

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**P235GH VE P265GH KAZAN SAÇLARININ E71T-1MH4  
METAL ÖZLÜ TEL ELEKTRODLA KAYNAĞINDA KAYNAK  
PARAMETRELERİNİN BİRLEŞTİRMENİN DAYANIM VE  
MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Deniz ÜNSÜR**

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

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu: 625.02.00.**

**Sunuş Tarihi: 20.01.2012**

**Bornova-İZMİR  
2012**



**Deniz ÜNSÜR** tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak sunulan “**P235GH ve P265GH Kazan Saclarının E71T-1MH4 Metal Özlü Tel Elektrodla Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Birleştirmenin Dayanım ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi**” 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 20./01./2012. tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/ oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri****İmza**

**Jüri Başkanı** : Prof. Dr. Vural CEYHUN .....

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Özler KARAKAŞ .....

**Üye** : Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEN .....



## ÖZET

### **P235GH VE P265GH KAZAN SACLARININ E71T-1MH4 METAL ÖZLÜ TEL ELEKTRODLA KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN BİRLEŞTİRMENİN DAYANIM VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

ÜNSÜR, Deniz

Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Vural CEYHUN

Ocak 2012, 49 sayfa

Örtülü elektrod ve tozaltı kaynak yöntemlerinin olumsuz etkilerini ortadan kaldıran ve gazaltı kaynak yönteminin üstünlükleriyle birleştiren özlü tel elektrodla gazaltı kaynak yöntemi günümüz makina imalat endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada 10 mm kalınlığında P235GH ve P265GH basınçlı kap çeliği sac levhalara 60° X-kaynak ağızı açılmış ve PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> ve karışım koruyucu gaz ortamında, E 71 T-1MH4 metal özlü tel elektrodla, pasolar arası sıcaklık sabit tutularak, alın kaynağı yapılmıştır. Kaynaklı birleştirilen parçaların dayanım ve mikroskobik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sertlik, çekme, kırma enerjisi (çentik darbe) dayanımlarıyla beraber radyografik muayeneleri ve son olarak ta mikroskobik incelemeleri yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda farklı kaynak parametrelerinde elde edilen çekme dayanımları ve kırma enerjisi değerlerinin de farklı olduğu saptanmıştır. Sertlik değerlerinin IIW tarafından belirtilen sınırların altında olduğu belirlenmiştir. Radyografik muayene sonucunda ; karışım gazı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgesinde porozite (gözeneklilik) olduğu görülmüştür. Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde; PA alın kaynaklı numunelerinde hızlı soğuma nedeniyle kaynak metalinde Widmanstaetten içyapısının olduğu tespit edilmiştir. Bu içyapının olduğu bölgeler sert ve gevrek bir yapı gösterir.

**Anahtar Sözcükler:** P235GH, P265GH, Özlü Tel Elektrodlar, Metal Özlü Tel Elektrod, Gazaltı Kaynak Yöntemleri, Özlü Telle Kaynak Yöntemi,



**ABSTRACT****THE EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON THE  
MICROSTRUCTURAL PROPERTIES AND DURABILITY IN THE FLUX  
CORED ARC WELDING OF P235GH AND P265GH TYPES OF  
PRESSURE VESSEL STEELS**

ÜNSÜR, Deniz

MSc in Mechanical Engineering  
Supervisor: Prof. Dr.Vural CEYHUN

January 2012, 49 pages

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, P235GH and P265GH steel plates with 10 mm thickness have been welded 60° X and butt welded on PA welding position, in a CO<sub>2</sub> and mix gas protective environment, with E 71 T-1MH4 metal based flux cored arc welding electrode, and heat input kept stable. Hardness, tensile test, impact energy strength (Charpy impact test) and radiographic and microscopic investigations were carried out in order to define the strength and microscopic properties of the welded specimens.

As a result of these investigations, tensile strength and impact energy values have been obtained for different welding parameters. Hardness values were between limits set by IIW. The results of radiographic tests, the porosities were observed for specimens welded on PA welding positions with mix gas. As a result of fast cooling Widmanstaetten microstructure were observed in weld metal. This interior structure regions made weld metal to be hard and brittle.

**Keywords:** P235GH, P265GH, Flux Cored Arc Welding Electrodes, Metal Based FCAW Electrodes, Gas Metal Arc Welding, Flux Cored Arc Welding Technique.





## TEŞEKKÜR

Lisans eğitimim, kaynak mühendisliği eğitimim, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince çok değerli önerileri ile katkıda bulunan, özel hayatım ve iş hayatımda manevi desteğini asla esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Vural CEYHUN'a sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Kaynak mühendisliği eğitimim, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince çok değerli önerileri ve manevi desteği ile katkıda bulunan hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN'a sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmam esnasında yardımları ve destekleri için Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş. , KMS Endüstri Makine Metal San. ve Tic.Ltd.Şti. ve END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. ' ne teşekkürü bir borç bilirim.

Yaşamımın tüm aşamalarında olduğu gibi yüksek lisans tez aşamamda da maddi manevi her türlü katkıyı sağlayan annem, babam ve anneanneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deniz ÜNSÜR

İzmir ,2012



**İÇİNDEKİLER****Sayfa**

ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR .....	4
3. ÖZLÜ TEL ELEKTRODLAR ve KAYNAĞI .....	6
3.1. Özlü Tel Elektrodların Üretimi .....	6
3.2. Özlü Tel Elektrodu Oluşturan Öz Maddeleri .....	7
3.3. Özlü Tel Elektrodların Standartları .....	10
3.4. Özlü Tel Elektrodla Kullanılan Koruyucu Gazlar, Gaz Karışımları ve Temel Özellikleri .....	12
3.5. Gazlar, Nüfuziyet ve Kaynak Dikişinin Biçimi .....	13
3.5.1. Asal gazlar .....	13
3.5.2. Karbondioksit .....	13
3.5.3. Karışım gazlar .....	14
3.6. Özlü Tel Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Ekipmanları .....	14
3.7. Özlü Tel Elektrodla Kaynakta Kaynak Yöntemleri ve Birleştirme Şekilleri .....	17
3.8. Özlü Tel Elektrodla Kaynağın Avantajları, Dezavantajları ve Temel Uygulama Alanları .....	19

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	22
4.1. DeneYlerde Kullanılan Malzeme ve Donanım Özellikleri.....	22
4.1.1. Ana metal.....	22
4.1.2. Kullanılan elektrod (İlave malzeme).....	23
4.1.3. Koruyucu gaz.....	24
4.1.4. Kaynak makinası.....	24
4.2. Kaynak İşlemi.....	25
4.3. Uygulanan DeneYler.....	26
4.3.1. Mikroyapı özelliklerinin belirlenmesi.....	27
4.3.2. Radyografik muayene.....	31
4.3.3. Mekanik özelliklerin belirlenmesi.....	33
5. SONUÇLAR.....	41
5.1. Radyografik Muayene.....	41
5.2. Çekme DeneYi.....	41
5.3. Çentik Darbe DeneYi.....	42
5.4. Mikro Sertlik DeneYi.....	43
5.5. Mikroyapı Özelliklerinin Belirlenmesi.....	43
6. İRDELEME.....	45
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
1.1. Özlü tel elektrodlarla basınçlı kapların kaynağı .....	3
3.1. Özlü tel elektrodla kaynakta ark bölgesi .....	6
3.2. Özlü tel üretimi .....	7
3.3. Özlü elektrodla kaynak donanımı .....	14
3.4. İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması .....	15
3.5. Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması .....	16
3.6. ISO 6947/EN 287 ve ASME standartlarına göre kaynak pozisyonlarının gösterim .....	18
3.7. Özlü tel elektrodla kaynak yöntemi için kaynak bağlantı tasarım detayları .....	19
4.1. OERLIKON GKS 500 kaynak makinası .....	24
4.2. Kaynaklı birleştirilen numunenin boyutları .....	25
4.3. Kaynaklı birleştirilen parçadan deneyler için alınan örnekler ve yerleri .....	26
4.4. Mikroyapı analizi için hazırlanan numune boyutları .....	27
4.5. PA kaynak pozisyonunda, CO <sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş 1 numaralı numuneye ait örnekler .....	28
4.6. PA kaynak pozisyonunda, CO <sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş 1 numaralı numuneye ait örnekler .....	29
4.7. PA kaynak pozisyonunda, Karışım gaz koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş 1 numaralı numuneye ait örnekler .....	30

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.8. PA pozisyonunda CO <sub>2</sub> koruyucu gazla kaynak edilen 1 nolu numunenin radyografik filmi .....	32
4.9. PA pozisyonunda CO <sub>2</sub> koruyucu gazla kaynak edilen 2 nolu numunenin radyografik filmi .....	32
4.10. PA pozisyonunda karışım koruyucu gaz kullanılarak kaynak edilen 3 nolu numunenin radyografik filmi .....	32
4.11. Sertlik ölçülen bölgeler .....	33
4.12. PA kaynak pozisyonunda, CO <sub>2</sub> gaz koruması altında, kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş (1 Nolu Numune), CO <sub>2</sub> gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (2 Nolu Numune) ve karışım gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (3 Nolu Numune) kaynaklı parçaların sertlik dağılımı.....	34
4.13. Çekme çubuğu numunesinin ölçüleri (EN 10024:2004 3.1).....	35
4.14. WOLPERT marka 40 kN 'luk universal çekme cihazı.....	35
4.15. PA kaynak pozisyonunda, CO <sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait örnekler .....	36
4.16. PA kaynak pozisyonunda, CO <sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait çekme eğrisi örnekleri .....	37
4.17. PA kaynak pozisyonunda, karışım gaz koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait çekme eğrisi örnekleri .....	38

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.18. Çentik darbe deneyi numune ölçüleri .....	40
4.19. Değişik parametrelerle birleştirilmiş kaynaklı parçaların kırma enerjisi değerleri .....	40
4.20. WOLPERT marka 300 J'luk çentik darbe deneyi cihazı .....	40
5.1. PA kaynak pozisyonunda, CO <sub>2</sub> gaz koruması altında, kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş (1-Nolu Numune), CO <sub>2</sub> gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (2-Nolu Numune) ve karışım gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (3-Nolu Numune) kaynaklı parçaların sertlik dağılımı .....	43
5.2. Widmannstaten Ferriti .....	44

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. Özlü tel elektrodu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri .....	7
3.2. Öz maddelerinin sınıflandırılması ve kaynak özellikleri .....	8
3.3. MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler .....	9
3.4. EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri .....	10
3.5. Özlü tel elektrodu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri .....	11
3.6. Aktif ve soy gazların özellikleri.....	12
3.7. Özlü tel elektrodla kaynak edilebilir metaller.....	21
4.1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi. ....	22
4.2. Ana Malzemenin mekanik özellikleri .....	23
4.3. Metal özlü tel elektrodun kimyasal bileşimi .....	23
4.4. Kaynak metalinin mekanik özellikleri .....	23
4.5. Kaynak parametreleri.....	25
4.6. Özlü tel elektrodla kaynak edilmiş numuneler ile ana malzeme ve kaynak metalinin çekme deneyi sonuçları .....	35
4.7. Kaynaklı birleştirmelerin kırma enerjisi değerleri .....	39
5.1. Ana metal ve kaynaklanan numunelere ait mekanik değerler. ....	41
5.2. Kaynaklı birleştirmelerin kırma enerjisi değerleri .....	42



**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<i>Ar</i>	Argon
<i>He</i>	Helyum
<i>SiO<sub>2</sub></i>	Silisyumdioksit
<i>TiO<sub>2</sub></i>	Titanyumdioksit
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	Zirkonyumdioksit
<i>CO</i>	Karbonmonoksit
<i>CaO</i>	Kalsiyummonoksit
<i>FeO</i>	Demiroksit
<i>H<sub>2</sub></i>	Hidrojen
<i>N<sub>2</sub></i>	Azot
<i>O<sub>2</sub></i>	Oksijen
<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
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

Dünyada ve ülkemizde makina imalat endüstrisinde kaynaklı imalat yöntemlerinin önemli bir yeri vardır. Kaynaklı imalat yöntemleri diğer imalat yöntemleriyle kıyaslandığında otomotiv, makina imalat endüstrisi gibi endüstrilerde yaklaşık %75 ila % 80 oranında pay sahibidir. Ergiyen sonsuz tel elektrodun kullanıldığı, koruyucu gaz altında gerçekleşen ark kaynak yöntemi GMAW diğer kaynak yöntemlerine oranla kullanım ve maliyetler yönünden avantajlı olduğundan yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Koruyucu gazla kaynak olarak bilinen yöntem ilk kez 1926 yılında Alexander yöntemi adıyla uygulanmaya başlamıştır. (Güral, 2003) Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı fikri 1920 'lere dayanmasına rağmen yöntem ancak 1948 'de ticari olarak kullanılmaya başlamıştır.

