanlarda doğru koruyucu gaz ve karışımlarının kullanılmaması, özlü tel elektrodlardaki kalite düşüklüğü, açık alanlarda rüzgârın olumsuz etkisi, kaynak kalitesindeki yetersizlik karşılaşılan güçlüklerdir.

Yöntem sadece özlü tel elektrod ile veya elektroda ilaveten koruyucu gaz ile beraber olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Bu noktada örtülü elektrod 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 elektrodlarla yapılan kaynakta mekanizasyon derecesi ve buna bağlı olarak güç artımı, dışta bulunan örtü ve elektrod uzunluğu nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Örtülü masif elektrodlarla yapılan kaynak, elektrodların sınırlı akım yüklenebilirliklerine bağlı olarak ergime gücünün göreceli olarak düşük olması, sık elektrod değiştirilmesiyle ortaya çıkan zaman kaybı ve elektrod artıklarının kullanılamamasından doğan malzeme kaybı nedeniyle ekonomik olmamaktadır. Ters elektrod olarak da adlandırılan ve örtülü elektrodteki örtü bileşenlerinin elektrod içine taşınmasıyla oluşturulan özlü tel elektrodlar, kaynak tekniğinde yeni ufuklar açmıştır. Özlü tel elektrodlar ile yapılan kaynak, elektrod değiştirme işleminin ortadan kaldırılması, elektrod artıklarının bulunmaması, yüksek ergime gücü ve sürekli bir kaynak işlemi için mekanizasyona uygunluğu nedeniyle, örtülü masif elektrodlarla yapılan kaynağa göre daha ekonomik olmaktadır. Sözü edilen nedenlerle yakını gelecekte gittikçe artan miktarlarda örtülü masif elektrodların yerini alması beklenmektedir (Ceyhun vd., 2007).

Özlü tel elektrodlar, iç kısımlarına yerleştirilen ve toz halindeki çeşitli bileşenlerden oluşan özün bileşenlerinin amaca göre değiştirilebilmesi sayesinde çok yönlü kullanım özelliklerine sahiptirler. Günümüzde değişik kaynak yöntemleri ve

değişik malzemeler için geliştirilmiş olan çeşitli özlü elektrodlar bulunmaktadır. Özellikle MAG-yönteminde özlü tel elektrodlarla yapılan mekanize kaynak da gittikçe önem kazanmaktadır. Ayrıca tozaltı kaynağı ve dolgu kaynağı için geliştirilmiş olan özlü tel elektrod çeşitleri vardır.

Bu elektrodların sağladığı üstünlükler şunlardır:

- Yüksek bir ergime hızına sahip olmalarından dolayı daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler.
- Uygun bileşimde özlü tel elektrodlar kullanılarak her pozisyonda kaynak yapılabilir.
- Kendinden korumalı özlü tel elektrodların kullanımı, kaynak donanımının basitleşmesine olanak sağlar.
- Örtülü elektrod ve MIG/MAG kaynak yöntemlerinin üstün özelliklerine sahiptir.

Özlü tel elektrodla kaynakta koruyucu gaz karışımlarının kaynak metalinin özellikleri ve kaynak maliyeti üzerine etkisi çok fazladır. Müftüoğlu, F. (1997) alaşımsız çeliklerin E 70 T-5 (bazik) ve E 71 T-1(rutil) özlü elektrod ile kaynağında Ar- CO<sub>2</sub> koruyucu gaz karışımlarının kaynak dikişinin nüfuziyeti ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Nüfuziyet deneylerinde kaynak dikişinin genişliği, yüksekliği ve derinliği bunlara bağlı olarak da dikiş formu ve nüfuziyet oranı incelenmiştir. Mekanik özelliklerde ise; kaynak metalinin sertliği, akma ve çekme dayanımı, uzama oranı, çentik darbe dayanımı belirlenmiştir. Ar- CO<sub>2</sub> koruyucu gaz karışımlarının kaynak dikişinin nüfuziyeti üzerine etkisinin en fazla CO<sub>2</sub> gazı ile –hem bazik hem de rutil özlü elektrod için –elde edildiği görülmüştür. En iyi dikiş formu; bazik özlü elektrod için Ar- %60 CO<sub>2</sub> ve daha yüksek CO<sub>2</sub> oranlarında, rutil özlü elektrod için Ar- %80 CO<sub>2</sub> ve daha yüksek CO<sub>2</sub> oranlarında

gerçekleşmiştir. E 70 T-5 (bazik) özlü elektrodu için Ar- %50 CO<sub>2</sub>, E 71 T-1(rutil) özlü elektrod için Ar- %35 CO<sub>2</sub> optimum gaz karışım oranı belirlenmiştir.

Sönmez, İ. (2000) yaptığı çalışmada, özlü tel elektrodla ayrı gaz nozulları kullanımının kaynak dikişine etkisini incelemiştir. Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında ayrı kanallardan beslenen koruyucu gazların kaynak dikişinin nüfuziyeti ve mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. İç gaz olarak argon dış gaz olarak karbondioksit kullanılmış olup, E 70 T-5 (bazik) ve E 71 T-1(rutil) özlü elektrod ile kaynaklar yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda E 70 T-5 (bazik) özlü elektrodu için 4 lt/dak Ar -12 lt/dak CO<sub>2</sub>, E 71 T-1(rutil) özlü elektrod için 6 lt/dak Ar-10 lt/dak. CO<sub>2</sub> uygun değer gaz akış miktarları olarak belirlenmiştir. Gaz akış miktarlarının kaynak dikişine etkisi nüfuziyet yönünden incelendiğinde E 70 T-5 (bazik) özlü elektrodu için 5 lt/dak Ar -11 lt/dak CO<sub>2</sub> gaz akış miktarlarında, E 71 T-1(rutil) özlü elektrod için 4 lt/dak Ar-12 lt/dak CO<sub>2</sub> gaz akış miktarlarında en derin nüfuziyet elde edilmiştir. Bu gaz akış miktarları ile aynı zamanda en iyi dikiş formu elde edilmiştir.

Karaman, F. (2002) “Masif ve Özlü Tel ile Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışmasında rutil özlü, bazik özlü tel ve masif teller ile yapılan kaynak dikişlerinin statik ve dinamik mukavemetleri, kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkilerini incelemiştir. Özlü tel ile yapılmış kaynak dikişlerinin mekanik özelliklerinin masif telle elde edilen mekanik özelliklere nazaran çok daha iyi olduğu, özlü tellerin kaynakta kullanılan yüksek akım yoğunluğu nedeniyle yüksek ergime hızına sahip olduğu, özlü tel elektrod ile daha pürüzsüz yüzey elde edildiği görülmüştür (Karaman, 2002).

Güner, M. (2007) hazırladığı yüksek lisans tezi’nde, MAG kaynağında elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisini incelemiştir. Deneylerde ana metal olarak St 37 (S235) düşük karbonlu yapı çeliği, koruyucu gaz olarak %76 Ar + %20 CO<sub>2</sub> +

%4 O<sub>2</sub> bileşimindeki karışım gazı, ilave metal olarak ise masif tel elektrod ile rutil karakterli özlü tel elektrod kullanılmıştır. Farklı ilave malzeme kullanımının, kaynak dikişinin mekanik özelliklerine etkilerini saptamak amacıyla çekme ve sertlik deneyleri yapılmış, daha sonra da makroskopik incelemeler yapılmıştır. Makroskopik incelemelerde kaynaklı numunelerin nüfuziyet derinlikleri ölçülerek farklı parametrelerin nüfuziyet üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Özlü telle yapılan kaynak dikişinin sertliği çıplak tel ile yapılandan daha yüksek çıkmıştır. Buna neden olarak ana-ilave malzeme bileşiminin farklılığı, diğer yandan ön tavlama gibi benzeri kaynak öncesi işlemlere başvurulmamış olması gösterilebilir. Makroyapı fotoğrafları incelendiğinde genel olarak masif tel elektrod ile kaynak edilmiş numunelerin nüfuziyetinin, özlü tel ile kaynak edilmiş numunelerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

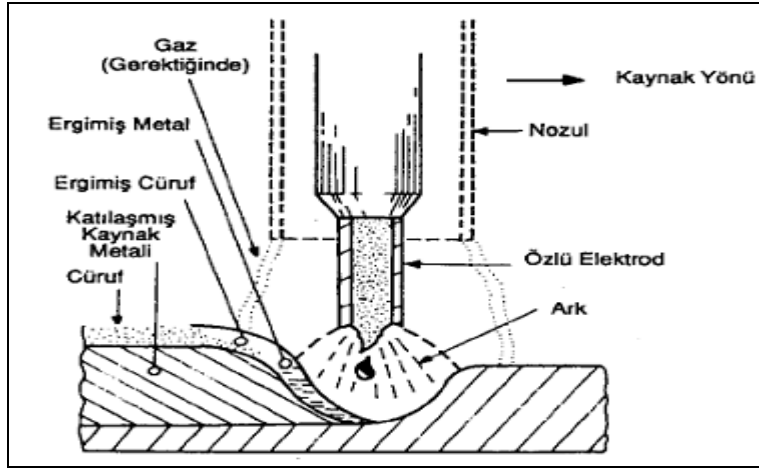
## 2. TEORİK BİLGİLER

### 2.1 Özlü Elektrodlarla Kaynak

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

Özlü tel elektrod ile kaynak uygulamalarında, boru şeklinde ergiyen elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark, kaynak için gereken ısıyı sağlar iyonize olmuş gaz ortamını kateden 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 elektrodteki örtünün görevini üstlenmektedir. Ergimiş elektrod metali, ark tarafından kaynak banyosuna taşınır ve katılaştıran banyo üzerinde de kolaylıkla temizlenebilen bir cüruf tabakası oluşur (Tülbentçi, 1990).



Şekil 2.1 Özülü tel elektrodla kaynakta ark bölgesi (Tülbentçi, 1990)

Özülü tel elektrodla kaynakta, elektrod 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,

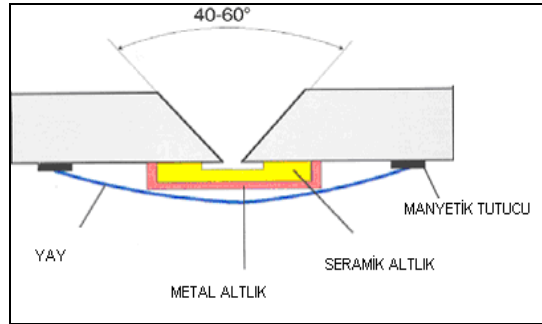
Özülü tel ile kaynak yöntemi dolgu ve çok amaçlı kaplamalar için çok yatkın özelliklere sahip bulunmaktadır. Kaynak dikişi bileşiminin, öze ilave edilen elementlerle ortaya çıkarılabilmesi, kaynak ilave malzemelerinde üretimden gelen

sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır. Bu özellik nedeniyle yöntem (Ceyhun vd., 2007):

- Kimyasal etkilere karşı geniş yüzeylerin kaplanması,
- Aşınmaya karşı sert dolgu tabakaları oluşturulması,
- Aşınmış ya da tahrip olmuş parçaların eski boyut ve özelliklerinin kazandırılması amacıyla yapılan işlemlerde yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu amaçla hafriyat makinaları kazıcı uçları, kazıcı kepçeler, maden ocakları, çimento fabrikaları, merkezi elektrik santralleri gibi yerlerde kullanılan konveyör vidaları, demir-çelik fabrikaları, maden ve taş işleme tesislerinde kullanılan maden kırıcılar, demir-çelik tesislerinde kullanılan sinter karıştırıcılar gibi malzemelerin sert dolgu kaynağında özlü telle kaynak yöntemi uygulanmaktadır.

Genellikle gemi, otomobil ve makine yapımında, çelik yapılarda, köprülerin, boru hatlarının ve küresel gaz depolarının yapımında kullanılmaktadır (Gülsöz, 2000). Japon Tersanelerinde gemi yapımında tüm kaynak prosesleri arasında kullanım oranı % 70-80 oranında özlü telle gazaltı (FCAW) yöntemleridir. Bu yöntemlerin birisini de seramik altlık üzerine özlü telle gazaltı(CB-FCAW) kaynağı oluşturmaktadır. Bu yöntemde; alın veya köşe birleşimleri için uygun kaynak ağzı (V, K ve X) açıldıktan sonra, saclar arasında kök kaynağı oluşabilmesi için uygun boşluk (6-10mm) bırakılır. Kök tarafa kendinden yapışkanlı alüminyum folyolu seramik yapıştırılarak veya kızaklı seramikler magnetik tutucularla saca montajları yapılır. En uygun seramik altlık montajından sonra kaynak parametreleri ayarlanıp, kaynağa başlanılır ve kaynaktan sonra seramik altlık sökülerek tek taraflı kaynak tamamlanmış olur (Asarkaya, 2004).