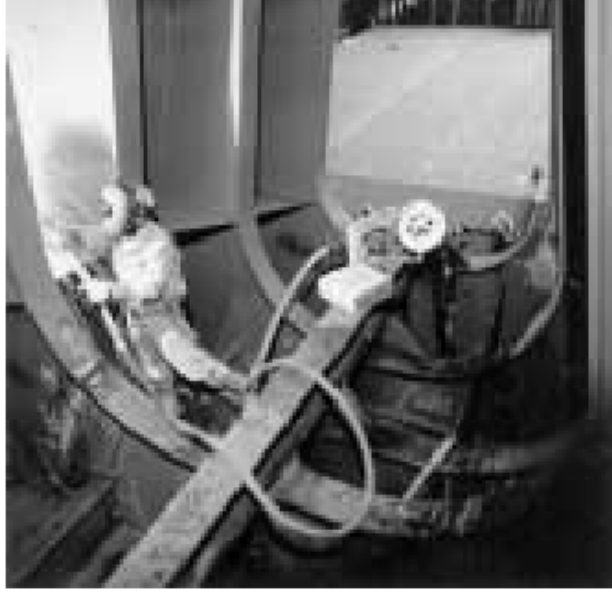
Kullanılan koruyucu gaz türüne göre yöntem MIG ve MAG olarak isimlendirilmektedir. Her iki yöntemin kullanılan gaz hariç, donanımları birbirleriyle aynıdır. Yöntem sürekli beslenen bir tel elektrodla yarı otomatik olarak uygulanmaktadır ve tam otomasyona oldukça yatkındır. Yöntem ticari metal ve alaşımlarının tümünün kaynağında kullanılabilen yegane ergiyen elektrodla kaynak yöntemidir. Elektrik ark kaynağında karşılaşılan sınırlı elektrod boyu problemi sonsuz tel elektrodla çözülmüştür bu sayede hiç durmadan uzun kaynak dikişleri çekilebilir. Elektrik ark kaynağına nazaran yüksek olan metal yağma hızı nedeniyle daha verimli bir kaynak yöntemidir ve her pozisyonda kullanılabilir. Ancak kaynak donanımı elektrik ark kaynağındakinden çok daha karmaşık ve pahalıdır ve kaynak arkını koruyan koruyucu gaz hava akımlarından korunmalıdır.

GMAW kaynak yönteminde kaynak torcu, torç bağlantısı, kumanda ve kontrol tertibatı, güç ünitesi, koruyucu gaz sistemi, tel sürme mekanizması var ise sulu soğutma sistemi ve yine kullanılıyor ise otomasyon sistemleri kullanılan ekipmanlardır.

Sonsuz tellerin kullanıldığı yöntemlerle gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde önemli ölçüde güç artışı sağlanmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları gazaltı ve

tozaltı kaynak yöntemleridir. Örtülü çubuk elektrodlarla yapılan kaynakta mekanizasyon derecesi ve buna bağlı olarak güç artırımı, dışta bulunan örtü ve elektrod uzunluğu nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Örtülü çubuk elektrodlarla yapılan kaynak, elektrodların sınırlı akım yüklenebilirliklerine bağlı olarak ergime gücünün rölatif olarak düşük olması, sık elektrod değiştirilmesiyle ortaya çıkan zaman kaybı ve elektrod artıklarının kullanılmamasından doğan malzeme kaybı nedeniyle ekonomik olmamaktadır. Ters elektrod olarak da adlandırılan ve örtülü elektrodteki örtü bileşenlerinin elektrod içine taşınmasıyla oluşturulan özlü teller 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 çubuk elektrodlarla yapılan kaynağa nazaran daha ekonomik olmaktadır. Bu nedenle de gelecekte gittikçe artan miktarlarda örtülü çubuk elektrodların yerini alması beklenmektedir. (Gülsöz, 2000) Yüksek üretim verimliliği ve kolaylığının yanında daha az gözeneklilik ve kaynak hatası verme gibi avantajları nedeniyle özlü tel kaynak teknolojisi son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan ve geliştirilen bir teknoloji durumuna gelmiştir.

Üretimi diğer kaynak tellerine nazaran daha farklı ve kompleks olan özlü kaynak teli ince çelik bantların kıvrılarak boru şekline getirilip içerisine cüruf oluşturucu, gaz oluşturucu, alaşım elementleri ve deoksidanlar gibi maddelerin karışımıyla oluşturulan ve öz diye adlandırılan toz halindeki çeşitli bileşenlerin doldurulmasıyla imal edilir. Özlü tel elektrodlar kesit formundan bağımsız olarak kendinden korumalı özlü teller ve gaz korumalı özlü teller olarak iki guruba ayrılabilceği gibi içerdiği öze bağlı olarak rutil, bazik veya metal özlü olarak üçe ayrılabilir. Özlü tel elektrodlar yüksek ergime hızına sahip olduklarından daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler. Uygun bileşimde özlü tel elektrodlar kullanılarak her pozisyonda kaynak yapılabilir. Örtülü elektrod ve MIG-MAG kaynak yöntemlerinin üstün özelliklerine sahiptir.



Şekil 1.1. Özlü tel elektrodlarla basınçlı kapların kaynağı (Morimoto, 2005)

## 2. LİTERATÜR

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 elektrod 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.

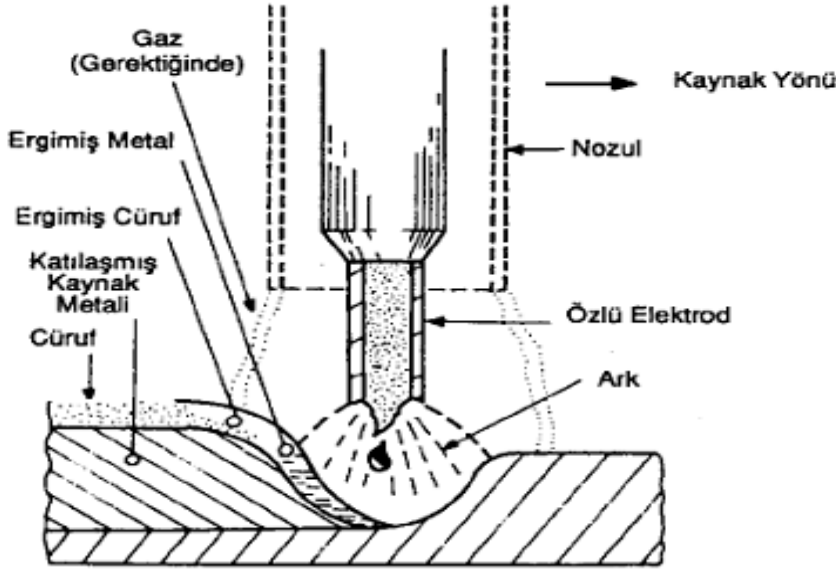
Karaman, F. (2002) “Masif ve Özlü Tel ile Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışmasında rutil özlü, bazik özlü tel ve masif teller ile yapılan kaynak dikişlerinin statik ve dinamik mukavemetleri, kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkilerini incelemiştir. 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.

Güner, M. (2007) hazırladığı yüksek lisans tezi’nde, MAG kaynağında elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisini incelemiştir. Deneysel 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 yapılandır 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 numunelerin nüfuziyetinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Sönmez U. (2010), hazırladığı yüksek lisans tezi'nde 10 mm kalınlığında St 37-2 (S235 JR) çelik sac levhalara 600 kaynak ağızı 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.

### 3. ÖZLÜ TEL ELEKTRODLAR ve KAYNAĞI



Şekil 3.1. Özlü tel elektrodla kaynakta ark bölgesi (Tülbentçi, 1990)

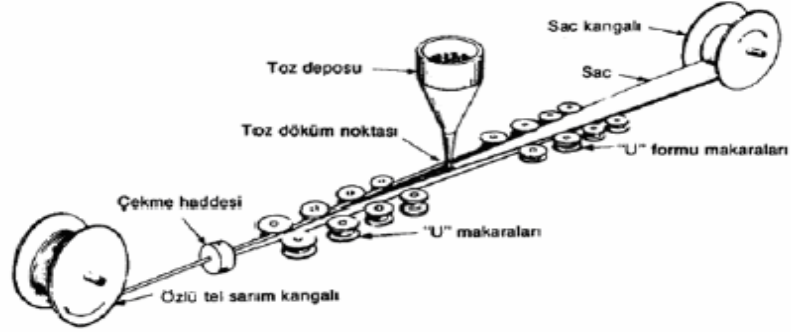
#### 3.1. Özlü Tel Elektrodların Üretimi

Özlü elektrodların üretimi kenetli tip ve boru tipi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Kullanılacak şerit ya da boru kaynatılacak olan malzemeye bağlı olarak istenilen alaşımdan seçilir ve istenilen bileşimde öz kullanılır. 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 makineleri bulunmaktadır.

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.

Teller üretim esnasında değişik oranlarda tel çekme süreçleri ile diğer kaynak telleri gibi istenen çaplara getirilir ve özün tel boyunca eşit ölçülü homojen bir dolgu sağlaması için dozaj cihazı kullanılmalıdır.





Şekil 3.2. Özlü tel üretimi (Cary, 1998)

### 3.2. Özlü Tel Elektrodu Oluşturan Öz Maddeleri

Özlü teller rutil, bazik ve metal özlü olmak üzere üç temel tipe sahiptir. Rutil karakterli özlü teller yumuşak ark karakteristiği, yüksek kaynak kabiliyeti, kolay cüruf kalkışı ve güzel dikiş formuna sahiptirler ve her pozisyonda kaynak yapmaya uygundur. Bazik tip teller yüksek mekanik özellikleri sebebiyle ince taneli ve yüksek dayanımlı çeliklerin kaynağında düz ve yatay pozisyonlarda kullanılabilirler. Metal özlü teller, içerdikleri metal tozları sayesinde yüksek verimliliğe sahiptirler. Sprey ark modunda yatay pozisyonlarda yüksek yığma hızlarına ulaşırlar.

Çizelge 3.1. Özlü tel elektrodu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri

Element	Kullanım şekli	Kullanım Amacı
Al	Metal tozu	Deoksidasyon ve denitrürasyon
B	Ferrobör	Tane oluşumunu teşvik eder
Ca	Fluorspar ( $\text{CaF}_2$ ) ve limestane ( $\text{CaCO}_3$ ) gibi mineraller	Koruma ve cüruf oluşturmak için
C	Grafit Tozu	Sertlik ve dayanımı arttırmak için
Cr	Ferroalyaj veya metal tozu (örneğin Ferrokrom)	Sürünme direnci, sertlik, dayanım ve korozyon dayanımını arttırmak için, alaşımlandırmak amaçlı
Fe	Ferroalyaj ve demir tozu, Sheath (Ferro Mn, Mo)	Demir esaslı dolgularda alaşım matrisi, nikel esaslı ve diğer nonferrous dolgularda alaşım amaçlı
Mn	Ferroalyaj, (ferromangan veya metal tozu)	Deokside, mangan sülfür (sülfide) oluşturmak için sülfür ile birleşerek sıcak yırtılmayı engellemek önlemek, sertliği ve dayanımı arttırmak, cüruf oluşturmak
Mo	Ferroalyaj (FeMo)	Sertliği ve dayanımı arttırmak için alaşımlamak, östenitik paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dayanımlarını arttırmak için

Çizelge 3.1. (devam). Özlü tel elektrodu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri

Element	Kullanım şekli	Kullanım Amacı
Ni	Metal tozu	Sertlik, dayanım, tokluk ve korozyon dayanımını arttırmak için alaşımlamak
K	Mineraller; potassium-bearing feldspars ve fritlerdeki silikatlar (örneğin)	Arkı stabilize etmek ve cüruf oluşturmak
Si	Ferroalyaj; (FeSi) veya silicomanganez ,mineral silikatlar;feldspar (örneğin)	Deoksidasyon ve cüruf oluşturmak
Na	Mineraller; sodyum-bearing silikatlar	Arkı stabilize etmek ve cüruf oluşturma
V	Oksit veya metal tozu	Dayanımı arttırmak
Ti	Ferroalyaj; (FeTi) gibi (örneğin) rutil (titanyum dioksit)	Deoksidasyon ve denitrürasyon, cüruf oluşturmak, bazı paslanmaz çeliklerde karbonu stabilize etmek
Zr	Oksit veya metal tozu	Deoksidasyon ve denitrürasyon, cüruf oluşturmak

Çizelge 2.1'de görülen alaşım elementlerinden Al, Mn, Si, Ti ve Zr deoksidasyon amaçlı kullanılmaktadır. (Jeffus, 2004).

Çizelge 3.2. Öz maddelerinin sınıflandırılması ve kaynak özellikleri (Jeffus, 2004)

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

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)

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 sprey arkı 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 arzulanı alan alaşımlamayı sağlayacak miktar ve türde metal tozları ile çok az miktarda arkı dengeleyen maddeler bulunur. Bu tür özlü elektrotlar ile kaynak sonrası dikiş üzerinde cüruf oluşmadığından pasoları üst üste çekmek olasıdır ve -40 °C ’ye kadar tokluğunu koruyan kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Metal özlü elektrotlar son yıllarda alaşımlı kaplak tel elektrotlara ciddi bir rakip haline gelmişlerdir. (Tülbentçi, 1998)

Çizelge 3.3. MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler (Gülsöz, 2000)

Özlü tel elektrod tipi	EN 758’e Göre Tanıtım Harfi	Mineral Bileşenler	Metallik Bileşenler
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

Özden kaynak bölgesinin mekanik metalurjik ve korozyon dayanımı özelliklerini iyileştirmesi kaynak bölgesini atmosfer gazlarının ( azot, oksijen ve hidrojen) olumsuz etkisinden korumak, arkın oluşumunu kolaylaştırmak ve stabilizasyonunu sağlamak, kaynak dikişini alaşımlandırmak, sıçrantıyı azaltmak

ve cüruf – banyo reaksiyonları ile kaynak banyosundaki yabancı maddelerini en aza indirmesi beklenir.

Özlü elektrodları oluşturan öz maddeleri ve alaşım birleşimleri, örtülü elektrodun farklı olarak elektrodun iç kısmında yer alır. Özün kullanım amacı örtülü elektrodun örtü ile aynıdır. Öz bileşenleri fonksiyonel olarak 5 sınıfa ayrılır. (Vaidya, 1989; Sönmez'den, 2009) Bunlar ; arkı stabilize edenler, deoksidasyonu sağlayanlar, gaz oluşturanlar, cüruf oluşturanlar ve alaşımlama yapanlardır.

### 3.3. Özlü Tel Elektrodların Standartları

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 alaşımlı çeliklerin kaynağı için kullanılan çelik tellere ait hazırlanmış bir standart (TS 5618) bulunmaktadır. Uygulamada bu halin dışında yukarıda belirtildiği gibi DIN ve AWS standartlarına başvurulmaktadır. (Tülbentçi, 1998)

Çizelge 3.4. EN 758'e göre özlü tel elektrod çeşitleri

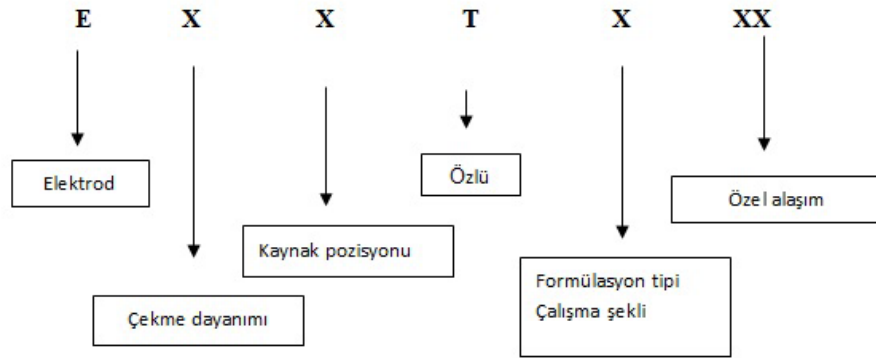
EN 758 – T 46 3 1Ni B M 4 H5	
T	Gazaltı metal ark kaynağı için özlü tel
46	Kaynak metalinin en düşük akma sınırı (N/mm <sup>2</sup> )
3	-30 °C (47 J 'lük en düşük çentik darbe işine ulaşılan sıcaklık)
1 Ni	%1,4 Mn ve %0,6-1,2 Ni
B	Bazik özlü tel elektrod
M	Karışım gaz altında kaynak için uygun
4	Yatay pozisyonda kaynağa uygun
H5	Kaynak metalinde 5 cm <sup>3</sup> /100 g hidrojen değeri aşılmamalıdır.

Özlü tel elektrodların sınıflandırılması yaygın olarak AWS standartlarına göre yapılır. Bunlar; AWS A5.20: Alaşımız 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.

Avrupa normlarına göre ise EN 758 standardı, en düşük akma sınırı 500 MPa 'a kadar olan alaşımız 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)

Alaşımız özlü tel elektrodlar için AWS 5.20 standardı aşağıda gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Özlü tel elektrodu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri



Minimum çekme dayanımı	Gösteriliş	Gaz	Özellikler
Alaşımli elektrodalarda 6-410 MPa 7-480 Mpa 8-550 MPa 11-750 Mpa 12-820 MPa	EXXT-1	CO <sub>2</sub>	Rutil tip düzgün dikişli, genel maksat elektrodu
	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 nüfuziyeti, 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 nüfuziyeti, kendinden korumalı elektrod
	EXXT-7	-	Yüksek verimli, kendinden korumalı elektrod
	EXXT-8	-	Tokluğu artırılmış 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

### 3.4. Özlü Tel Elektrodla Kullanılan Koruyucu Gazlar, Gaz Karışımları ve Temel Özellikleri

Kullanılan koruyucu gazların temel görevi havanın içerisinde bulunan oksijen, hidrojen ve azot gibi gazların kaynak banyosuna etki ederek kaynak metalinde oksit, gözenek ve kırılmalık gibi kaynak hatalarını oluşturmasını engellemektir. Koruyucu gazlar bu görevleri yerine getirirken damla geçişi, kaynak formu ve kaynak metalinin özelliklerini de etkiler. Koruyucu gazlar iyonizasyon özellikleriyle de arkın tutuşması ve ark ısısı üzerinde etkilidir.

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 3.6. 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

Özlü 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 metalurjik özellikler

### **3.5. Gazlar, Nüfuziyet ve Kaynak Dikişinin Biçimi**

Özlü 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)

#### **3.5.1. Asal gazlar**

Asal gazlar genelde alaşımsız düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ark kararsız yandığından tek başına kullanılmazlar. Arkı kararlı kılmak için asal gazlara oksijen ve karbondioksit gazı belli bir oranda karıştırılır. Karıştırılan bu gazlar arkın kararlılığının yanı sıra damla geçişini ve kaynak dikiş formunu da etkilerler.

#### **3.5.2. Karbondioksit**

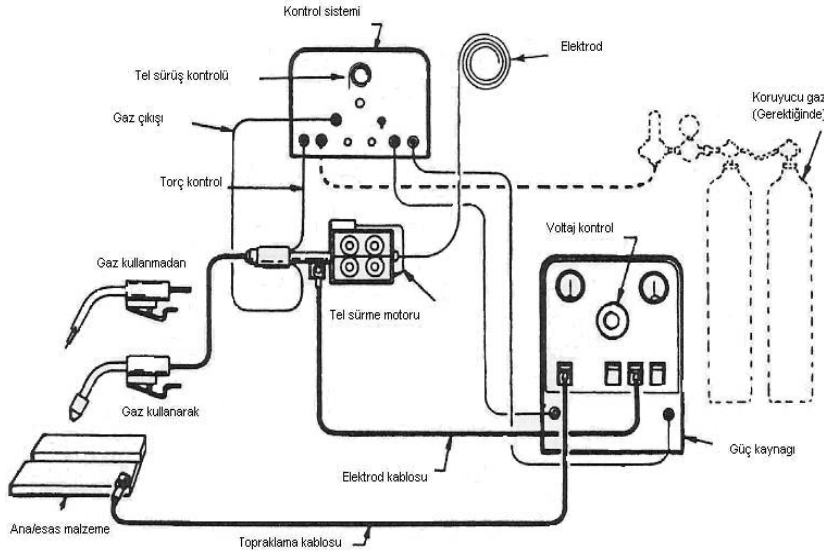
Karbondioksit normal şartlar altında renksiz, kokusuz, zehirsiz, yanmaz bir gazdır. Ancak yapısında bulunan oksijen nedeni ile oksitleyici özelliği mevcuttur. Oksitleyici özelliği gidermek için öz maddesine daha fazla oksidan (Si, Mn ve Al) katılmalıdır. Karbondioksitin kaynak metali üzerinde iki tipte etkisi vardır. Eğer kaynak banyosunda % 0,05'den az karbon içeriği varsa karbonlayıcı, % 0.1'den fazla karbon içeriği varsa karbon giderici rol oynar. FeO oksitleyici karakterdedir ve açığa çıkan CO ise kaynak dikişinde hapsolarak gözenek oluşumuna neden olur. Metal geçişi küresel formda ve aşırı sıçrantılıdır. Bu özelliklerine rağmen diğer gazlara göre ucuzdur ve yüksek kaynak hızı ile derin nüfuziyetli kaynaklar yapmak mümkündür.