**Şekil 2.2** Seramik altlıkla özlü tel elektrod kaynağında hazırlık (Asarkaya, 2004)

Tersanelerdeki kullanım alanları arasında; gemilerin dış kaplamasında, kızakta blok eklerinde (çift dip, güverte, dış kaplama, iç cidar ve profil kaynaklarında), tam nüfuziyet istenen döşekler, tülaneler, baş-kıç pik bloklarında oluşan zor kaynak pozisyonları yer almaktadır.

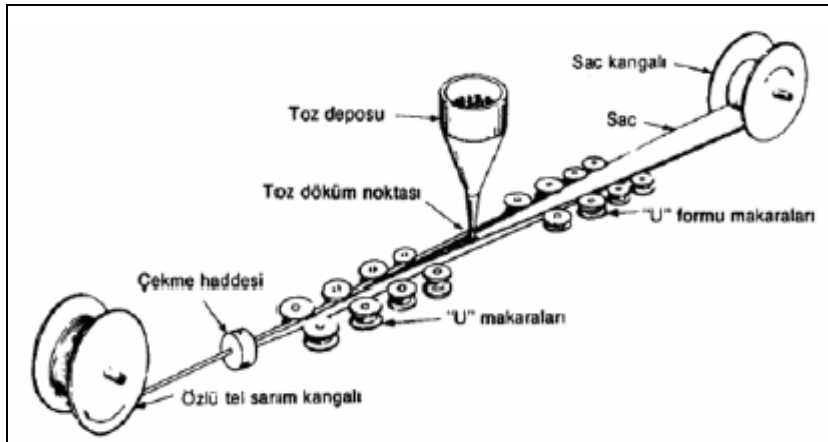
Aynı zamanda profil-postaların köşe kaynakları ile seramik altlık üzerine armuz-sokra kaynaklarında tam otomatik özlü telle kaynak yöntemi uygulanmaktadır.



**Şekil 2.3** Stiffiner köşe kaynaklarının özlü tel elektrodla kaynağı (Asarkaya, 2004)

## 2.2 Özlü Elektrodların Üretimi

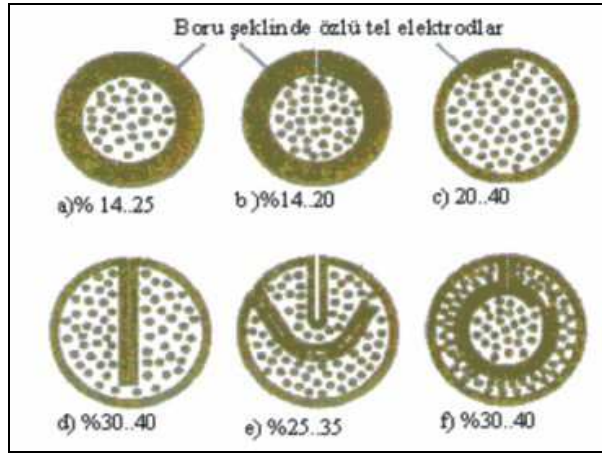
Özlü elektrodların üretimi iki şekilde gerçekleştirilir. Birinci yöntemde; 10 mm kalınlığında 0.4 mm genişliğindeki ince çelik şerit haddelenerek U kesit şeklinde kıvrılır ve içine ölçülen miktarda öz beslemesi yapılır. Özü oluşturan maddelerin homojen olarak karıştırılması yoğunluğun değişmemesi için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



Şekil 2.4 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 elektrodlar; kenetli tip ve boru tipi olarak isimlendirilir. Kullanılacak şerit ve boru istenilen alaşımdan seçilebilir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında dekapan ve ferroalaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin dezoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir (Tülbentçi, 1990). Kenetli tip özlü elektrodların avantajı içerisinde öz dökülmemesi buna karşın dezavantajı ise karmaşık şekillerinden dolayı üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Kenetli tip elektrodlar daha çok sert dolgu kaynağında tercih edilmektedir.



**Şekil 2.5** Uygulamada özlü tel elektrod kesitleri (Gülsöz, 2000)

- a)Kapalı(Kaynak)boru b)Yarık(aralıklı) boru
- c)Bindirme boru d,e)Kenetli özlü tel elektrodlar
- f)Çift mantolu özlü tel elektrodlar

## 2.3 Özlü Tel Elektrodu Oluşturan Öz Maddeleri

**Çizelge 2.1** Özlü tel elektrodu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri

Element	Kullanım şekli	Kullanım Amacı
<b>Al</b>	Metal tozu	Dezoksidasyon ve denitrürasyon
<b>B</b>	Ferrobobor	Tane oluşumunu teşvik eder
<b>Ca</b>	Fluorspar ( $\text{CaF}_2$ ) ve limestane ( $\text{CaCO}_3$ ) gibi mineraller	Koruma ve cüruf oluşturmak için
<b>C</b>	Grafit Tozu	Sertlik ve dayanımı arttırmak için
<b>Cr</b>	Ferroalyaj veya metal tozu (örneğin Ferrokrom)	Sürünme direnci, sertlik, dayanım ve korozyon dayanımını arttırmak için, alaşımlandırmak amaçlı
<b>Fe</b>	Ferroalyaj ve demir tozu, Sheath (Ferro Mn, Mo)	Demir esaslı dolgularda alaşım matrisi ,nikel esaslı ve diğer nonferrous dolgularda alaşım amaçlı
<b>Mn</b>	Ferroalyaj,(ferromangan veya metal tozu)	Deoxide, mangan sülfür (sülfide) oluşturmak için sülfür ile birleşerek sıcak yırtılmayı engellemek önlemek, sertliği ve dayanımı arttırmak, cüruf oluşturmak
<b>Mo</b>	Ferroalyaj (FeMo)	Sertliği ve dayanımı arttırmak için alaşımlamak, östenitik paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dayanımlarını arttırmak için
<b>Ni</b>	Metal tozu	Sertlik, dayanım, tokluk ve korozyon dayanımını arttırmak için alaşımlamak
<b>K</b>	Mineraller; potassium-bearing feldspars ve fritslerdeki silikatlar (örneğin)	Arkı stabilize etmek ve cüruf oluşturmak
<b>Si</b>	Ferroalyaj;(FeSi) veya silicomanganez ,mineral silikatlar;feldspar (örneğin)	Dezoksidasyon ve cüruf oluşturmak
<b>Na</b>	Mineraller; sodyum-bearing silikatlar	Arkı stabilize etmek ve cüruf oluşturmak
<b>V</b>	Oksit veya metal tozu	Dayanımı arttırmak
<b>Ti</b>	Ferroalyaj;(FeTi) gibi(örneğin) rutil (titanyum dioksit)	Dezoksidasyon ve denitrürasyon, cüruf oluşturmak, bazı paslanmaz çeliklerde karbonu stabilize etmek
<b>Zr</b>	Oksit veya metal tozu	Dezoksidasyon ve denitrürasyon, cüruf oluşturmak

**Çizelge 2.2** Öz maddelerinin sınıflandırılması ve kaynak özellikleri (Jeffus, 2004)

<b>Sınıflandırma</b>	<b>Özellikler</b>	<b>Koruyucu</b>
<b>T-1</b>	Yüzey temizlenmelidir. Az sıçrıntı oluşturur. Oluk (1G,1F) ve korniş (2F) kaynak pozisyonlarında tek ve çok pasolu kaynaklarda kullanılabilir.	Karbondioksit(CO <sub>2</sub> )
<b>T-2</b>	Yüzey temizliği gerektirir ve az sıçrıntı oluşturur. Tek pasolu kaynaklarda sadece oluk (1G,1F) ve korniş (2F) kaynak pozisyonlarında kullanılır.	Karbondioksit(CO <sub>2</sub> )
<b>T-3</b>	İnce çelik sacların tek pasolu kaynaklarında oluk (1G,1F)ve korniş (2F) kaynak pozisyonlarında kullanılır.	
<b>T-4</b>	Düşük nüfuziyet, tek ve çok pasolu kaynaklarda oluk (1G,1F)ve korniş kaynak pozisyonlarında kullanılır. Çatlak oluşumunu azaltır.	
<b>T-5</b>	Düşük nüfuziyet ve ince, kolay kaldırılabilir cüruf oluşur, sadece oluk (1G,1F) pozisyonlarında, tek ve çok pasolu kaynaklarda kullanılır.	CO <sub>2</sub> kullanımı opsiyoneldir.
<b>T-6</b>	Koruyucu gaz uygulaması hariç T-5 ile aynıdır.	
<b>T-G</b>	Özellikleri belirtilmemiştir.	Koruyucu gaz ile veya koruyucu gazsız

AWS özlü telle ark kaynağı yönteminde kullanılan öz maddelerini oluşturan cürufun kimyasal yapısına bağlı olarak asidik ve bazik olarak sınıflandırmıştır.

Çizelge 2.2’de görülen T-1 sınıflandırması asidik, T-5 ise bazik sınıflandırmayı göstermektedir. Asidik olan rutil esaslı öz yumuşak ve stabil ark geçişi oluşturur, ancak yüksek kalitede dolgu meydana getirmez (Jeffus, 2004).

T-5 ise bazik esaslı özdür. Kaynak metalinde kalıntıları temizler fakat kaynak banyosunun tam olarak kontrol edilememesi nedeniyle tüm kaynak pozisyonlarında kullanılamaz.

Kullanılan özden beklenen görevler şunlardır:

1. Kaynak bölgesinin mekanik, metalürjik ve korozyon dayanımı özelliklerini iyileştirmek. Farklı kaynak pozisyonlarında uygun kaynak dikiş görünüşü ve şekli elde etmek, kaynak bölgesini azot, oksijen ve hidrojenin olumsuz etkisinden korumak için yeterli cüruf tabakası oluşturmak
2. Sıçrantıyı azaltmak, ark stabilizasyonu sağlamak
3. Arkın oluşumunu kolaylaştırmak
4. Kaynak dikişini alaşımlandırmak
5. Cüruf-banyo reaksiyonları ile kaynak banyosundaki yabancı maddelerin en aza indirilmesi

Özli elektrodları oluşturan öz maddeleri ve alaşım birleşimleri, örtülü elektrodan farklı olarak elektrodun iç kısmında yer alır. Özün kullanım amacı örtülü elektrodteki örtü ile aynıdır. Öz bileşenleri fonksiyonel olarak 5 sınıfa ayrılır (Vaidya, 1989):

1. Arkı stabile edenler
2. Dezoksidasyonu sağlayanlar
3. Gaz oluşturanlar
4. Cüruf oluşturanlar
5. Alaşımlama yapanlar

İstenilen kaynak özellikleri ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişik öz maddeleri, gerekli oranlarda karıştırılarak toz halinde öz maddesi oluşturulur. Öz hazırlanırken içeriğini oluşturan maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önüne alınmalıdır. Özü oluşturan maddelerin detaylı içeriğini üretici firmalar gizli tutarlar. Farklı elektrodlar farklı öz içeriklerine sahiptir. Kendinden korumalı elektrodlar ile gaz korumalı elektrodları oluşturan öz maddeleri miktar olarak farklılık gösterir. Kendinden korumalı elektrodlarda öze daha fazla dezoksidasyon ve gaz oluşturuucu madde katılır.

Özlu tel elektrodlar kullanılan özün türüne göre rutil, bazik ve metal özlu olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir (Tülbenççi, 1998). Son zamanlarda %50 rutil %50 bazik esaslı elektrodlar üretilmektedir.

**Çizelge 2.3** MAG kaynağında kullanılan özlu tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler (Gülsöz, 2000)

<b>Özlu tel elektrod tipi</b>	<b>EN 758'e Göre Tanıtım Harfi</b>	<b>Mineral Bileşenler</b>	<b>Metalik Bileşenler</b>
Rutil tip, yavaş katılaşılan cüruf	R	SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , MgO	Fe, FeMn
Rutil tip, hızlı katılaşılan cüruf	P	SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , FeO, TiO <sub>2</sub>	Fe, FeMn, FeSi, FeTi
Bazik tip	B	TiO <sub>2</sub> , CaO, CaF <sub>2</sub>	Fe, FeMn, FeSi
Metal tozu dolgulu tip	M	-	Fe, FeMn, FeSi

Rutil öz, aynen rutil örtülü elektrotlarda 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 elektrod ucundan kaynak banyosuna spreyci andıran biçimde ince damlacıklar durumunda geçer. Sıvı kaynak metali üstün bir ıslatma özelliğine sahiptir ancak bu akışkanlık tek taraftan kaynak durumunda kök paso çekimini zorlaştırdığından bu gibi durumlarda metal veya seramik altlık kullanılmasına gerek vardır (Tülbentçi, 1998).