### 3.5.3. Karışım gazlar

Hem asal gazların hem de karbondioksitin avantajlarından aynı anda faydalanmak için kullanılırlar. Kaynakla birleştirilecek olan parçanın fiziksel ve metalurjik özelliklerine bağlı olarak gazların karışımı farklı olanlarda seçilebilir. Karışım gaz ile pozisyon kaynağı uygulamaları mümkündür. Saf karbondioksitle korumaya nazaran daha az akışkan bir kaynak banyosu elde edilir. Nüfuziyette elde edilecek daha soğuk kaynak banyosu nedeni ile daha azdır.

### 3.6. Özlü Tel Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Ekipmanları

Özlü tel elektrodla kaynak için 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 3.3. Özlü elektrodla kaynak donanımı (Carry, 1998)

Kaynak makinaları; gaz besleme sistemi, gaz tüpleri, regülatör ve debimetre ile selenoid valf ve torç üzerindeki nozuldan oluşan donanıma sahip gaz korumalı kaynak makinaları ve kendinden korumalı kaynak makinaları olmak üzere ikiye ayrılır.

Özlü tel elektrodla kaynak yönteminde sabit gerilim karakteristikli (CV) yarı otomatik veya otomatik doğru akım kaynak makinaları normalde ters kutuplama (DCEP) ile kullanılır. Bazı durumlarda düşey karakteristikli (CC)



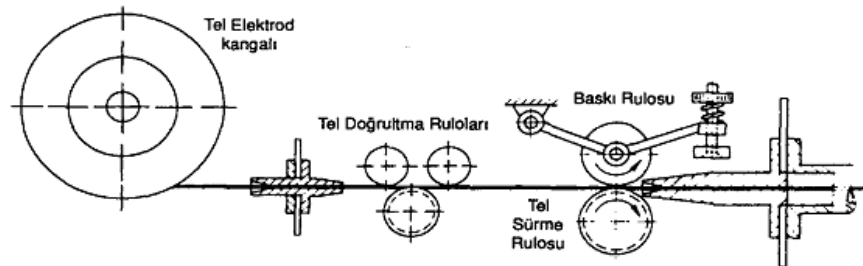
hassas tel sürme mekanizmalarıyla donatılmış kaynak makinaları kullanılmaktadır. Özlü tel elektrodla kaynak yönteminde kullanılan kaynak makinaları 1500 A gücünde olabilirler ancak çoğu uygulama 650 A'den düşük akım şiddetlerinde gerçekleştirilir.

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; ergiyen 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)

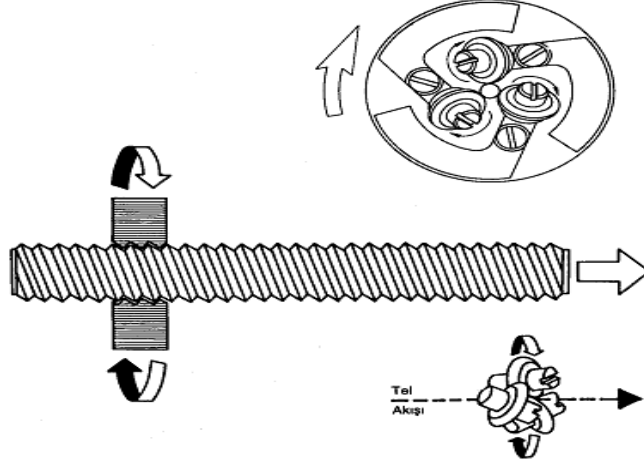
Tel sürme sistemleri çalışma esasları bakımından, makaralı (rulolu) sistemler ve planet sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Özlü elektrodların kaynak bölgesine düzgün beslenmesi tel sürme mekanizması yardımıyla gerçekleşmektedir. Özlü elektrod gerilim değişimiyle hızı değiştirilen doğru akım motoru vasıtasıyla bobinden gelerek iki veya dört makara arasından geçerek kaynak bölgesine gönderilir. Yumuşak malzemeden 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 3.4. İki makaralı ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması (Tülbentçi, 1998)

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 doğultmasıdır. (Tülbentçi, 1998)



Şekil 3.5. Planet veya dönel tel sürme tertibatı prensip şeması (Cary, 1989)

Torçlar; kullanım kolaylığı, dayanıklılık ve kullanım alnına göre ihtiyaç duyulan ek tertibatlar göz önüne alınarak, kaynak akımı, elektrod ve koruyucu gazın kaynak bölgesine iletilmesine uygun şekilde tasarlanmışlardır. Torçlar, kullanım süresi ve akım göz önüne alınarak ya su soğutmalı ya da gaz soğutmalı olarak üretilir. Yüksek akım ve uzun çalışma sürelerinde ortaya çıkacak sıcaklıklara karşı koyabilmesi bakımından su soğutmalı torçlar tercih edilir. Ancak su soğutmalı torçların hem daha ağır olup kaynakçının bileğini zorlar hem de bakımı daha masraflı ve külfetlidir. Oysa gaz soğutmalı torçların kullanımı daha kolaydır, yapıları daha basit ve hafiftir.

Kaynak akımı ve tel beslemesi, torç üzerindeki düğme ile sağlanır. Akım kaynak bölgesine akım memesi denen bakır bir parça ile aktarılır. 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)

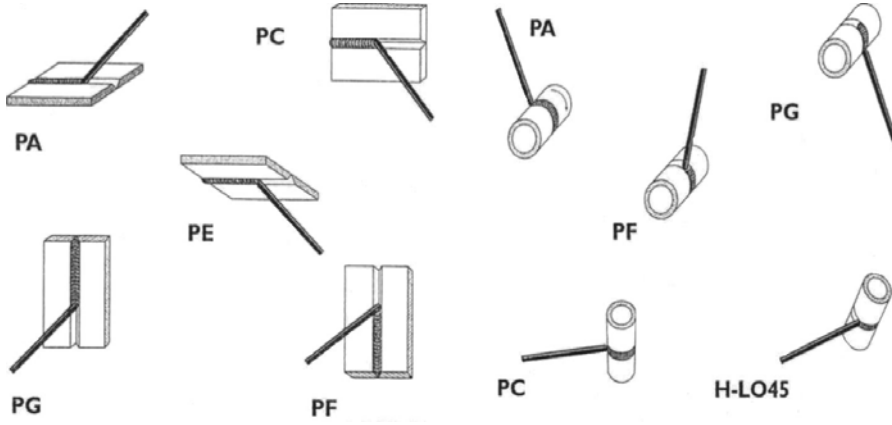
### 3.7. Özlü Tel Elektrodla Kaynakta Kaynak Yöntemleri ve Birleştirme Şekilleri

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 metotla 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)

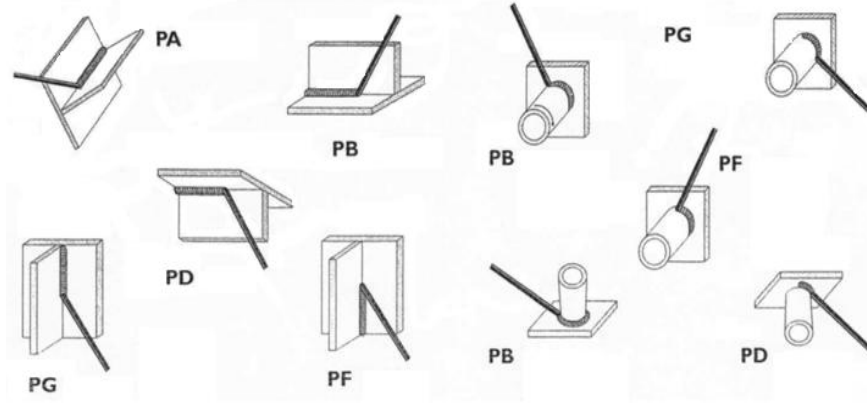
## Alın Birleřtirmeler (Sac ve Levhalar için)

## Alın Birleřtirmeler (Borular için)



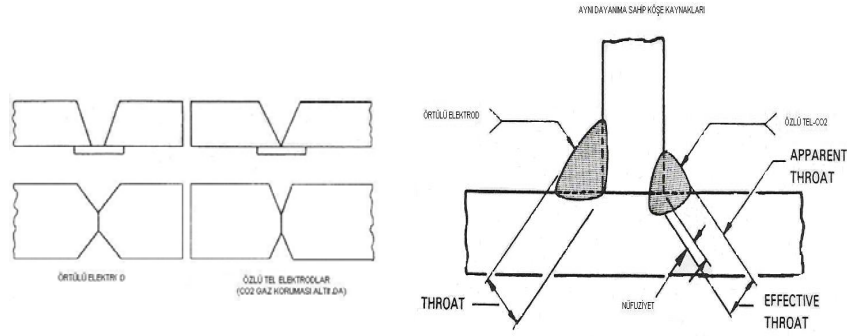
## Köşe Birleřtirmeler

## Köşe Birleřtirmeler



Şekil 3.6. ISO 6947/EN 287 ve ASME standartlarına göre kaynak pozisyonlarının gösterim (Bölüm 10)

Alın kaynağında 13 mm kalınlığa kadar düz alın birleştirme kullanılabilir. Bu değerin üzerindeki kalınlıklarda, örtülü elektrolarda kullanılan V kaynak ağızına nazaran % 35 ile % 50 daha dar V kaynak ağızı 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 3.7. Özlü tel elektrodla kaynak yöntemi için kaynak bağlantı tasarım detayları (Carry, 1998)

### 3.8. Özlü Tel 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 elektrodta ise bu oran % 75 ve altında kalmaktadır. Örtülü elektrodta koçan kaybı nedeniyle % 11'lik bir kayıp daha söz konusudur. Özlü elektrodta koçan kaybı yoktur, böylece elektrodun tamamı kullanılır.
- Dar ve basit kaynak ağzı hazırlığı: Derin nüfuziyet göstermesi nedeniyle, 13 mm kalınlığa kadar olan parçaların kaynağında kaynak ağzı hazırlığı gerektirmez. En az 350'lik V kaynak ağzı 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 ( $H 10 \text{ cm}^3 / 100 \text{ g}$  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 ya da 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, tavlanmış ve temperlenmiş çelikler, bazı paslanmaz çelik tipleri ve dökme demirlerin kaynağında kullanılır. Kaynak edilebilir malzemeler aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. 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

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada CO<sub>2</sub> koruyucu gaz ortamında ve karışım gaz ortamında özlü tel elektrodla gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak oluk pozisyonunda P235GH çelik sac numuneler kaynaklı birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirilen numunelerin dayanım ve mikroskobik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla radyografik muayene, çekme, sertlik, çentik darbe deneyleriyle beraber mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

### 4.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Donanım Özellikleri

#### 4.1.1. Ana metal

Deneysel çalışmalarda ana metal olarak P235GH düşük karbonlu basınçlı kap çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi, OERLIKON Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş. Kimya Laboratuvarı 'nda bulunan ARL-4460 Optik Emisyon Cihazı ile belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim (%)						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,1556	0,1838	1,3757	0,0084	0,0026	0,0195	0,0439
Mo	Cu	V	Al	Ti	Nb	Co
0,0019	0,0238	0,0059	0,0322	0,0014	0,0013	0,131

Ana metal mekanik özellikleri END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. Mekanik Test Laboratuvarı 'nda bulunan 40 kN 'luk Üniversal Çekme Cihazı 'nda belirlenmiştir.



Çizelge 4.2. Ana Malzemenin 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
>235	510 > $\sigma_{\max}$ > 360	26 > $\epsilon$ > 15	>27	>27

#### 4.1.2. Kullanılan elektrod (İlave malzeme)

Elektrodun standart gösterilişi ;

EN ISO 17632 - A      T 46 2 P C1 H5

EN 758      T 46 2 P C1 H5

AWS/ASME SFA-5.20      E 71 T - 1 H4

Çizelge 4.3. Metal özlü tel elektrodun kimyasal bileşimi (%)

Kimyasal Bileşim							
C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P	S
0,03	0,51	1,20	0,52	0,025	0,006	0,012	0,008

Çizelge 4.4. 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
>560	610	>26	>80	>80

Yüksek doldurma oranlı rutil tip özlü teldir. Kolay kontrol edilebilen, yüksek kaynak kabiliyetine sahip üründür. 1,20 mm çap için 24 volt, 9 m/dk. kaynak parametreleri ayarlanarak bütün pozisyonlarda kullanılabilir. Yüksek doldurma kabiliyeti, yüksek akım taşıma ve yığma oranına, dolayısı ile yüksek kaynak hızına ve zaman ve para kazanımı sağlamaktadır. Düşük sıçrama, kolay cüruf kalkışı, düzgün yanma sağlar, gözeneksiz kaynak dikişi verir.

#### 4.1.3. Koruyucu gaz

Numunelerin kaynaklı birleştirmeleri CO<sub>2</sub> ve karışım koruyucu gaz (% 75 Argon + % 25 CO<sub>2</sub>) ortamı altında yapılmıştır.

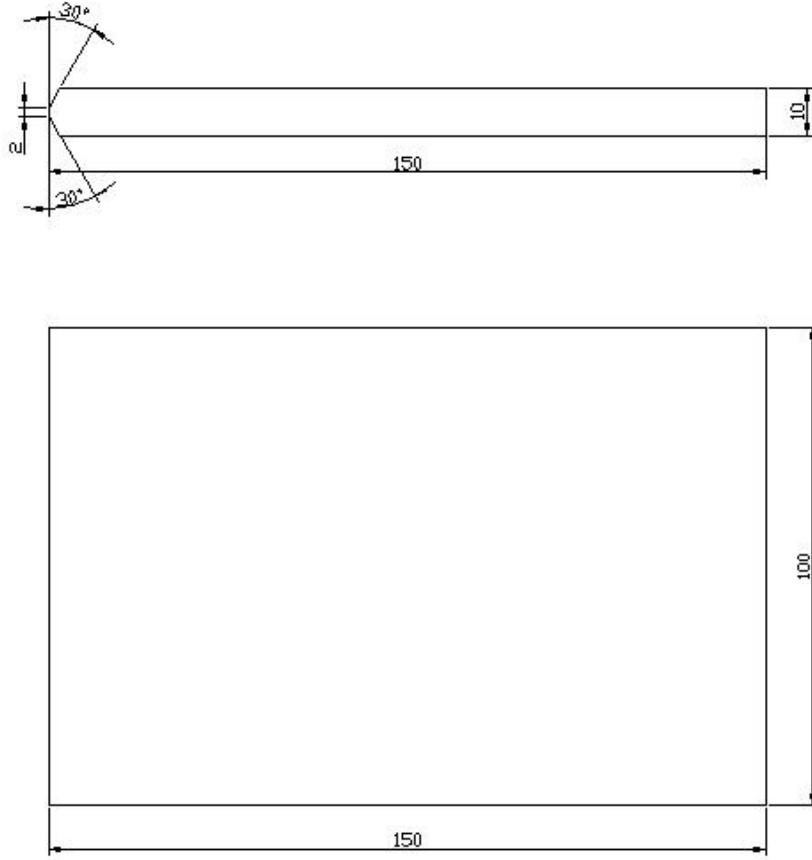
#### 4.1.4. Kaynak makinası

Numunelerin kaynaklı birleştirmeleri OERLIKON GKS 500 marka MIG/MAG kaynak makinası kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.1. OERLIKON GKS 500 kaynak makinası

## 4.2. Kaynak İşlemi

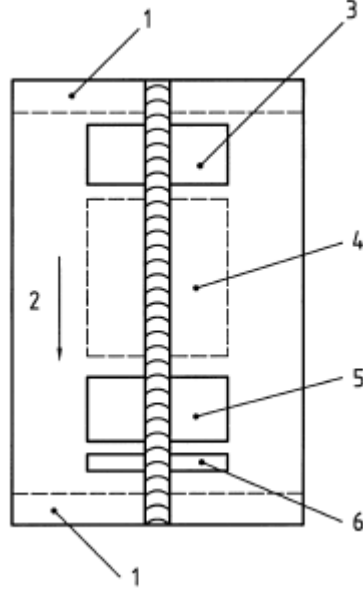


Şekil 4.2. Kaynaklı birleştirilen numunenin boyutları

Çizelge 4.5. Kaynak parametreleri

Kaynak pozisyonu	Paso	Kaynak Gerilimi (V)	Kaynak Akımı (A)	Koruyucu Gaz	Serbest Tel Uzunluğu
PA	Kök	26	190	CO <sub>2</sub>	15
	Kapak	32	140		15
PA	Kök	26	190	CO <sub>2</sub>	15
	Kapak	26	190		15
PA	Kök	26	190	Karışım	15
	Kapak	26	190		15

### 4.3. Uygulanan Deneyler

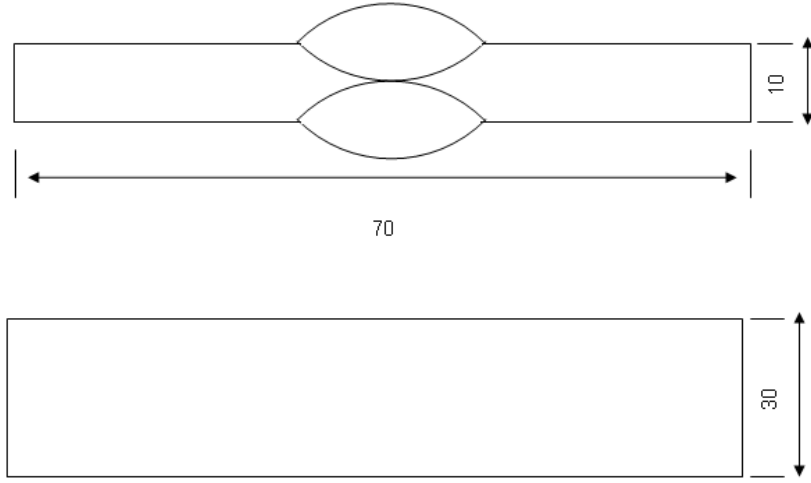


Şekil 4.3. Kaynaklı birleştirilen parçadan deneyler için alınan örnekler ve yerleri

- 1 - 25 mm başlangıç ve bitiş kaynak hatalarından kurtulmak için çıkartılır.
- 2 - Kaynak yönü
- 3 - Bu bölgeden;
  - 1 Adet Çekme deney numunesi
  - Eğme deney numunesi
- 4 - Bu bölgeden;
  - Çentik darbe testi ve eğer ihtiyaç duyulursa diğer testler için numuneler
- 5 - Bu bölgeden;
  - 1 Adet Çekme deney numunesi
  - Eğme deney numunesi
- 6 - Bu bölgeden;
  - 1 Adet Makro deney numunesi
  - 1 Adet Sertlik ölçüm deney numunesi

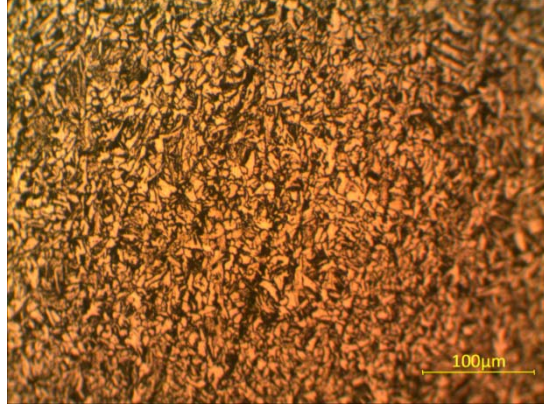
#### 4.3.1. Mikroyapı özelliklerinin belirlenmesi

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 400, 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.

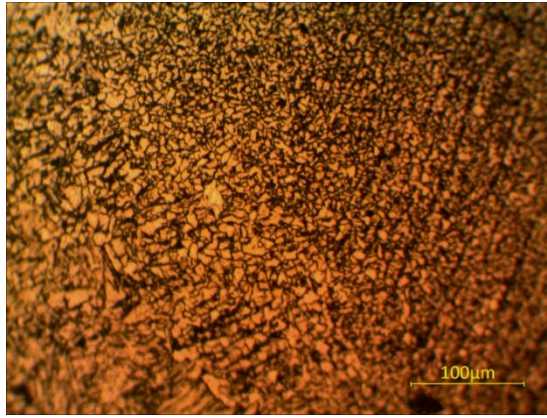


Şekil 4.4. Mikroyapı analizi için hazırlanan numune boyutları

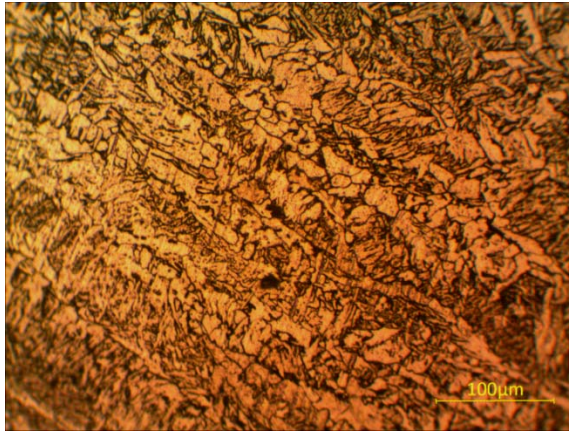
Metal özlü tel elektrodla kaynaklı birleştirilen numunelerden alınan örneklere ait mikro yapı fotoğrafları sırasıyla ana metal, ısıdan etkilenmiş bölge ve kaynak metalinden olacak şekilde Şekil 4.3, 4.4, 4.5’ de (PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait örnekler ); Şekil 4.6, 4.7, 4.8’ de (PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait örnekler ) ve Şekil 4.9, 4.10, 4.11’ de (PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait örnekler ) verilmiştir.