Bazik özlü elektrotlar kaynak metalinin özellikle düşük sıcaklıklardaki gerek kaynak edildiği durumda ve gerekse de ısıtım işlem sonrası üstün tokluk özellikleri nedeni ile tercih edilirler (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 °C'ye kadar tokluğunu koruyan kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Metal özlü elektrotlar son yıllarda alaşımlı çıplak tel elektrotlara ciddi bir rakip haline gelmişlerdir (Tülbentçi, 1998).

**Çizelge 2.4** EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri (Gülsöz, 2000)

<b>Tanıtm Harfi</b>	<b>Cüruf Özellikleri</b>	<b>Tek Pasolu (S) ve Çok Pasolu (M) Kaynak</b>	<b>Koruyucu Gaz <sup>1)</sup></b>
R	Rutil esaslı, yavaş katılaşılan cüruf	S ve M	C ve M2
P	Rutil esaslı, hızlı katılaşılan cüruf	S ve M	C ve M2
B	Bazik cüruf	S ve M	C ve M2
M	Metal tozlu dolgulu	S ve M	C ve M2
V	Rutil veya bazik/lorür	S	Yok
W	Bazik/lorür, yavaş katılaşılan cüruf	S ve M	Yok
Y	Bazik/lorür, hızlı katılaşılan cüruf	S ve M	Yok
S	Diğer tipler	-	-
<sup>1)</sup> C→CO <sub>2</sub> , M2→EN 439 'a göre M2 gaz karışımı			

## 2.4 Özlü Elektrodların Standartları

Özlü tel elektrodların sınıflandırılması yaygın olarak AWS standartlarına göre yapılır.

Bu standartlar aşağıda verilmiştir:

**AWS A5.20:** Alaşimsız Çelik Elektrodlar İçin Standart

**AWS A5.22:** Düşük Alaşımli Çelik Elektrodlar İçin Standart

**AWS A5.29:** Korozyona Dayanıklı Krom ve Krom-Nikel Çelik Elektrodlar İçin Standart

Çeliklerin ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağında (MIG-MAG) kullanılan tel ve özlü tel elektrodlar ülkemizde TS, Alman DIN ve Amerikan AWS standartlarına göre sınıflandırılır. Ülkemizde bu konuda sadece yalın karbonlu ve az alaşımli çeliklerin kaynağı için kullanılan çelik tellere ait hazırlanmış bir standard (TS 5618) bulunmaktadır. Uygulamada bu halin dışında yukarıda belirtildiği gibi DIN ve AWS standartlarına başvurulmaktadır (Tülbentçi, 1998).

EN 758 standardı, en düşük akma sınırı 500 Mpa'a kadar olan alaşimsız ve düşük alaşımli çelikler için özlü tel elektrodların şartlarını ve sınıflandırılmasını vermektedir. Sınıflandırma, kaynak metalinin, özlü tel elektrodun ve uygun koruyucu gaz bileşiminin özelliklerini vermektedir (Anık ve Vural, 1996).

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

**T** : Gazaltı metal ark kaynağı için özlü tel

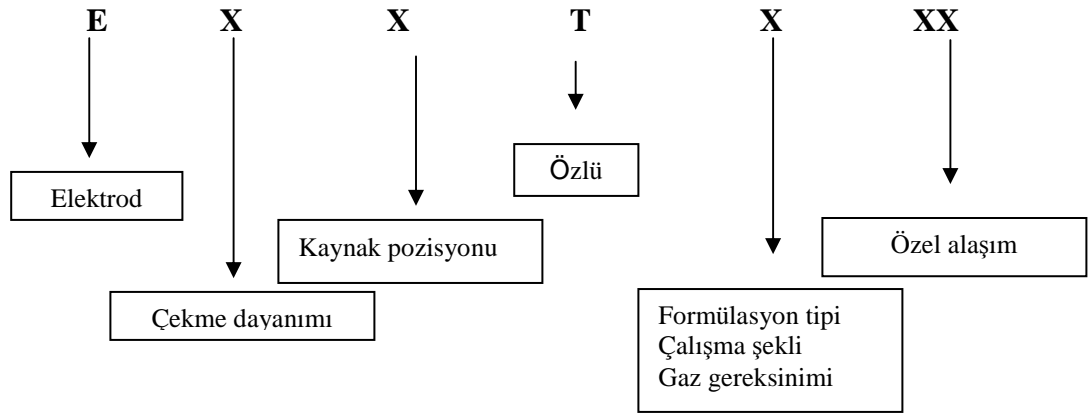
**46** : Kaynak metalinin en düşük akma sınırı (N/mm<sup>2</sup>)

**3** : -30 °C (47 J'lük en düşük çentik darbe işine ulaşılan sıcaklık)

- 1Ni** : %1,4 Mn ve %0,6-1,2 Ni
- B** : Bazik özlü tel elektrod
- M** : Karışım gaz altında kaynak için uygun
- 4** : Yatay pozisyonda kaynağa uygun
- H5** : Kaynak metalinde 5 cm<sup>3</sup>/100 g hidrojen değeri aşılmamalıdır.

Alaşımsız özlü tel elektrodlar için AWS 5.20 standardı aşağıda gösterilmektedir.

**Çizelge 2.5** AWS A 5.20 ‘ ye göre özlü elektrodların sınıflandırılması  
(Anon,1990)



Minimum çekme dayanımı	Gösteriliş	Gaz	Özellikler
6-410 MPa 7-480 Mpa 8-550 MPa	EXXT-1	CO <sub>2</sub>	Rutil tip düzgün dikişli, genel maksat elektrodu
<b>Alaşımlı elektrodalarda</b> 11-750 Mpa 12-820 MPa	EXXT-2	CO <sub>2</sub>	T-1 gibi, fakat Mn/Si oranı yüksek, tek paso oluk pozisyonunda köşe kaynakları için
	EXXT-3	-	İnce malzemelerin kaynağında kullanılan sprey transfer için kendinden korumalı elektrod
	EXXT-4	-	Oluk pozisyonlarında, küresel transfer için, düşük nüfuziyetli, kendinden korumalı genel maksat elektrodu
	EXXT-5	CO <sub>2</sub>	Yüksek tokluğa sahip, hidrojen kontrollü, küresel transfer için bazik tip elektrod
	EXXT-6	-	İyi mekanik özellikler veren, derin nüfuziyetli, kendinden korumalı elektrod
	EXXT-7	-	Yüksek verimli, kendinden korumalı elektrod
	EXXT-8	-	Tokluğu arttırılmış kendinden korumalı elektrod
	EXXT-10	-	Tek paso için hızı yüksek kendinden korumalı elektrod
	EXXT-11	-	Genel maksatlı, kendinde korumalı elektrod
	EXXT-G ve T-GS	Gerektiği gibi	Özellikleri tanımlanmamış metal özlü elektrodlar

#### Minimum çekme dayanımı

6-410 MPa  
7-480 Mpa  
8-550 MPa

#### Alaşımlı elektrodalarda

11-750 Mpa  
12-820 MPa

#### Kaynak pozisyonu

0 - yatay ve oluk

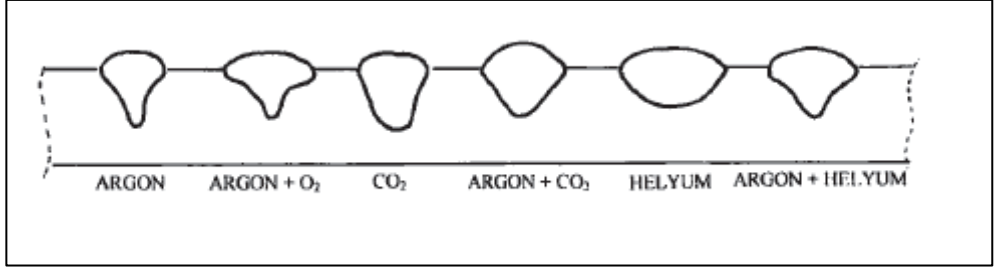
1 - bütün pozisyonları

## 2.5 Özlü Tel Elektrodla Kaynakta Kullanılan Koruyucu Gazlar, Gaz Karışımları Ve Temel Özellikleri

Özlü tel elektrod 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 2.6** 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	Soy gaz	Aktif oksitleyici	Soy gaz	Gerçek soy gaz değil	Aktif oksitleyici	Aktif redükleyici
Yapı		Monatomik	Diatomik	Monatomik	Diatomik	Diatomik	Diatomik
Moleküler ağırlık	28.98	39.94	44.01	4.003	28.016	32.00	2.016
Kaynama noktası°C (1 atm)	-194	-184	-178	-269	-196	-182	-252
Özgül hacim (m <sup>3</sup> /kg) 21°C, 1atm	0.826	0.596	0.540	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	1.340	0.084
Gravite hava=1	1.000	1.380	1.530	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	24.5	15.51	12.5	15.6



**Şekil 2.6** Koruyucu gazların kaynak dikişi formuna etkisi (Carry, 1998)

Kullanılan koruyucu gazların temel görevi kaynak bölgesini atmosferin zararlı etkilerinden korumaktır. Şekil 2.6. de 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 gerçekleştirmezler, 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.

Özlu tel ile MIG-MAG kaynağında koruyucu gaz seçimini etkileyen faktörler şunlardır (Anık vd., 1993):

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

Özlu tel elektrodla 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 ayrıştır:



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.

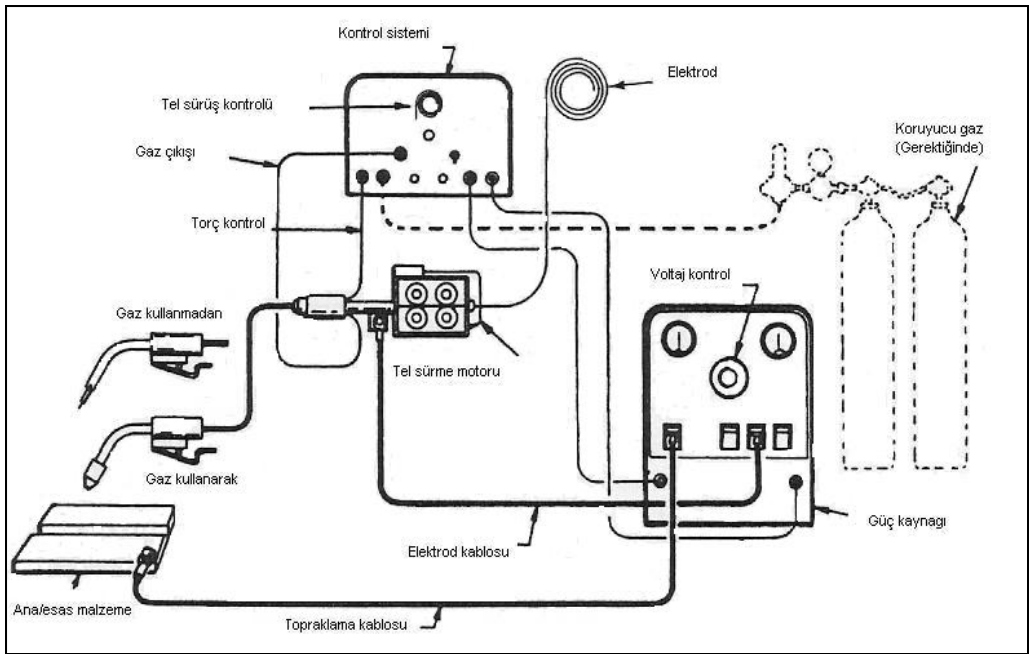
Metal geçiş şekli küresel form şeklindedir ve aşırı sıçrıntı oluşturur. Diğer gazlara oranla ucuzdur ve derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı üstünlüklerine sahiptir.

### 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 arttırılır.

## 2.6 Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Ekipmanları

Özlü tel elektrodla kaynak için gerekli donanım şekilde gösterilmektedir. Kullanılan donanım gazaltı kaynak donanımına çok benzemektedir fakat bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bunların başında yüksek akım üreten güç kaynakları ve büyük torç tasarım farklılıkları gelmektedir.



Şekil 2.7 Özlü elektrodla kaynak donanımı (Carry, 1998)

Kaynak makinaları gaz korumalı ve kendinden korumalı olmak üzere ikiye ayrılır. Gaz korumalı kaynak makinalarında donanım gaz besleme sistemi, gaz tüpleri, regülatör ve debimetre ile selenoid valf ve torç üzerindeki nozuldan oluşmaktadır.

Sabit gerilim karakteristikli (CV) yarı otomatik veya otomatik doğru akım kaynak makinaları normalde ters kutuplama (DCEP) ile kullanılır. Bazı durumlarda düşey karakteristikli (CC) hassas tel sürme mekanizmalarıyla donatılmış kaynak makinaları kullanılmaktadır. Özlü tel elektrotla kaynağı gerçekleştiren 1500 A gücünde kaynak makinaları olmakla beraber çoğu yarı otomatik uygulama 650 A'den düşük akım şiddetlerinde gerçekleştirilir.

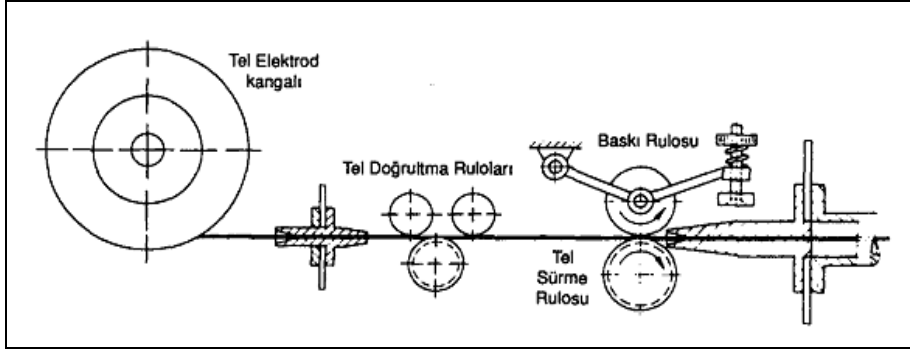
Özel uygulamalar maksimum akımla çalışma gerektirebilir. Bu makinalarda gerilim kontrolü, birkaç volt'luk veya daha az arttırma veya eksiltmeye uygun olmalıdır. Uygun kontrol ve tel besleme ile sabit akımlı kaynak makinaları da kullanılmaktadır. Ancak uygulama alanı sabit gerilimli kaynak makinalarına göre dardır (Anık ve Vural, 1996).

Tel besleme kontrolünün amacı; eriyen elektrodun önceden ayarlanmış sabit miktarda kaynak arkına beslenmesidir. Bu besleme miktarı, kaynak makinasından temin edilmesi gereken kaynak akımını tayin eder. Tel besleme miktarı değiştirilirse, kaynak makinası otomatik olarak önceden ayarlanmış ark gerilimini aynı seviyede tutarak kaynak akımını değiştirir (Müftüoğlu, 1997).

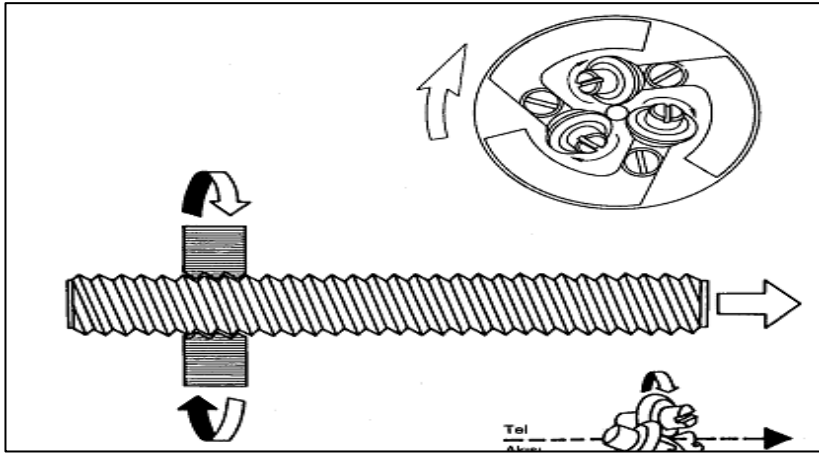
Tel sürme tertibatları çalışma prensibi bakımından, makaralı (rulolu) tertibatlar ve planet tertibatlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Özlü elektrodların kaynak bölgesine düzgün beslenmesi tel sürme mekanizması vasıtasıyla olmaktadır. Özlü elektrod gerilim değişimiyle hızı değiştirilen doğru akım motoru vasıtasıyla bobinden gelerek iki veya dört makara arasından geçerek kaynak bölgesine gönderilir. Yumuşak malzemedan yapılmış kaynak telleri ile özlü elektrodlar halinde dört makaralı ve dördü de tahrikli tel sürme tertibatlarının kullanılması ile daha iyi sonuç alınmaktadır, zira bu durumda makara basıncının olabildiğince azaltılması gereklidir; doğal olarak bu tel elektrodların kullanılması

halinde makaraların profili, tırtılların biçimi ve kalitesi ile makara basıncının ayarı da büyük bir öneme sahiptir (Tülbentçi, 1998).



Şekil 2.8 İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması (Tülbentçi, 1998)



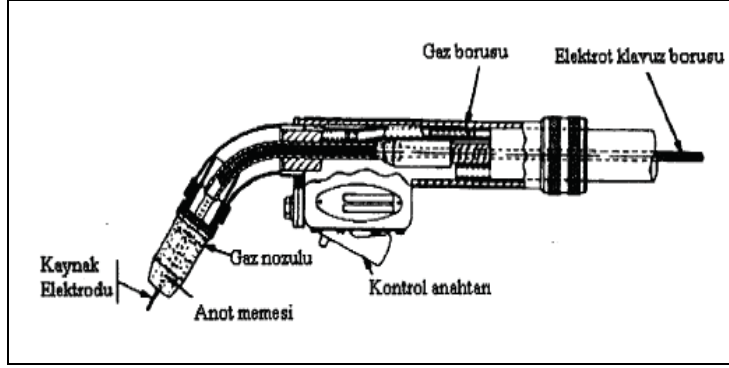
Şekil 2.9 Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması (Cary, 1989)

Dönel veya planet sistemi tel sürme tertibatlarında eksenleri birbirlerine göre çarpık üç rulo vardır, tel bunların arasından geçer, ruloların bağlı olduğu gövde döndürülür ve bu şekilde ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizer; tel

dönmediği için de ilerleme hareketi yapar. Bu sistemin en büyük üstünlüğü tel elektrodu çok iyi bir şekilde doğrultmasıdır (Tülbentçi, 1998). Yalnız bu sistem ince ve yumuşak metallere yapılmış tel elektrodla ile özlü elektrodla için uygun değildir.

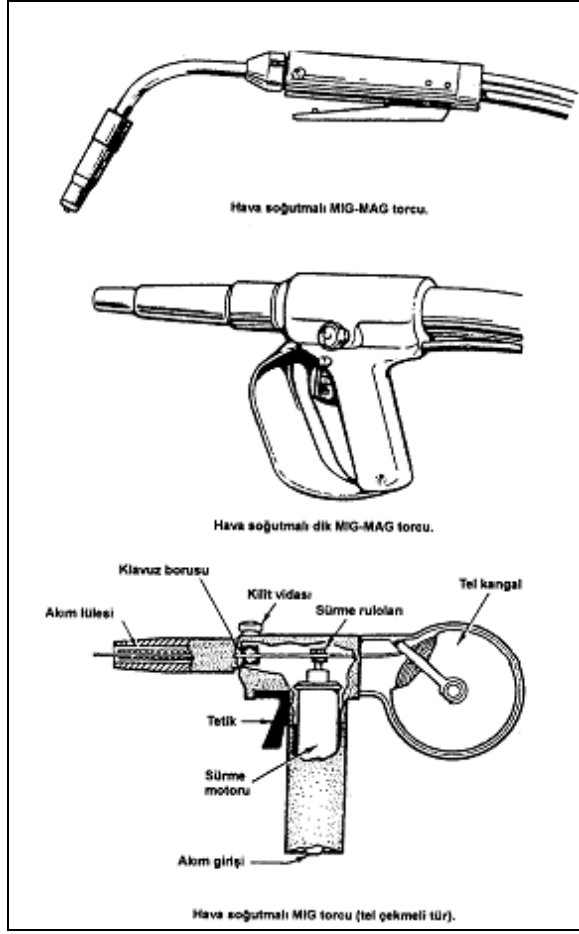
Torçlar, kaynak akımı elektrod ve koruyucu gazın kaynak bölgesine iletilmesi amacıyla kullanılır. Bunlar; taşıma rahatlığı, hareket ettirme kolaylığı ve dayanıklılığı göz önüne alınarak dizayn edilirler (Müftüoğlu, 1997). Kaynak akımı ve tel beslemesi, torç üzerindeki düğme ile sağlanır. Torçlar, su soğutmalı ve gaz soğutmalı olarak üretilir.

Yüksek akım ( $I > 250$  A) kullanılan uygulamalarda su soğutmalı torçlar kullanılır. 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). Gaz soğutmalı torçlar daha basit yapılı, hafif ve kullanımı kolaydır, bu nedenle kaynak yapabilme kabiliyetleri daha iyidir. Sürekli çalışmada 600 A kapasitesi vardır.



Şekil 2.10 Yarı otomatik gaz soğutmalı MIG/MAG kaynak torcu (Karaman, 2002)

Kaynak bölgesinde oluşan dumanı tahliye etmek amacıyla torç üzerinde duman tahliye nozulu bulunmaktadır. Böylece kaynakçı rahat çalışır. % 100 devrede kalma süresi için tasarlanan doğru akım sabit tip karakteristikli kaynak makinaları otomatik kaynak makinaları olarak adlandırılır. Hız ve sürekliliğin gerekli olduğu yerlerde kullanıldığından yüksek kapasiteli tel sürme motoruna sahiptirler.



Şekil 2.11 Çeşitli MIG-MAG torçları (Tülbentçi, 1998)

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

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

Otomatik kaynakta torçlar, elektrodu yandan korumalı veya elektrodla ortak merkezli korumalı olarak dizayn edilebilir. Yandan korumalı tiple dar, derin olukların kaynakları yapılır ve böylece nozul içinde sıçramadan dolayı tıkanmalar minimuma indirilmiş olur (Müftüoğlu, 1997).

## **2.7 Özlü Elektrodla Kaynakta Kaynak Usulleri Ve Birleştirme Şekilleri**

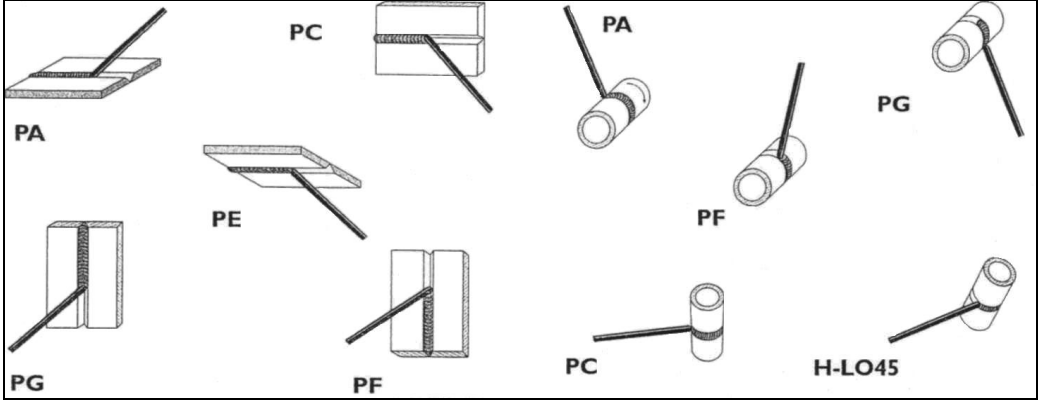
Bütün ergitme kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, özlü tel elektrodla ark kaynağında da kaynak ağzı hazırlamak gereklidir. Bu yöntemde kaynak ağzı tasarlarken göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus koruyucu gaz kullanılıp kullanılmayacağıdır. Koruyucu gaz kullanılması halinde daha iyi bir nüfuziyet elde edildiğinden, daha dar bir kök aralığı ve daha yüksek bir kök yüksekliği seçilir. Ağız açısı genelde örtülü elektrodla kaynaktakine göre daha dardır. Ağız tasarımında, diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kaynakla birleştirilen metalin türü, kalınlığı, kaynaklı birleştirmeden beklenen dayanım, kaynak pozisyonu, dikişin bulunduğu yere erişilebilirlik göz önünde bulundurulmalıdır (Ceyhun vd., 2007).

Bununla beraber 1,6 mm. ile 13 mm. arasındaki kalınlığa sahip malzemelerin kaynağında kaynak ağız hazırlığı yapılmadan da kaynak uygulanabilir. Kendinden korumalı metodla 6 mm kalınlığa kadar maksimum nüfuziyet elde edilir. 6 mm–19 mm kalınlığa sahip malzemeler her iki yöntemle, kaynak ağzı hazırlayarak tek pasoda

kaynak edilebilir. Çok pasolu uygulamalarda bağlantı hazırlığıyla beraber kaynak edilecek malzemelerin kalınlığında sınırlama ortadan kaldırılmış olur (Carry, 1998).