(a)

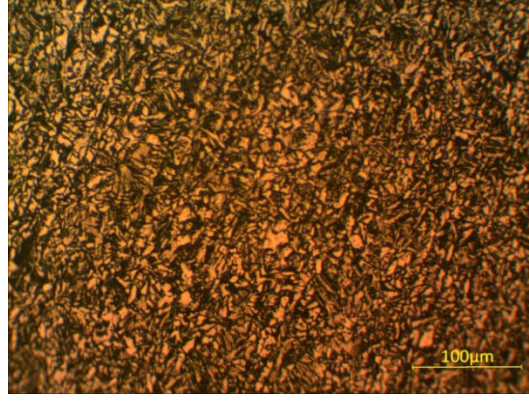


(b)

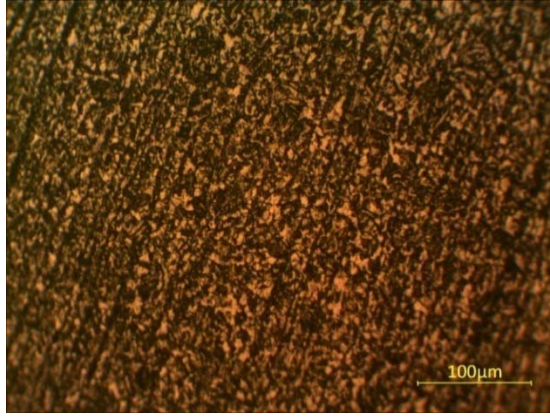


(c)

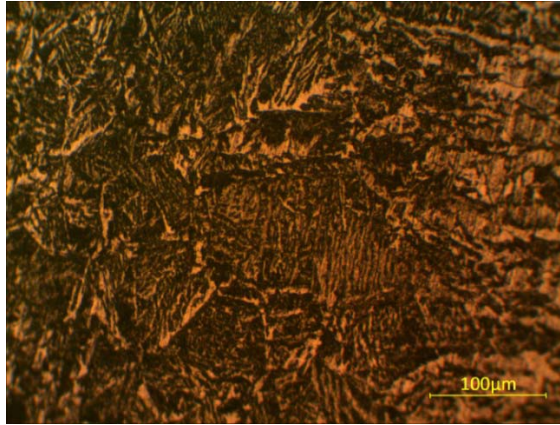
Şekil 4.5. PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş 1 numaralı numuneye ait örnekler a) Ana metal mikroyapısı (400 x) b) IEB mikroyapısı (400 x) c) Kaynak metali mikroyapısı (400 x)



(a)

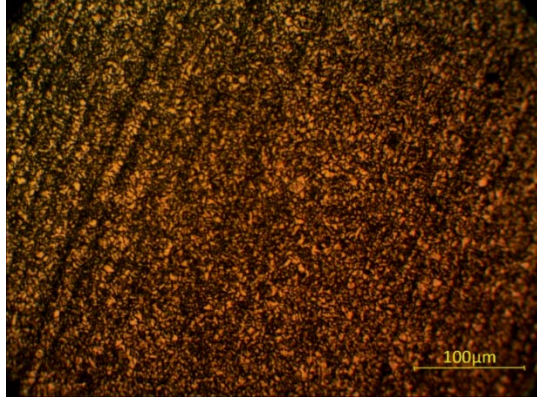


(b)

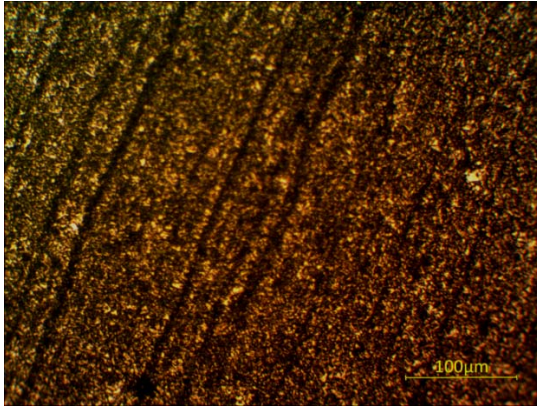


(c)

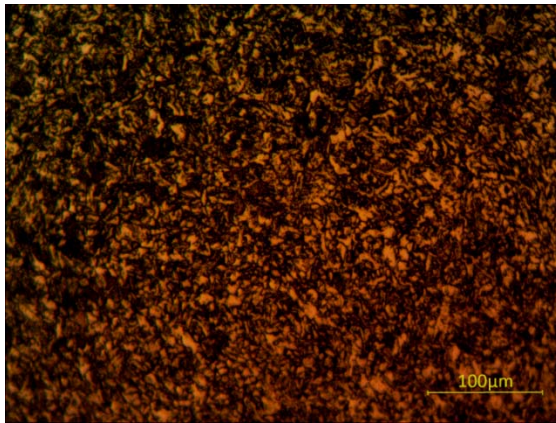
Şekil 4.6. PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş 1 numaralı numuneye ait örnekler a) Ana metal mikroyapısı (400 x) b) IEB mikroyapısı (400 x) c) Kaynak metali mikroyapısı (400 x)



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.7. PA kaynak pozisyonunda, Karışım gaz koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş 1 numaralı numuneye ait örnekler a) Ana metal mikroyapısı (400 x) b) IEB mikroyapısı (400 x) c) Kaynak metali mikroyapısı (400 x)



#### 4.3.2. Radyografik muayene

Radyografik muayene, kaynak bölgesindeki yüzey altında oluşabilecek gözenek, kalıntı, çatlak ve gaz boşlukları gibi hataları belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem alın birleştirmelerde kullanılır ancak köşe birleştirmelerinde ise ultrasonik yöntem kullanılır. Kaynaklı bölgenin iç yapısını 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 makinalarından 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 Co-60, İr-192, Tm-170 ve Ce-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 Gamma 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 (Al gibi) 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 pozisyonunda CO<sub>2</sub> ve Karışım koruyucu gazla 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. 2,2 yoğunlukta, görüntü kalitesinin tespiti için 10 FE EN panatrametre kullanılmıştır.

PA pozisyonunda karışım koruyucu gazla yapılan kaynaklı birleştirmeye ait filmde standardın kabul edilebilir sınırları içerisinde yer alan gözeneğe rastlanmıştır. Mekanik testler için hazırlanan test numunelerinin gözeneğe rastlayan bölgelerden çıkartılmamasına dikkat edilmiştir.



Şekil 4.8. PA pozisyonunda CO<sub>2</sub> koruyucu gazla kaynak edilen 1 nolu numunenin radyografik filmi



Şekil 4.9. PA pozisyonunda CO<sub>2</sub> koruyucu gazla kaynak edilen 2 nolu numunenin radyografik filmi



Şekil 4.10. PA pozisyonunda karışım koruyucu gaz kullanılarak kaynak edilen 3 nolu numunenin radyografik filmi

### 4.3.3. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

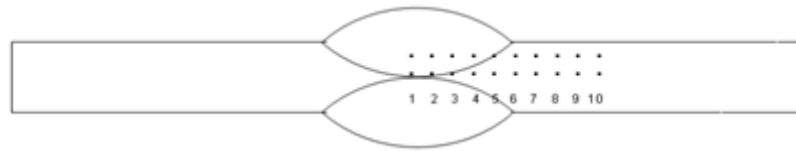
#### 4.3.3.1. Vickers sertlik deneyi

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, üniversal bir yöntem olup elmasın doğada bulunan en sert malzeme olması nedeniyle tüm malzemelere uygulanabilir. Uygulamada çok küçük yükler (5 N) 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 yöntemde mikro sertlik deneyi adı da verilir.

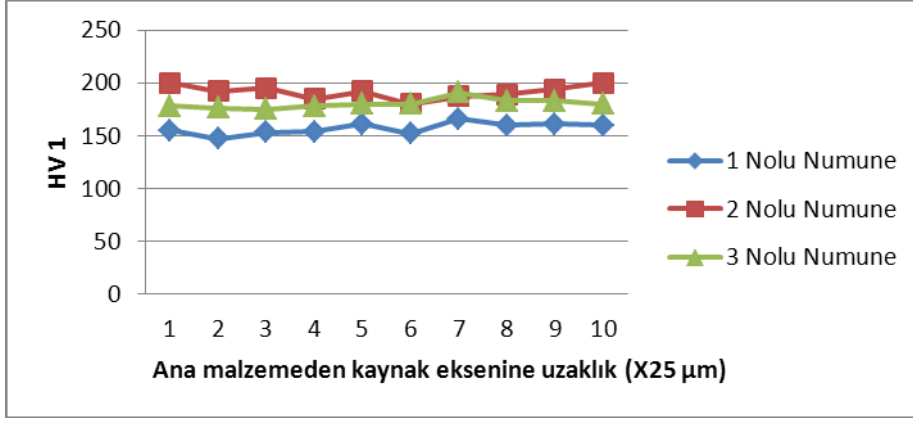
Kaynaklı birleştirmelerde kaynak işlemi esnasında malzemenin çok yüksek sıcaklıklara maruz kalıp çok kısa süre içerisinde tekrar soğuması nedeniyle yapısında değişimler gözlenir. Kaynak metali ile ana malzeme arasında oluşan ısıdan etkilenmiş bölgede (IEB) tane yapısındaki değişimlere bağlı olarak daha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

Bu çalışmada: PA pozisyonunda karışım gaz ve CO<sub>2</sub> korumasında kaynak edilen parçalardan hazırlanan 1'er adet numuneye 1 N yük, 10 saniye süreyle şekilde belirtilen noktalardan uygulanmış ve belirtilen bölgeler için sertlik dağılımı aralığı belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.11. Sertlik ölçülen bölgeler

Sertlik deneyleri OLGUN ÇELİK Sanayi ve Ticaret A.Ş. ArGe Merkezi'nde bulunan SHIMADZU HW2 marka Mikro Vickers sertlik cihazında yapılmıştır.



Şekil 4.12. PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gaz koruması altında, kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş (1 Nolu Numune), CO<sub>2</sub> gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (2 Nolu Numune) ve karışım gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (3 Nolu Numune) kaynaklı parçaların sertlik dağılımı

#### 4.3.3.2. Çekme deneyi

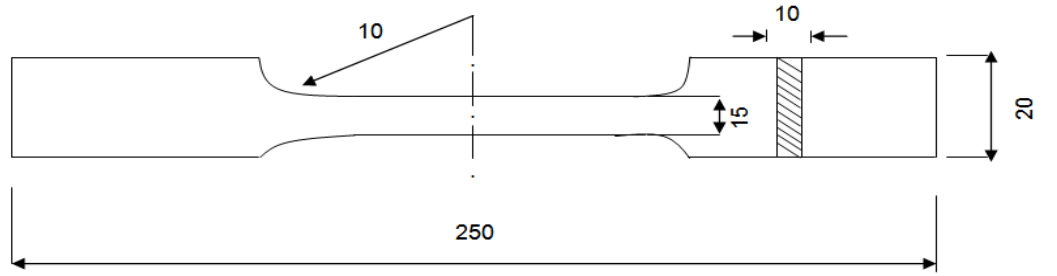
Metaller ve metal alaşımı olan malzemeler mekanik tasarımda en çok tercih edilen malzeme grubunu oluşturmaktadır. Tasarım aşamasında dikkate alınması gereken en önemli özellikleri kullanılan malzemenin dayanım seviyesi ve şekil değiştirebilme kabiliyeti oluşturmaktadır. Bu özelliklerin belirlenmesi amacıyla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

Kaynaklı parçalar işlenerek Şekil 4.17’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.