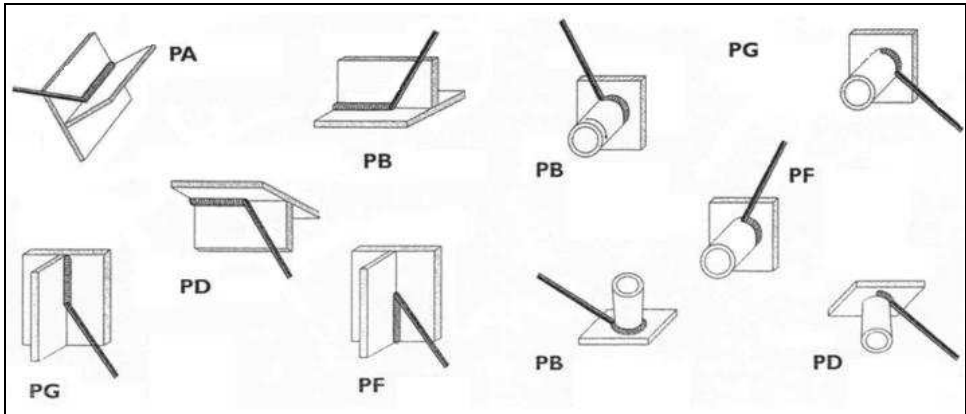
**Alın Birleştirmeler**  
(Sac ve Levhalar için)

**Alın Birleştirmeler**  
(Borular için)



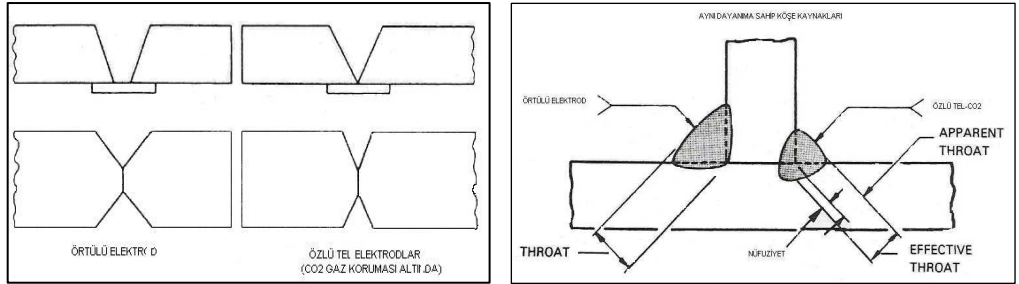
**Köşe Birleştirmeler**

**Köşe Birleştirmeler**



**Şekil 2.12** ISO 6947/EN 287 ve ASME standartlarına göre kaynak pozisyonlarının gösterimi  
(Bölüm 10)

Alın kaynağında 13 mm kalınlığa kadar düz alın birleştirme kullanılabilir. Bu değerin üzerindeki kalınlıklarda, örtülü elektrodlarda kullanılan V kaynak ağzına nazaran %35 ile %50 daha dar V kaynak ağzı hazırlamak gerekir. Açık kök aralıkları tercih edilmelidir. Çoğu yapısal uygulamalarda dar kök aralığı bırakılır ve arka kısım taşlanarak tekrar kaynak edilir. Gazla korumalı metotta köşe kaynağı ölçüleri daha küçük olmasına rağmen, köşe kaynağı dayanımı örtülü elektrodla kaynak metoduyla aynı olmaktadır. Kendinden korumalı elektrod, gaz korumalı elektrodla elde edilen derin nüfuziyet kalitesini veremez, bu nedenle köşe kaynağı ebatları kendinden korumalı elektrodla kaynak metodunda azaltılamaz (Carry, 1998).



**Şekil 2.13** Özlü tel elektrodla kaynak yöntemi için kaynak bağlantı tasarım detayları (Carry, 1998)

## 2.8 Özlü Elektrodla Kaynağın Avantajları, Dezavantajları Ve Temel Uygulama Alanları

Özlü tellerle yapılan ark kaynağı, örtülü çubuk elektrodlarla yapılan ark kaynağına göre pek çok avantaja sahip olup, tozaltı ve gazaltı kaynağına göre de bazı bakımlardan üstündür (Gülsöz, 2000). Bunlar (Jeffus, 2004);

- Yüksek dolgu oranı: 12 kg/saate varan
- Koçan kaybı: Özlü tel elektrodun ağırlığının %75-%90 arası metal, geri kalanı ise öz maddesidir. Örtülü elektrodda ise bu oran %75 ve altında kalmaktadır. Örtülü elektrodda koçan kaybı nedeniyle %11'lik bir kayıp daha söz konusudur. Özlü elektrodda koçan kaybı yoktur, böylece elektrodun tamamı kullanılır.
- Dar ve basit kaynak ağızı hazırlığı: Derin nüfuziyet göstermesi nedeniyle, 13 mm kalınlığa kadar olan parçaların kaynağında kaynak ağızı hazırlığı gerektirmez. En az 35° lik V kaynak ağızı kullanılır.
- Minimum yüzey temizliği: Paslı, oksitli yüzeyler dahi kaynak edilebilir.
- Düzgün kaynak dikişleri
- Mükemmel kontrol: Kaynak banyosu rahatlıkla kontrol edilir.
- Yüksek kaynak hızları
- Çeşitli alaşım imkânı
- Düşük hidrojen miktarı (H 10 cm<sup>3</sup>/100 g kaynak metali)

Uygulamada özlü tel elektrodla kaynak yönteminin sağladığı üstünlükleri şöyle sıralayabiliriz (Ceyhun vd., 2007):

- Basit kaynak ağızı hazırlığı gerektirir,
- Yüksek ergime hızına sahiptir, daha az paso ile kaynak yapma olanağı sağlar,
- Derin nüfuziyetli ve yüzey düzgünlüğü çok iyi kaynak dikişleri elde edilir,

- Özel ön temizleme işlemlerine gerek göstermeden, oksitli, paslı yüzeylerin dahi kaynak edilmesine olanak sağlar,
- Öz içine ilave edilen alaşım elementleri yardımı ile her malzeme için istenilen bileşimde kaynak metali verecek elektrod üretmek mümkündür; ayrıca teknolojik bakımdan tel halinde çekilemeyen alaşımlar için de benzer şekilde elektrod üretmek mümkündür,
- Birçok alaşımlı çeliği argon yada karışım gazları yerine karbondioksit kullanarak kaynakla birleştirmek mümkündür,
- Elektrik enerjisi tüketimi diğer yöntemlere göre daha azdır,
- Doldurma işlemlerinde koruyucu gaz kullanmadan kaynak yapılarak doldurulan kısımlarda nitrürler oluşturup, aşınmaya daha dayanıklı dolgular elde edilir,

Tüm bu avantajlarına karşılık özlü elektrodla kaynağın en temel dezavantajı yalnız demir esaslı malzemeler ile nikel esaslı alaşımlarda kullanılmasıdır. Ayrıca;

- Temizlenmesi gereken cüruf ayrı işlem gerektirir ve korozyon oluşumunu engellemek için boyamadan önce kaldırılmalıdır (Jeffus, 2004).
- Kaynak donanım ve elektrod fiyatları pahalıdır. Üretim kapasitesi artışına bağlı olarak verim artışı fiyat dengesini sağlar.

Özlü telle ark kaynağı yöntemi; düşük ve orta karbonlu çelikler, düşük alaşımlı yüksek dayanımlı çelikler, tavllanmış ve temperlenmiş çelikler, bazı paslanmaz çelik tipleri ve dökme demirlerin kaynağında kullanılır. Kaynak edilebilir malzemeler aşağıda gösterilmiştir.

**Çizelge 2.7** Özlü tel elektrodla kaynak edilebilir metaller (Carry, 1998)

<b><u>Ana Metal</u></b>	<b><u>Kaynak edilebilme durumu</u></b>
Dökme demir	Özel elektrod ile
Düşük karbonlu çelikler	Evet
Düşük alaşımlı çelikler	Evet
Yüksek ve orta karbonlu çelikler	Evet
Alaşımlı çelikler	Evet
Paslanmaz çelik (Bazı tipleri)	Evet
Nikel alaşımları	Belirli tipleri için evet

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada CO<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamında özlü tel elektrodla gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak oluk, dikey ve tavan pozisyonlarında St37–2 (S235 JR) çelik sac numuneler kaynak edilmiştir. Kaynak edilen numunelerin dayanım ve mikroskobik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çekme, sertlik, çentik darbe deneyleriyle beraber radyografik muayene ve son olarak mikroskobik inceleme yapılmıştır.

#### 3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri

##### 3.1.1 Ana metal

Deneysel çalışmalarda ana metal olarak St37–2 (S235 JR) düşük karbonlu yapı çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Ana malzemenin kimyasal bileşim oranları

Kimyasal Bileşim (%)					
C	Si	Mn	P	S	N
0,17	0,30	1,4	0,045	0,045	0,009

#### Mekanik Özellikler

Akma Mukavemeti : min 235 Mpa                      Uzama : 15-26 %  
Çekme Mukavemeti : 360-510 Mpa                      Darbe Dayanımı : 20° 27J

### 3.1.2 Kullanılan elektrod

Rutil Karakterli Özlü Tel Elektrod (FCW-11)

Elektrodun Standart Gösteriliş

**TS 5618** : SG R1 CY 4643

**DIN 8559** : SG R1 C Y 4643

**AWS A 5.20** : E 71 T - 1

**EN 758** : T 46 2 P C 1

**Elektrod çapı:**1,2 mm

**Çizelge 3.2** Rutil Karakterli Özlü Tel Elektrodun kimyasal bileşimi(%)

C	Si	Mn
0.05	0.55	1.2

**Çizelge 3.3** Kaynak metalinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı(MPa)	Çekme Dayanımı(MPa)	Uzama A5(%)	Darbe Enerjisi ISO-V(J)	
			+20 <sup>0</sup> C	-20 <sup>0</sup> C
>460	550-650	>22	>80	>80

Hızlı katılaşan bir curufa sahip rutil özlü kaynak telidir. Özellikle gemi inşaatı ve çelik kontrüksiyon imalat kaynakları için geliştirilmiştir. Kaynak banyosu kolay kontrol edilebildiğinden yüksek akımlarda pozisyon kaynağına uygundur. Yüksek

akım değerlerinde çalışma imkanı sağladığından kaynak metali yığma hızı yüksektir. Özellikle yatay ve düşey pozisyonda kaynağa uygun olup, 1.2 mm çaplı teller yukarıdan aşağıya düşey pozisyonda kullanılabilir. Ana metalle kesme hatası yapmaz, kaynak dikişleri gözeneksiz olup, dikiş görünümü parlak ve düzgündür. Sıçrama kaybı oldukça azdır, köşe ve dar kaynak ağızlarında curufu çok kolay kalkar.

### 3.1.3 Koruyucu gaz

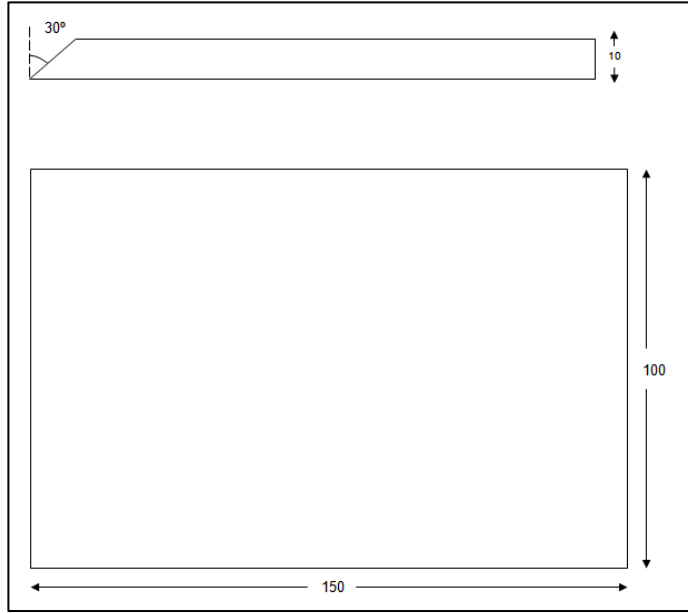
Numunelerin kaynaklı birleştirmeleri CO<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamı altında yapılmıştır.

### 3.1.4 Kaynak makinesi

Numunelerin kaynaklı birleştirmeleri Oerlikon GKS 500 marka MIG/MAG kaynak makinesi kullanılarak yapılmıştır.



şekil 3.1 Oerlikon GKS 500 kaynak makinesi



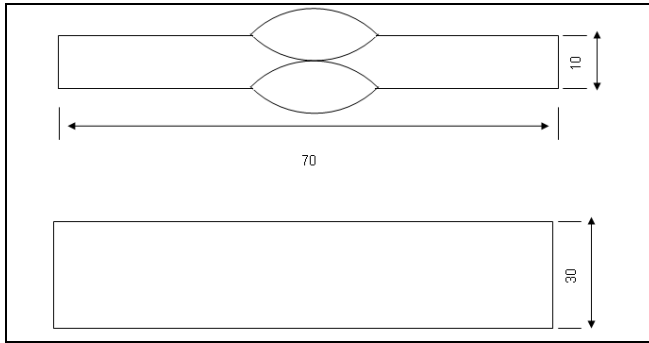
**Şekil 3.2** Kaynaklı birleştirilen numunenin boyutları

**Çizelge 3.4** Kaynak parametreleri

<b>Kaynak pozisyonu</b>	<b>Paso Sayısı</b>	<b>Kaynak Gerilimi (V)</b>	<b>Kaynak Akımı (A)</b>	<b>Serbest Tel Uzunluğu(mm)</b>
PA	Kök	26	190	15
	Kapak	32	140	15
PF	Kök	26	190	15
	Kapak	26	190	15
PE	Kök	26	190	15
	Kapak	26	190	15

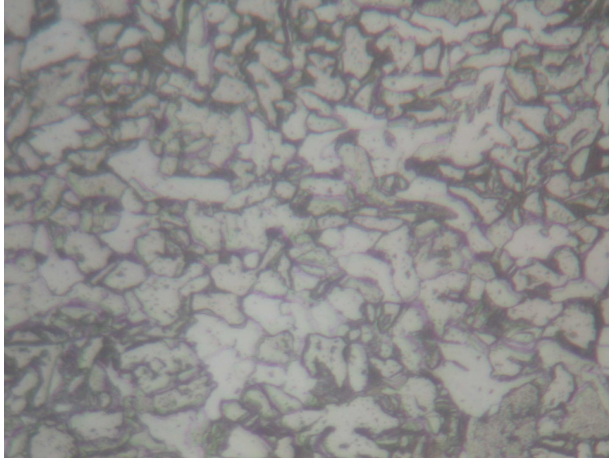
### 3.2 Mikroskobik Özelliklerin Belirlenmesi

Kaynaklı birleştirilen parçalarda metalografik inceleme amacıyla her kaynak pozisyonu için yarı otomatik testereyle ve soğutma sıvısı kullanarak boyutları Şekil 3.3’de gösterilen birer adet numune hazırlandı. Hazırlanan numunelerin her biri 600, 800 ve 1000 meshlik zımpara ile her defasında zımparalama yönü değiştirilerek zımparalandı ve partikül boyutu 1  $\mu\text{m}$  olan alümina ile parlatma diskinde parlatıldı. Ayna parlaklığına getirilen numuneler Nital 2 (%2 nitrik asit + %98 etil alkol) çözeltisi ile dağlanarak mikro yapılar ortaya çıkartıldı. Mikro yapı fotoğrafları sırasıyla her numune için ana metal, ısıdan etkilenmiş bölge ve kaynak metalinden alınmıştır.

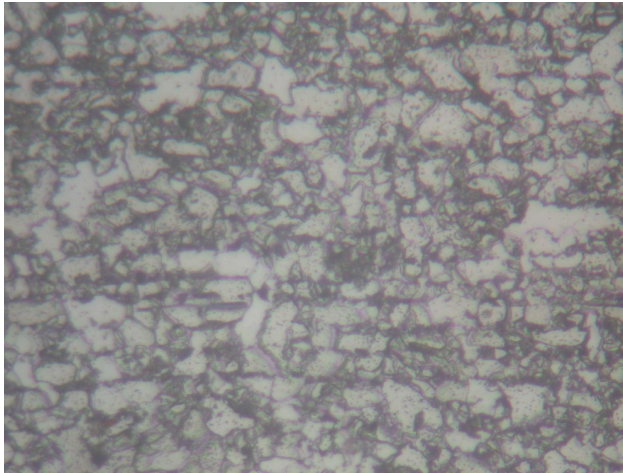


**Şekil 3.3** Mikro-yapı analizi için hazırlanan numune boyutları

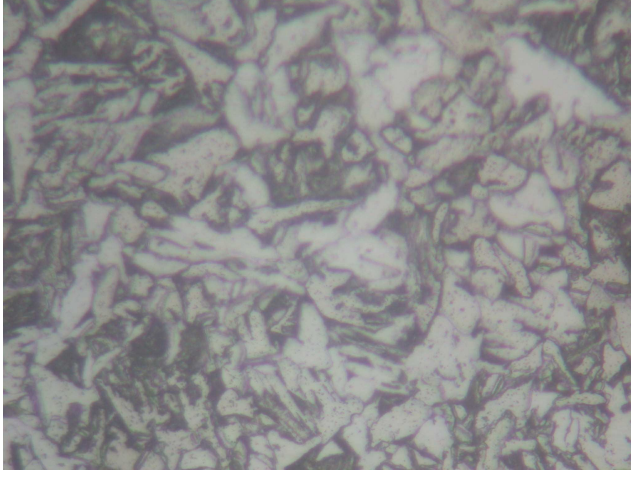
Her üç bölgeden alınan mikro-yapı fotoğrafları Şekil 3.4,3.5,3.6,3.7,3.8,3.9,3.10,3.11,3.12’de verilmiştir.



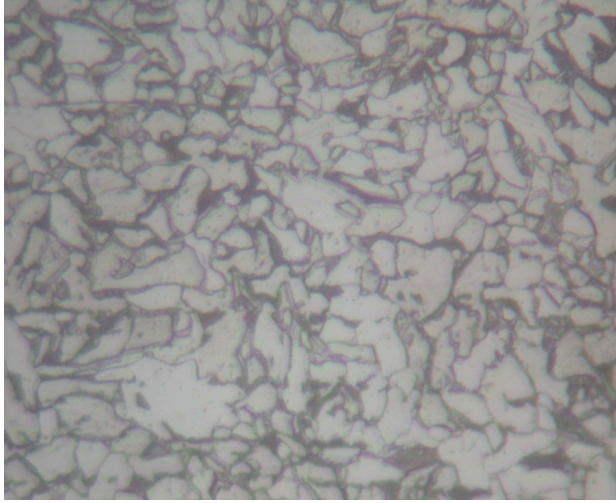
**Şekil 3.4** 1 numaralı numunenin (PA) ana metal mikro yapısı (400 x)



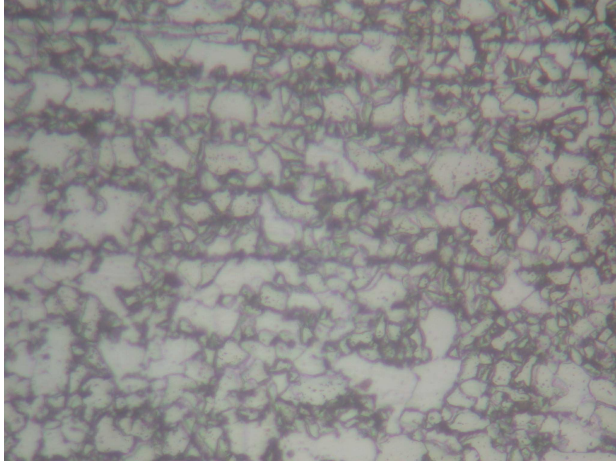
**Şekil 3.5** 1 numaralı numunenin (PA) IEB mikro yapısı (400 x)



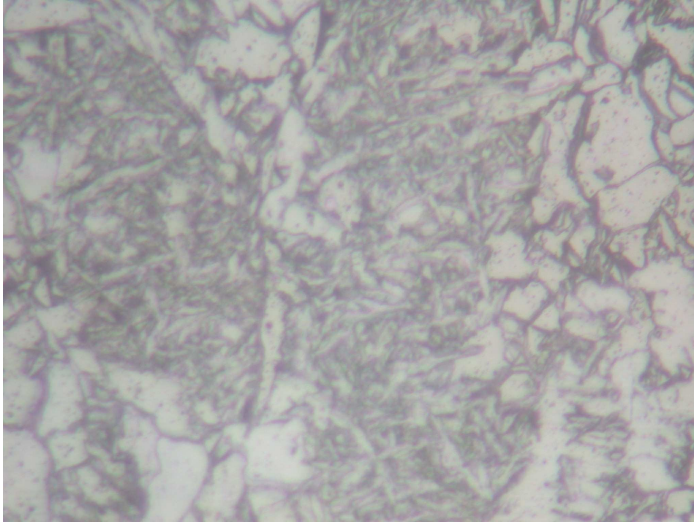
**Şekil 3.6** 1 numaralı numunenin (PA) kaynak metali mikro yapısı (400 x)



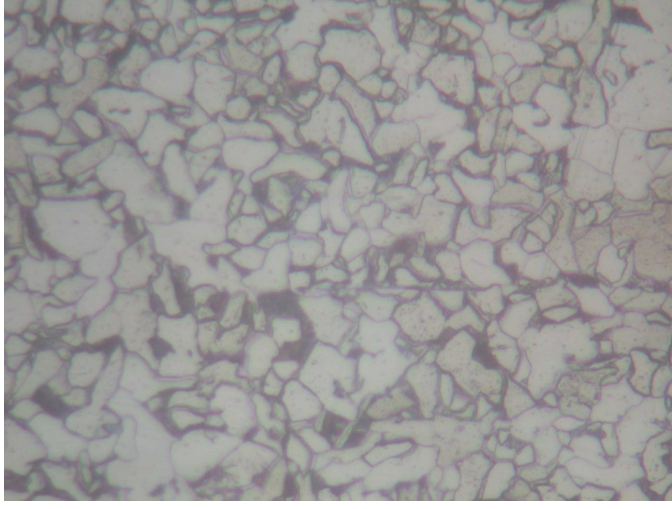
**Şekil 3.7** 2 numaralı numunenin (PF) ana metal mikro yapısı (400 x)



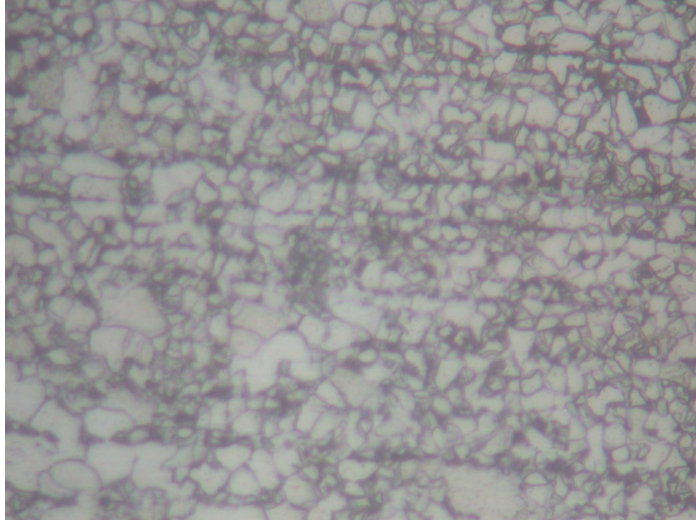
**Şekil 3.8** 2 numaralı numunenin (PF) IEB mikro yapısı (400 x)



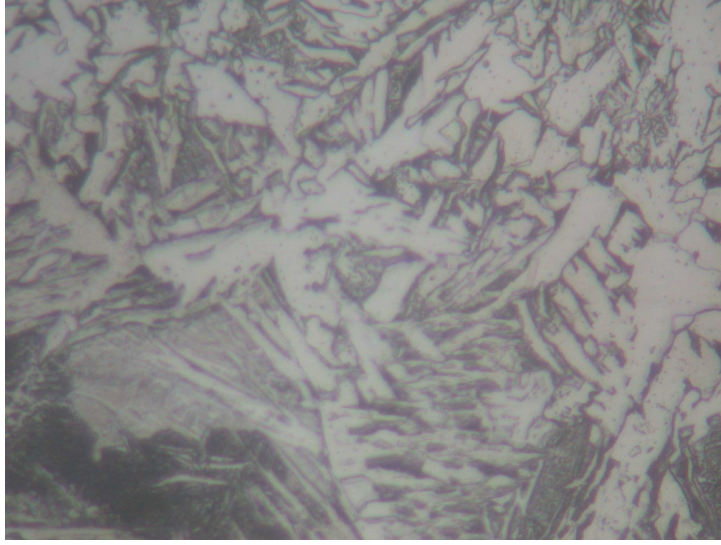
**Şekil 3.9** 2 numaralı numunenin (PF) kaynak metali mikro yapısı (400 x)