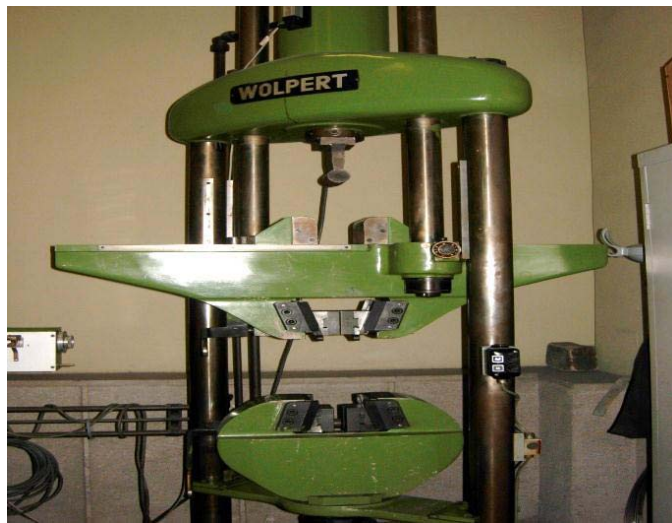
Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi EN 10024:2004 3.1 standardına uygun olarak END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. Mekanik Test Laboratuvarı ‘nda bulunan WOLPERT marka 40 kN ‘luk universal çekme cihazı ile yapılmış olup, elde edilen çekme dayanımı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Özlü tel elektrodla kaynak edilmiş numuneler ile ana malzeme ve kaynak metalinin çekme deneyi sonuçları

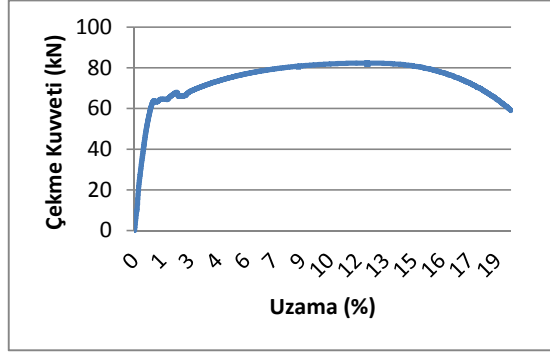
Kaynak Pozisyonu	Ortalama Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Bölgesi
1-PA	526	Ana malzemedен koptu.
2-PA	530	Ana malzemedен koptu.
3-PA	520	Ana malzemedен koptu.
Ana Malzeme	486	-



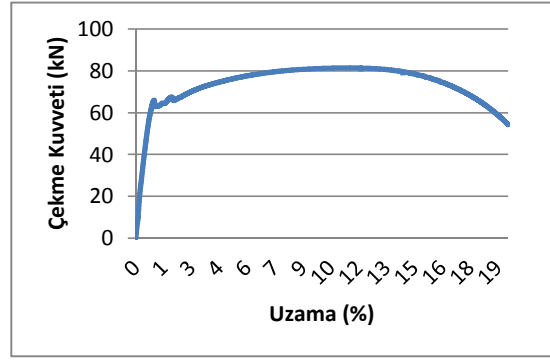
Şekil 4.13. Çekme çubuğu numunesinin ölçüleri (EN 10024:2004 3.1)



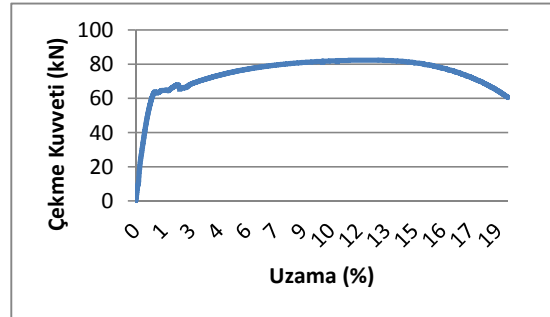
Şekil 4.14. WOLPERT marka 40 kN 'luk üniversal çekme cihazı



(a)

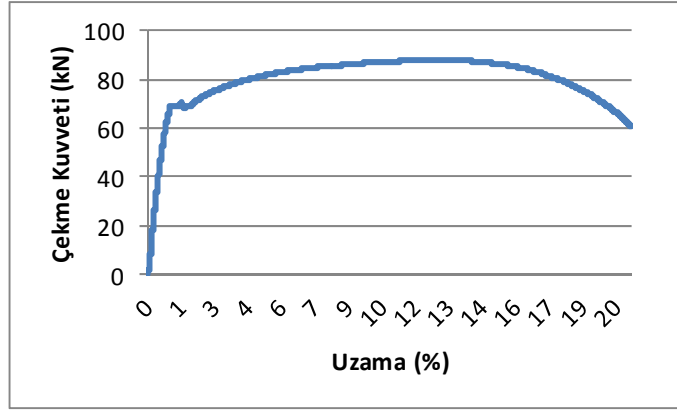


(b)

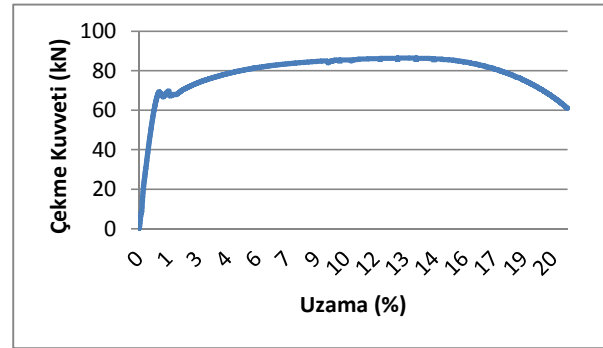


(c)

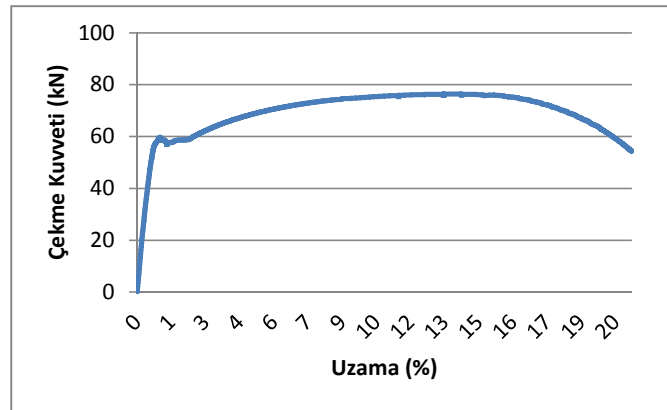
Şekil 4.15. PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait örnekler a)1 nolu numune b)2 nolu numune c)3 nolu numune



(a)

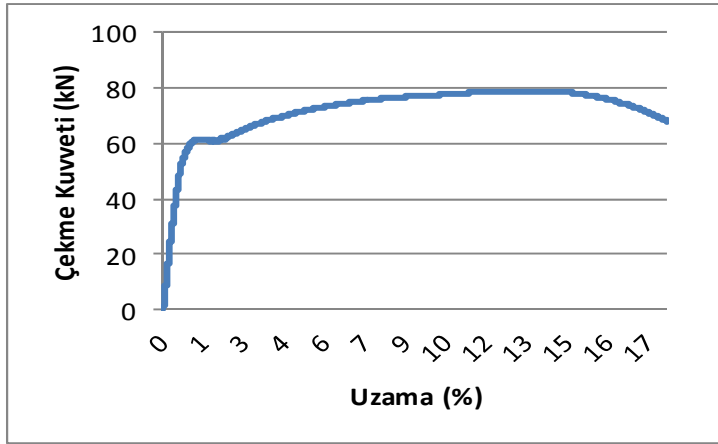


(b)

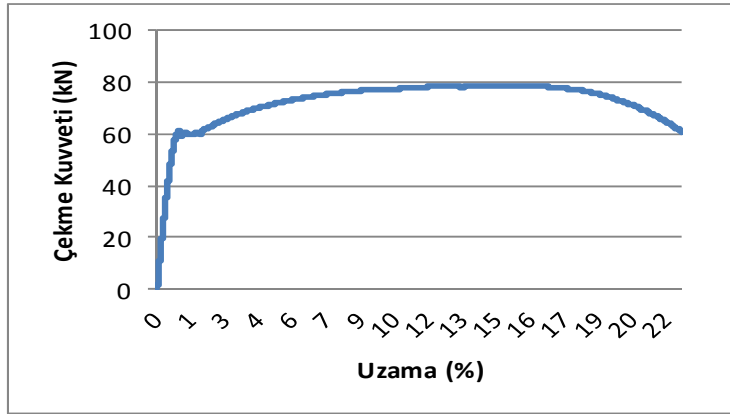


(c)

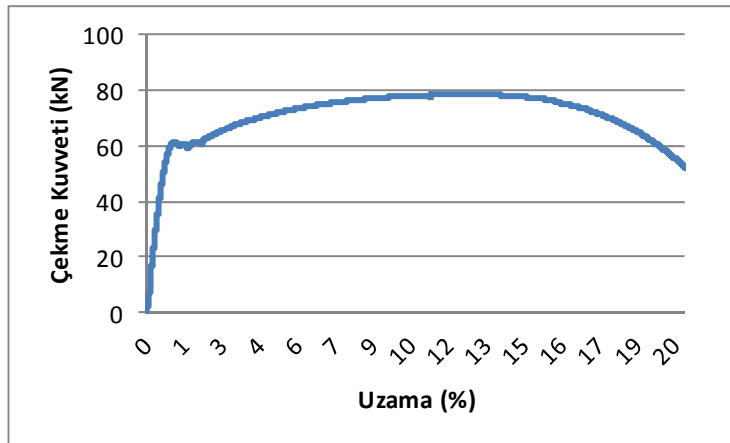
Şekil 4.16. PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gazı koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait çekme eğrisi örnekleri a)1 nolu numune b)2 nolu numune c)3 nolu numune



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.17. PA kaynak pozisyonunda, karışım gaz koruması altında, 15 mm serbest tel ucu ile kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 26 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş numuneye ait çekme eğrisi örnekleri a)1 nolu numune b)2 nolu numune c)3 nolu numune



#### 4.3.3.3. 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.

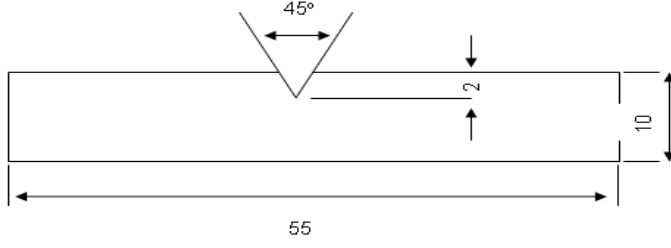
Sünek malzemelerin gevrek kırılma eğilimlerini ölçmek amacıyla Charpy testi uygulanmaktadır. Belli bir potansiyel enerjiye sahip kütle V çentik açılmış numuneye çarptırılıp, numunenin kırılması için gereken enerji (kırma enerjisi) saptanır.

Bu çalışmada her kaynak pozisyonu için 3'er adet çentik darbe deney örneği Şekil 4.28'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.

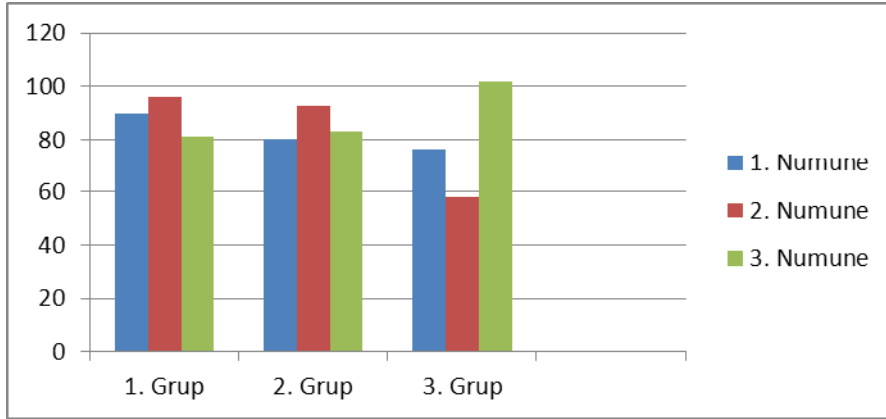
Çentik darbe deneyleri END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. Mekanik Test Laboratuvarı 'nda bulunan 300 kJ WOLPERT marka Charpy çentik darbe cihazı ile yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Kaynaklı birleştirmelerin kırma enerjisi değerleri

Kaynak pozisyon	Çentik Geometrisi	Deney Sıcaklığı (°C)	Ortalama Kırılma Açısı	Ortalama Kırma Enerjisi(J)
1-PA	ISO-V	-20°C	108 <sup>0</sup>	89,12
2-PA	ISO-V	-20°C	110 <sup>0</sup>	85,20
3-PA	ISO-V	-20°C	116 <sup>0</sup>	78,81



Şekil 4.18. Çentik darbe deneyi numune ölçüleri



Şekil 4.19. Değişik parametrelerle birleştirilmiş kaynaklı parçaların kırma enerjisi değerleri



Şekil 4.20. WOLPERT marka 300 J'luk çentik darbe deneyi cihazı

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, P235GH ve P265GH çelik saçların E 71T-1MH4 metal özlü tel elektrodla kaynağında kaynak parametrelerinin, birleştirmenin dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi araştırılmış ve aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir.