**Şekil 3.10** 3 numaralı numunenin (PE) ana metal mikroyapısı(400 x)



**Şekil 3.11** 3 numaralı numunenin (PE) IEB mikro yapısı (400 x)



**Şekil 3.12** 3 numaralı numunenin (PE) kaynak metali mikro yapısı (400 x)

### 3.2.1 Radyografik muayene

Radyografik muayene, kaynak bölgesindeki yüzey altında oluşabilecek gözenek, kalıntı, çatlak ve gaz boşlukları gibi hataları belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynaklı bölgenin içyapısını gözleyebilmek için X-ışını veya Gamma-ışını kullanılır. Kaynak dikişi içerisinde bulunan hataların oluşturduğu yoğunluk farklarının film üzerinde oluşturduğu kontrastlar hata türünün tespitinde belirleyicidir. Vakum altındaki X- ışını tüpü içerisinde yüksek hızdaki elektron demetinin anod olan tungsten parçaya çarptırılmasıyla oluşan X-ışınları incelenecek olan parça üzerine yönlendirilir. Elektrik enerjisiyle çalışan x-ışını makinelerinden farklı enerji seviyelerinde X-ışınları elde edildiğinden film görüntü kalitesi gamma-ışınlarına göre daha iyi olmaktadır. Gamma-ışınları yüzlerce radyoizotopun radyoaktivitesiyle meydana gelir. Yaygın olarak kullanılan radyoizotoplar Kobalt-60, İridium-192, Thulium-170 ve Sezyum-137'dir. Bu izotoplar güvenlik açısından kapsülde veya kurşun

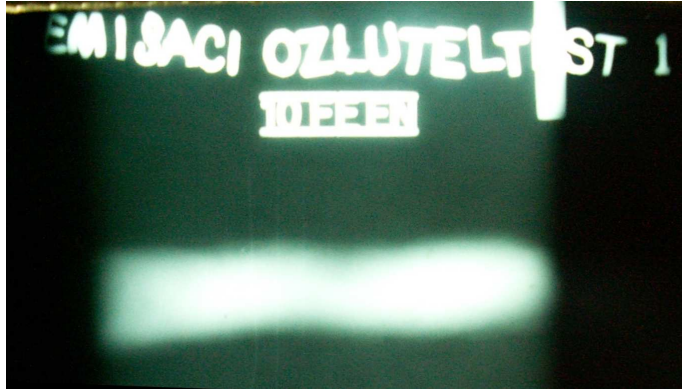
muhafaza içerisinde muhafaza edilir. Yüksek yoğunluk veya kalınlığa sahip malzemeler yüksek nüfuziyet enerjisine sahip gamma ışınları ile muayene edilir. X-ışını ve gama ışını arasındaki en önemli kullanım farkını, oluşan radyasyon güç yoğunluğu belirlemektedir.

Malzeme tarafından soğurulan enerji miktarı malzemenin kalınlığı ve yoğunluğu ile orantılıdır. İnce olan malzemeler kalın malzemelere nazaran daha az, yoğunluğu yüksek olan malzemeler (çelik gibi) yoğunluğu düşük olan malzemelere (alüminyum) göre daha fazla enerji soğururlar.

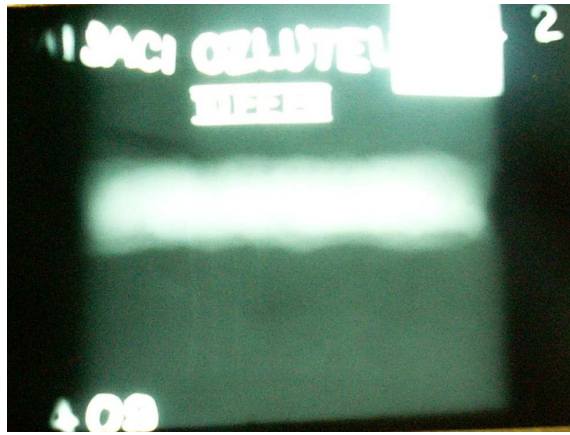
Malzeme tarafından soğrulmayan enerji film üzerine yansır. Bu nedenle enerji kaybına uğrayan bölgeler daha beyaz görünür. Gözenek ve çatlaklar gibi süreksizlikler film üzerinde koyu renkte görünür.

Bu çalışmada PA, PF ve PE pozisyonlarında kaynak edilen numunelerin radyografik filmleri çekilmiştir. Radyografik muayene EN 1435-B / TS EN 12517 standardına uygun olarak kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgeyi kapsayacak şekilde AGFA D5 film (10\*16cm ölçülerinde) kullanılarak ERMA Teknik Malzeme Ltd.Şti. tarafından gerçekleştirilmiştir. FFD mesafesinde 700 mm. uzaklıkta her numune için tek film çekilmiştir. PA için 2,2 , PF ve PE için 2,3 yoğunlukta, görüntü kalitesinin tespiti için 10 FE EN penetrametre kullanılmıştır.

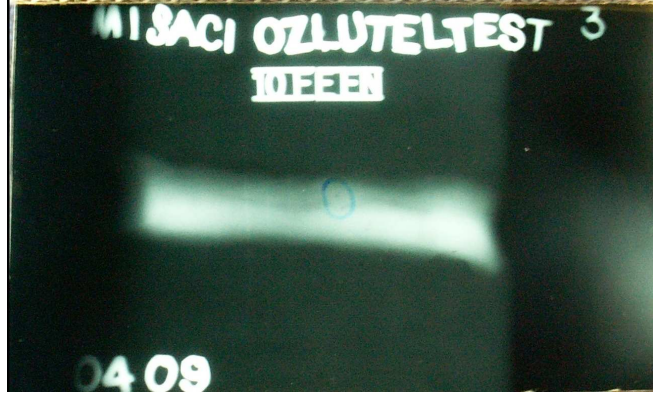
PE pozisyonunda yapılan kaynaklı birleştirmeye ait filmde standardın kabul edilebilir sınırları içerisinde yer alan poroziteye (gözeneklilik) rastlanmıştır. Mekanik testler için hazırlanan test numunelerinin gözenekliliğe rastlanan bölgelerden çıkartılmamasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.13 PA pozisyonunda kaynak edilen numunenin radyografik filmi



Şekil 3.14 PF pozisyonunda kaynak edilen numunenin radyografik filmi



Şekil 3.15 PE pozisyonunda kaynak edilen numunenin radyografik filmi

### 3.3 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

#### 3.3.1 Uygulanan test yöntemleri

##### 3.3.1.1 Vickers sertlik deneyi

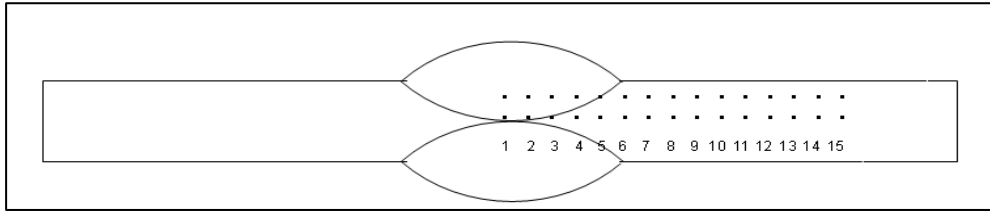
Sertlik bir malzemenin batırıldığı cisme karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Batırılan cismin biçim ve sertliği ile uygulanan yükün değeri ve süresi sertliğin belirlenmesinde kullanılan parametrelerdir. Bu parametrelerin seçimiyle uygulanacak sertlik deneyi yöntemi belirlenmiş olur. Bu çalışmada mikro vickers sertlik deneyi kullanılmıştır.

Bu yöntemde batıcı uç olarak tepe açısı  $136^0$  olan elmas piramit kullanılır. Bu deney yöntemi, universal bir yöntem olup elmasın doğada bulunan en sert malzeme olması nedeniyle tüm malzemelere uygulanabilir. Uygulamada çok küçük yükler (5N) dahi sertlik ölçümünde kullanılır. Belirli bir kuvvetle parça yüzeyine bastırılan elmas ucun yüzeyde oluşturduğu eşkenar dörtgen şeklindeki

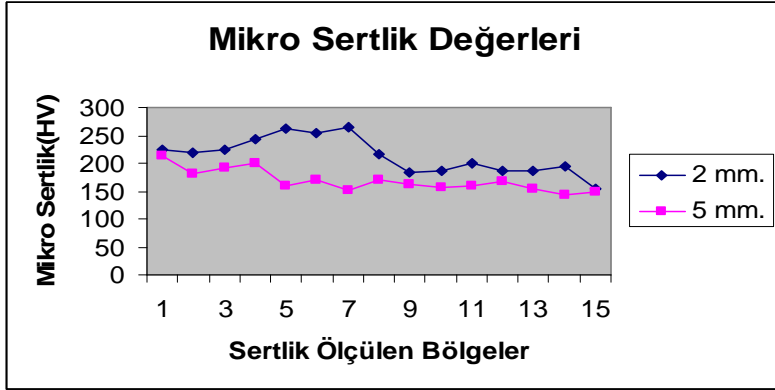
izin köşegenleri mikroskopla ölçülerek sertlik değeri belirlenir. Bu nedenle bu yönteme mikro sertlik deneyi adı da verilir.

Kaynaklı birleştirmelerde kaynak işlemi esnasında malzemenin çok yüksek sıcaklıklara maruz kalıp çok kısa süre içerisinde tekrar soğuması nedeniyle yapısında değişimler gözlenir. Kaynak metali ile ana malzeme arasında oluşan ısıdan etkilenmiş bölgede (IEB) tane yapısındaki değişimlere bağlı olarak daha kırılgen olur.

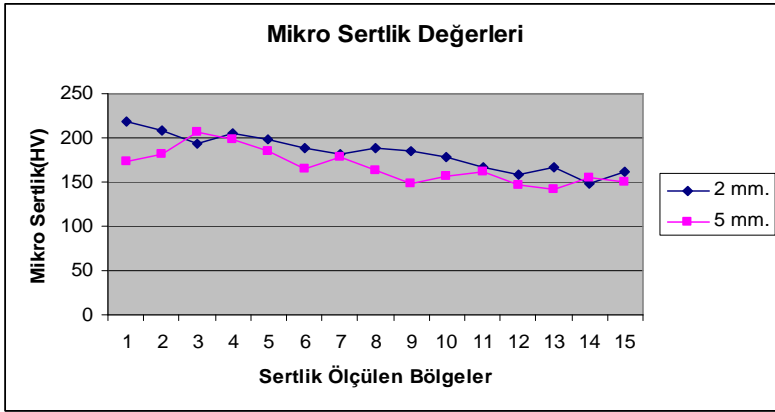
Bu çalışmada: PA PF ve PE pozisyonlarında kaynak edilen parçalardan hazırlanan 3 adet numuneye 5 N yük 10 saniye süreyle şekilde belirtilen noktalardan uygulanmış ve belirtilen bölgeler için sertlik dağılımı aralığı belirlenmeye çalışılmıştır.



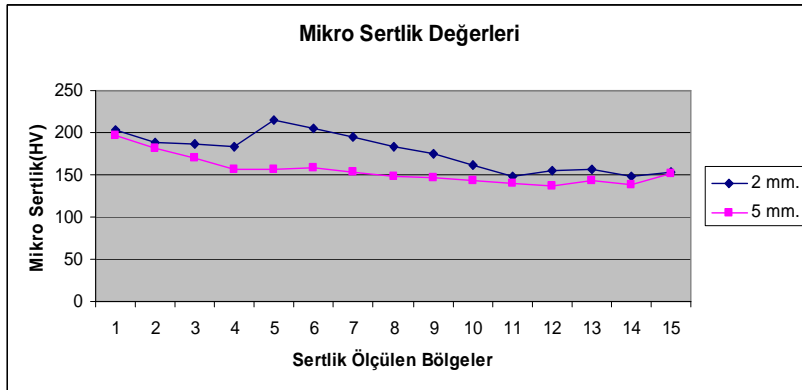
**Şekil 3.16** Sertlik ölçülen bölgeler



Şekil 3.17 PA pozisyonunda birleştirilmiş kaynaklı parçanın sertlik dağılımı



Şekil 3.18 PF pozisyonunda birleştirilmiş kaynaklı parçanın sertlik dağılımı



Şekil 3.19 PE pozisyonunda birleştirilmiş kaynaklı parçanın sertlik dağılımı.

### 3.3.1.2 Çekme Deneyi

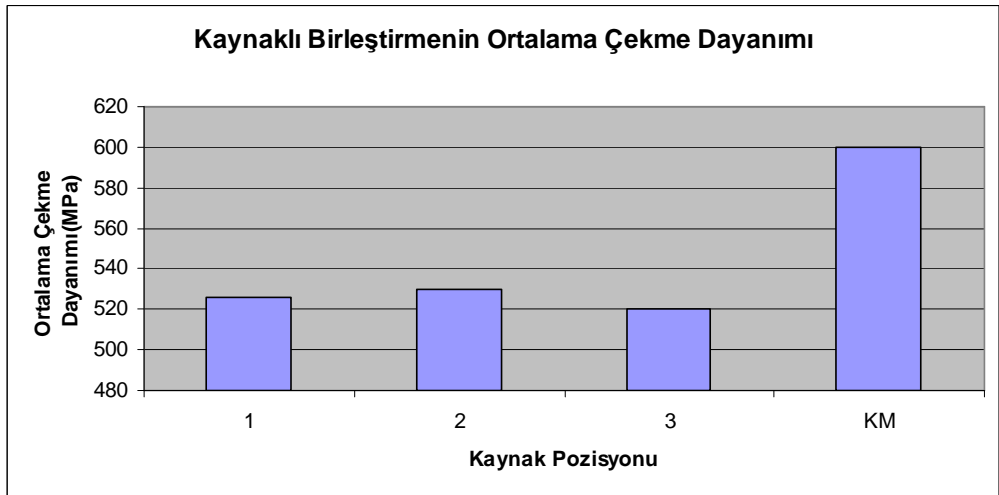
Metaller ve metal alaşımı olan malzemeler mekanik tasarımda en çok tercih edilen malzeme grubunu oluşturmaktadır. Tasarım aşamasında dikkate alınması gereken en önemli özellikleri kullanılan malzemenin dayanım seviyesi ve şekil değiştirebilme kabiliyeti oluşturmaktadır. Bu özelliklerin belirlenmesi amacıyla kullanılan test yöntemi çekme deneyi olarak adlandırılır. Çekme deneyinde hazırlanan çekme numunesi çekme makinesinde tek eksen boyunca uygulanan kuvvet artırılarak kopuncaya kadar çekilir.

Kaynaklı parçalar işlenerek Şekil 3.21 de gösterilen ölçülere getirilmiş ve böylece her kaynak pozisyonu için üçer adet olmak üzere toplam 9 adet çekme deneyi numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca kaynak metali ve ana malzemenin değişik pozisyonlarda birleştirilmiş kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleriyle karşılaştırma yapabilmek amacıyla kaynak metali ve ana malzemedeki de üçer adet çekme çubuğu numunesi hazırlanmıştır.

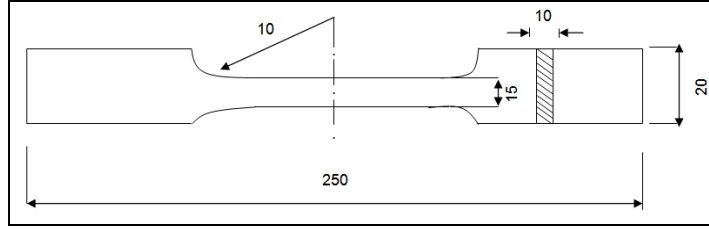
Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi EN 10024:2004 3.1 standartına uygun olarak WOLPERT marka universal çekme cihazıyla yapılmış olup elde edilen çekme dayanımı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5** Özlü tel elektrodla kaynak edilmiş numuneler ile ana malzeme ve kaynak metalinin çekme deneyi sonuçları

<b>Kaynak Pozisyonu</b>	<b>Ortalama Çekme Dayanımı(MPa)</b>	<b>Kopma Bölgesi</b>
1-PA	526	Ana malzemedен koptu.
2-PF	530	Ana malzemedен koptu.
3-PE	520	Ana malzemedен koptu.
Ana Malzeme	486	-
Kaynak Metali	600	-



**Şekil 3.20** Değişik pozisyonlarda birleştirilmiş kaynaklı parçaların ortalama çekme dayanımları



Şekil 3.21 Çekme çubuğu numunesinin ölçüleri (EN 10024:2004 3.1)



Şekil 3.22 WOLPERT marka 40 kN 'luk üniversal çekme cihazı

### 3.3.1.3 Çentik darbe deneyi

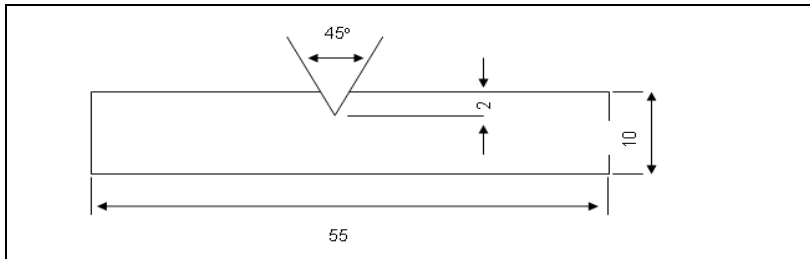
Normal şartlar altında sünek olan malzemeler bazı durumlarda gevrek davranış gösterebilir. Düşük sıcaklıklarda zorlanma ve darbe uygulanmasına ilave olarak yapıda çentik bulunması durumlarının bir veya birkaçının ortak etkimesi sonucu malzeme gevrek davranış eğilimi göstermektedir. Malzemenin sünek-gevrek geçiş sıcaklığının mümkün olduğu kadar kullanım sıcaklıklarıyla çakışmamasına dikkat edilmelidir. Bu geçiş sıcaklığının en düşük seviyelerde tutulması hedeflenir.

Sünek malzemelerin gevrek kırılma eğilimlerini ölçmek amacıyla Charpy testi uygulanmaktadır. Belli bir potansiyel enerjiye sahip kütle V çentik açılmış numuneye çarptırılıp numunenin kırılması için gereken enerji (kırma enerjisi) saptanır.

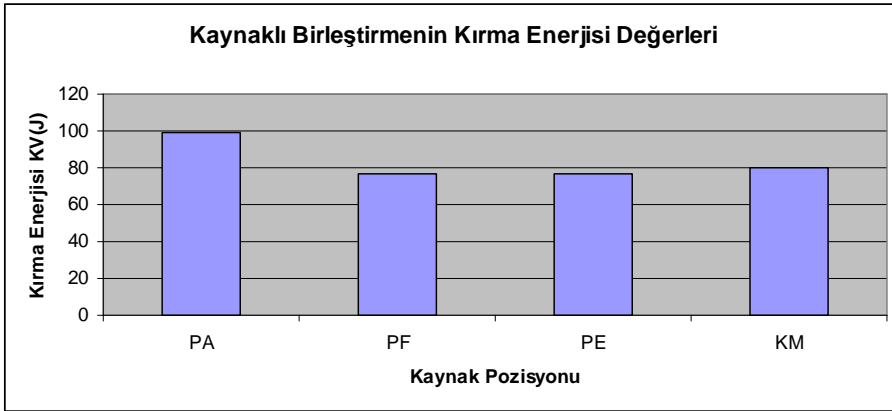
Bu çalışmada her kaynak pozisyonu için 3'er adet çentik darbe deney örneği Şekil 3.23 de belirtilen ölçülere uygun olarak hazırlanmıştır. Her pozisyon için hazırlanan bu numunelerin ayrı ayrı çentik darbe dayanımları belirlenmiş ve ortalama değerleri alınmıştır. Deney numuneleri CO<sub>2</sub> ortamında soğutulmuş ve -20°C de kırma enerjileri belirlenmiştir.

**Çizelge 3.6** Kaynaklı birleştirmelerin Kırma Enerjisi değerleri

Kaynak pozisyon	Çentik Geometrisi	Deney Sıcaklığı(°C)	Ortalama Kırma Enerjisi(J)
1-PA	ISO-V	-20°C	99
2-PF	ISO-V	-20°C	77
3-PE	ISO-V	-20°C	77
Kaynak Metali	ISO-V	-20°C	80



**Şekil 3.23** Çentik darbe deneyi numune ölçüleri



**şekil 3.24** Değişik pozisyonlarda birleştirilmiş kaynaklı parçaların kırma enerjisi değerleri



**şekil 3.25** WOLPERT marka 300 J'luk çentik darbe deneyi cihazı

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada gemi saclarının özlü tel elektrod ile kaynağında kaynaklı birleştirmenin dayanım ve mikro yapı özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde; tüm numunelerde kopma işleminin ana malzemedan gerçekleştiği görülmüştür. Bununla beraber tüm kaynaklı numunelerden elde edilen çekme dayanımı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Kaynaklı birleştirmelerden elde edilen çekme dayanımı değerlerinin, kaynak metalinden elde edilen çekme dayanımı değerinden daha düşük olduğu da görülmektedir. Sonuç olarak, çalışma konusunu oluşturan özlü tel elektrod ile S235 JR çeliğinin yapılan pozisyon kaynaklarında kaynaklı birleştirmelerin her zaman standartların öngördüğü koşulları sağladığı ve emniyetli olduğu saptanmıştır.

2. Sertlik değerleri incelendiğinde; yüzeye yakın 2 mm derinlik için ölçülen sertlik değerlerinin 5 mm derinlikte yapılan ölçülen sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, pasolar arası sıcaklığın kontrol edildiğini ve ölçülen sertlik değerlerinin IIW tarafından önerilen sınırların altında olduğunu göstermektedir.

3. Kırma enerjisi değerlerinin hem pozisyon kaynakları için ve hem de kaynak metali için standardın öngördüğü 47 J (-20 °C 'de) değerinden yüksek olduğu, kaynaklı birleştirmelerin dinamik zorlamalara karşı emniyetli olduğu saptanmıştır.

4. Radyografik muayene sonuçlarına bakıldığında 1-PA ve 2-PF numunelerinin standartlar içerisinde olduğu ve herhangi bir kaynak hatasının bulunmadığı görülmüştür. 3-PE numunesinde ise kabul edilebilir sınırlar içerisinde

porozite (gözeneklilik) olduğu saptanmıştır. Oluşan porozitenin kaynakçı hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. Mikro-yapı fotoğrafları incelendiğinde: 1-PA numunesinde ısıdan etkilenmiş bölgenin ana metale kıyasla daha ince bir tane yapısına sahip olduğu, kaynak metalinin ise daha iri taneli olduğu görülmektedir. 2-PF ve 3-PE numunelerinde ısıdan etkilenmiş bölgenin ana metale nazaran daha ince tane yapısına sahip olmasına rağmen, kaynak metalinde WIDMANNSTAETTEN içyapısının olduğu görülmektedir. Bu içyapı oluşumunda yumuşak ferrit levhaları ile sert perlit kolonileri birbiri içerisine girmektedir bu nedenle bu yapının olduğu bölge ana metale nazaran daha sert ve kırılgan olmaktadır. Bu yapının oluşum nedeni soğuma hızının yüksek olmasıdır. Bu içyapının oluşması farklı pasolar arası sıcaklık uygulanması ve sonuçlarının incelenmesiyle önlenebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anık, S., Dikicioğlu A., Vural M.**, 1984, Koruyucu Gaz Altında Kaynak ve Alüminyumun MIG Kaynağı, Kaynak Tekniği Derneği Yayını
- Anık, S., Vural, M.**, 1996, Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), Gedik Eğitim Vakfı, Yayın No:3, İstanbul
- Anon.**,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,
- Asarkaya, M.**, 2006, Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Balraj, V.**, 1989, Solidification and Bead Shape Formation in Flux Cored Arc Welding in V Grooves, National Welding Seminar Proceedings, Indian Institute of Welding, 16: 1-10
- Carry, H.B.**, 1998, Modern Welding Technology 4 th.Ed. Prentice Hall
- Carry, H.B.**, 1989, Modern Welding Technology, Prentice Hall
- Ceyhun,V., Elöve,D., Tathses,B., Tunca, İ.**, 2007, AWS A5.20 (E71T-1) Özlü Tel Elektrod ve CO<sub>2</sub> Koruyucu Atmosferde Alın Kaynağı Yapılmış S355 (St 52) Sacının Kaynak Sonrası Mikroskobik ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Metal Dünyası, Haziran, 116-119

**KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)**

- Eryürek, B.**, 1998, Gazaltı(MIG/MAG) Kaynağı, İstanbul, As Kaynak Yayınları
- Gülsöz, A.**, 2000, Özlü Tel Elektrodların Önemi ve Kaynak Özellikleri, Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı, Eylül, 35-40
- Güner, M.**, 2007, Mag Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel – Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Jeffus, L.**, 2004, Welding Principles and Applications, Fifth Edition, 275-293
- 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
- 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
- Morimoto, T.**, 2005, Developments in Flux-cored Wire for Gas-shielded Arc Welding, Kobelco Technology Review No. 26
- Sönmez, İ.**, 2000, Özlü Elektrodla Kaynakta Ayrı Gaz Nozulları Kullanımının Kaynak Dikişine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

**KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)**

**Tülbentçi,K.**, 1990, Mıg-Mag Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, İstanbul, Gedik Holding Yayınları

**Tülbentçi, K.**, 1998, MIG-MAG Kaynak Yöntemi, Arcotech Yayın No:2, İstanbul

**Vaidya, V.V.**, 1989, Flux Cored Arc Welding Wires –Factors Affecting Selection, Canadian Welder and Fabricator, November, 19-24



## ÖZGEÇMİŞ

09.02.1979 İstanbul doğumlu, lise ve lisans öğrenimini Deniz Lisesi ve Deniz Harp Okulunda tamamladı. Deniz Kuvvetlerinin muhtelif gemilerinde branş subaylığı ve baş çarkçılık yapmıştır.

Evli olup, İngilizce ve Almanca bilmektedir.

Müh. Umut SÖNMEZ