### 5.1. Radyografik Muayene

PA pozisyonunda hem CO<sub>2</sub> ve hem de karışım gazıyla yapılan kaynaklı birleştirmelere ait kaynak metali ve IEB 'nin referans alındığı ve ERMA Teknik Malzeme Ltd. Şti. tarafından gerçekleştirilen radyografi filmleri incelendiğinde ; karışım gazı kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmede gözeneklerin bulunduğu saptanmıştır. Saptanan gözenekler ilgili standart kapsamında değerlendirilmiş ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığı belirlenmiştir.

Kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik planlanan testler için hazırlanan test numunelerinin gözeneğe rastlayan bölgelerden çıkartılmamasına özen gösterilmiştir.

### 5.2. Çekme Deneyi

Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi EN 10024:2004 3.1 standardına uygun olarak END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. Mekanik Test Laboratuvarı 'nda bulunan WOLPERT marka 40 kN 'luk üniversal çekme cihazı ile yapılmış olup, elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana metal ve kaynaklanan numunelere ait mekanik değerler.

	<b>Koruyucu Gaz</b>	<b>Rm (Mpa)</b>	<b>Rp<sub>0,2</sub> (Mpa)</b>	<b>A5 (%)</b>
Ana Malzeme	-	486	194,4	22
PA-1	CO <sub>2</sub>	526	210,4	19
PA-2	CO <sub>2</sub>	530	212	20
PA-3	Karışım	520	208	19,67

### 5.3. Çentik Darbe Deneyi

Çentik darbe deneyleri END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. Mekanik Test Laboratuvarı 'nda bulunan 300 kJ WOLPERT marka Charpy çentik darbe cihazı ile yapılmıştır.

Bu çalışmada her kaynak pozisyonu için 3'er adet çentik darbe deney örneği hazırlanmış ve  $-20^{\circ}\text{C}$  de  $\text{CO}_2$  ortamında soğutularak aşağıda belirtilen kırma enerjileri saptanmıştır.

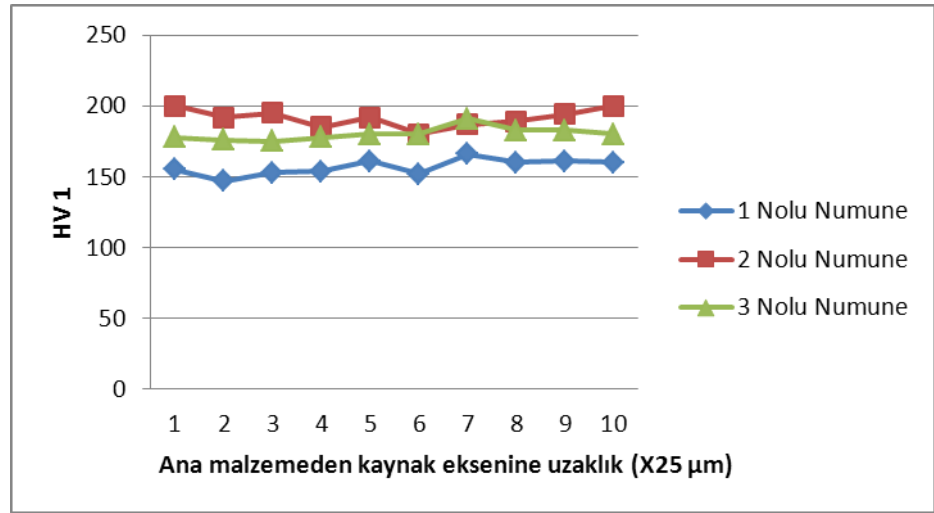
Çizelge 5.2. Kaynaklı birleştirmelerin kırma enerjisi değerleri

Numune	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kırma Enerjisi (J)
PA-1	-20	89,91
		96,26
		81,20
<b>Ortalama</b>	<b>-20</b>	<b>89,123</b>
PA-2	-20	80,22
		92,44
		82,93
<b>Ortalama</b>	<b>-20</b>	<b>85,126</b>
PA-3	-20	76,33
		58,18
		101,93
<b>Ortalama</b>	<b>-20</b>	<b>78,813</b>

#### 5.4. Mikro Sertlik Deneyi

Sertlik deneyleri OLGUN ÇELİK Sanayi ve Ticaret A.Ş. ArGe Merkezi 'nde bulunan SHIMADZU HW2 marka Mikro Vickers sertlik cihazı'nda yapılmıştır.

PA pozisyonunda CO<sub>2</sub> ve karışım gazı korumasında kaynaklı birleştirilen parçalardan hazırlanan 1'er adet numuneye 1 N yük 10 saniye süreyle ana malzeme, IEB ve kaynak metali referans alınarak uygulanmış ve belirtilen bölgeler için sertlik dağılımı aşağıda verilen diyagramdaki gibi saptanmıştır.



Şekil 5.1. PA kaynak pozisyonunda, CO<sub>2</sub> gaz koruması altında, kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 32 V – 140 A parametreleri ile birleştirilmiş (1-Nolu Numune), CO<sub>2</sub> gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (2-Nolu Numune) ve karışım gaz koruması altında; kök pasoda 26 V – 190 A, kapak pasoda 36 V – 190 A parametreleri ile birleştirilmiş (3-Nolu Numune) kaynaklı parçaların sertlik dağılımı

#### 5.5. Mikroyapı Özelliklerinin Belirlenmesi

Mikroyapı özellikleri END Endüstriyel Denetim Ltd. Şti. Mekanik Test Laboratuvarı 'nda bulunan Olympus marka ışık metal mikroskobu kullanılarak belirlenmiştir.

Mikro yapı fotoğrafları her numune için ana metal, ısıdan etkilenmiş bölge ve kaynak metalinden alınmıştır. Alınan mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde; CO<sub>2</sub> gazı koruması altında yapılan alın kaynaklı numunelerinde kaynak metalinde

Widmannstatten içyapısının oluştuğu tespit edilmiştir. Bu içyapının varlığı; koruyucu gazın ortaya çıkardığı ekzotermik reaksiyon sonucu artan ısı girdisi nedeniyle oluşan hızlı soğuma sonucunda Widmannstatten Ferriti oluşumuna neden olduğunu gösterir.

Düşük karbonlu C-Mn çeliklerinde A3 kritik sıcaklığının üstünde büyüyen ostenit taneleri yüksek soğuma hızı nedeniyle ferrit taneleri (Widmannstatten Ferriti) arasında levhalar halinde yer alır.



Şekil 5.2. Widmannstatten Ferriti

## 6. İRDELEME

P235GH ve P265GH çelik saçların E 71T-1MH4 metal özlü tel elektrodla kaynağında kaynak parametrelerinin, birleştirmenin dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada ;

1. Radyografik muayene sonucunda koruyucu gaz olarak karışım gazının kullanıldığı kaynaklı birleştirmelerde, kaynak metalinde kabul edilebilir sınırlar içinde gözenek olduğu saptanmış ve bu koşullar için hazırlanan çekme ve çentik darbe çubuklarında gözeneğin bulunmamasına özen gösterilmiştir. Söz konusu çekme ve çentik darbe deney örneklerine uygulanan çekme ve çentik darbe deney sonuçları, deney örneklerinde gözenek bulunmadığını doğrulamıştır.
2. Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, kaynaklı birleştirilen numunelere ait çekme dayanımı değerlerinin ana malzemenin çekme dayanımı değerlerinden daha büyük olduğu ve kırılmanın ana malzemedan gerçekleştiği saptanmıştır.

Kaynaklı birleştirilen parçaların çekme dayanımlarının, ana malzemenin çekme dayanımından daha yüksek olması ; metal özlü tel elektrodların diğer özlü ve masif tel elektrodlardan daha yüksek akım şiddetleriyle çalışılması, başka bir deyişle ısı girdisinin diğer elektrodlardan daha büyük olması nedeniyle kaynak metalinde metalurjik dönüşümler sonucu dayanım artışlarına neden olmaktadır. Bu sonucu çekme deneyleri de doğrulamaktadır.

3. -20 0C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneylerinde elde edilen kırılma enerjilerinin standartta ön görülen değerlerden daha yüksek ve daha sünek bir birleştirme olduğu belirlenmiştir.
4. Kaynaklı birleştirilen parçaların ana malzeme, IEB ve kaynak metaline ilişkin sertlik değerleri, IIW tarafından kabul edilen 350 HV sınırı içinde bulunmaktadır.

5. Mikroyapı görüntülerinin incelenmesi sonucunda, CO<sub>2</sub> ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde ekzotermik reaksiyon sonucunda, başka bir deyişle kaynak ısı girdisine bağlı olarak kaynak metalinde tane irileşmesi gözlenmiştir.
6. Kaynak metalinin Widmannstatten mikroyapı özelliğinde olduğu, mikroyapı görüntülerinden görölmektedir.



**KAYNAKLAR DİZİNİ**

- Anık, S. ve Vural, M.**, 1996, Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), Gedik Eğitim Vakfı, Yayın No:3, İstanbul
- Anık, S., Dikicioğlu A. ve Vural M.**, 1984, Koruyucu Gaz Altında Kaynak ve Alüminyumun MIG Kaynağı, Kaynak Tekniği Derneği Yayını
- 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
- Ceyhun,V., Elöve,D., Tatlıses,B. ve 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 Mikroskopik ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Metal Dünyası, Haziran, 116-119
- 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
- Morimoto, T.**, 2005, Developments in Flux-cored Wire for Gas-shielded Arc Welding, Kobelco Technology Review No. 26

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Müftüoğlu, F.**, 1997, Alaşimsız 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
- Sönmez, İ.**, 2000, Özlü Elektrodla Kaynakta Ayrı Gaz Nozulları Kullanımının Kaynak Dikişine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Sönmez, U.**, 2009, Gemi Saclarının Özlü Tel Elektrod İle Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım Ve Mikroyapı Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- 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

## ÖZGEÇMİŞ

21.08.1982 Bolu doğumlu. Orta öğrenimini Çankaya Ankara Atatürk Anadolu Lise' sinde tamamladı. Lisans eğitimini Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde tamamladı. IIW Kaynak Mühendisi Ünvanını 2011 yılında İtalyan Kaynak Enstitüsünden aldı. Ayrıca aynı yıl Anadolu Üniversitesi AOF'den İşletme lisans diplomasını aldı.

2008 yılından bu yana Ege Üniversitesi BMYO'da öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. 2009-2010 öğretim yılında Metalurji Bölüm koordinatörü olarak çalışmıştır. 2010-2011 öğretim yılından bu yana Makina Bölüm koordinatörlüğü görevini yürütmektedir.

Mak. Müh. Deniz ÜNSÜR