



67839

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA ANABİLİM DALI**

**ALAŞIMSIZ ÇELİKLERİN ÖZLÜ ELEKTRODLA
KAYNAĞINDA Ar-CO₂ KORUYUCU GAZ
KARIŞIMLARININ KAYNAK DİKİŞİNE ETKİSİ
VE OPTİMUM GAZ KARIŞIMININ TAYİNİ**

E. Fisun MÜFTÜOĞLU
Mak. Yük. Müh.

F.B.E. Makina Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi: 14 Nisan 1997

Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN (Y.T.Ü.)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kutsal TULBENTÇİ (İ.T.Ü.)

: Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İ.T.Ü.)

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Sayı : EN.FBE-97.011**

**Bütün Hakları Saklıdır. © 1997, Yıldız Teknik Üniversitesi
Bu eserin bir kısmı veya tamamı, Y.T.Ü. Rektörlüğü'nün izni olmadan,
hiçbir şekilde çoğaltılamaz, kopya edilemez.**

Müftüoğlu, E.Fisun.

**Alaşımsız Çeliklerin Özlü Elektrodla Kaynağında Ar-CO₂ Koruyucu Gaz
Karışımlarının Kaynak Dikişine Etkisi ve Optimum Gaz Karışımının Tayini /
E.Fisun Müftüoğlu.**

Kaynakça var.

ISBN 975-461-033-9

Y.T.Ü. Kütüphane ve Dokümantasyon Merkezi Sayı : YTÜ.EN.DR-97.0333

**Baskı:Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi Matbaası-İstanbul
Tel : (0212) 259 70 70/2252**

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
TEŞEKKÜR	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÖZLÜ ELEKTRODLA KAYNAK	2
2.1. Özlü Elektrodların Üretimi	2
2.2. Özlü Elektrodların Sınıflandırılması	3
2.3. Özlü Elektrodların Öz Maddeleri	7
2.4. Özlü Elektrodların Standartları	8
2.5. Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Makinaları	11
2.6. Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Gazlar	13
2.7. Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Parametreleri	20
2.8. Birleştirme Şekilleri ve Kaynak Metodları	25
2.9. Özlü Elektrodla Kaynağın Avantajları ve Sınırlamaları - Uygulama Alanları	26
2.10. Özlü Elektrodla Kaynakta Meydana Gelen Kaynak Hataları ve Sebepleri	28
3. ÖZLÜ ELEKTRODLA KAYNAKTA KORUYUCU GAZ KARIŞIMLARININ KAYNAK DİKİŞİNE ETKİSİ İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR	30
3.1. Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Dikişinin Nüfuziyetine Etkisi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	31
3.2. Koruyucu Gaz Karışımlarının Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	35
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa No

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Parametreler	55
4.2. Deneylerin Yapılışı	56
4.3. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	57
4.3.1. Nüfuziyetle İlgili Çalışmalar	57
4.3.2. Mekanik Özellikle İlgili Çalışmalar	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

No.

2.1. Özlü elektrod üretimi	3
2.2. Çeşitli kesit formlarında özlü elektrodlar	4
2.3. Özlü elektrodla kaynak donanım blok şeması	13
2.4. Koruyucu gazların kaynak dikişi formuna etkisi	15
2.5. E 70 T-1 elektrodları için kaynak akımına bağlı elektrod besleme hızı	21
2.6. Serbest tel uzunluğunun ark gerilimine etkisi	23
2.7. Serbest tel uzunluğunun kaynak akımına etkisi	23
2.8. Serbest tel uzunluğunun ısı girdisine etkisi	23
2.9. E 70 T-1 gaz korumalı elektrodlar için kaynak akımına bağlı kaynak metali miktarı.	25
3.1. Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikişi nüfuziyetleri	32
3.2. Bazik elektrod kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları	32
3.3. Rutil elektrod kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları	32
3.4. Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikişi nüfuziyetleri	35
3.5. Kaynak metalinin oksijen miktarı, sertliği ve iri taneli ferrit %'si ile oluşan amprik formülle geçiş sıcaklığı arasındaki ilişki	36
3.6. Isı girdisinin kaynak metalinin akma dayanımı üzerine etkisi	40
3.7. Isı girdisinin kaynak metalinin çentik darbe dayanımı üzerine etkisi	40
3.8. Koruyucu gazdaki CO ₂ miktarına bağlı ısı transfer katsayısı (f_1)	42
3.9. Koruyucu gaz kompozisyonu ve ısı girdisine bağlı kaynak metalinin oksijen miktarı	46
3.10. Koruyucu gaz kompozisyonu ve ısı girdisine bağlı kaynak metalinin geçiş sıcaklığı	47
3.11.a. Bazik elektrod için iki ısı girdisi kullanılarak koruyucu gaz kompozisyonu ve çentik darbe dayanımı arasındaki ilişki	47
3.11.b. Rutil elektrod için iki ısı girdisi kullanılarak koruyucu gaz kompozisyonu ve çentik darbe dayanımı arasındaki ilişki	48

ŞEKİL LİSTESİ (devamı)

Sayfa No

No.

4.1. E 70 T-5 ve E 71 T-1 özlü elektrodları ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranlarını gösteren fotoğraflar	62
4.2. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dış dikiş formu	68
4.3. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre iç dikiş formu	68
4.4. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre nüfuziyet oranı	68
4.5. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dış dikiş formu	69
4.6. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre iç dikiş formu	69
4.7. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre nüfuziyet oranı	69
4.8. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları	79
4.9. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri	80
4.10. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri	81
4.11. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımı	82
4.12. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları	83

ŞEKİL LİSTESİ (devamı)

Sayfa No

No.

4.13. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri	84
4.14. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri	85
4.15. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımı	86



TABLO LİSTESİ**Sayfa No****No.**

2.1. Özlü elektrod çaplarına göre kullanılan çelik band ölçüler 3	
2.2. Özlü elektrod çeşitleri	5
2.3. Aktif ve soy gazların özellikleri	15
2.4. Karbon çeliği ve düşük alaşımlı çeliğin gazaltı kaynağında sprey transfer ve kısa devre transferi için koruyucu gazlar	19
2.5. Kaynak hataları ve sebepleri	29
3.1. Kullanılan koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikiş formları	31
3.2. Koruyucu gaz karışımlarına bağlı nüfuziyet oranları	34
3.3. Koruyucu gaza bağlı soğuma hızı değerleri	37
3.4. Ön tav ve koruyucu gaza bağlı olarak kaynak metalinin ITAB sertlik değerleri (Malzeme: Bisalloy 80)	37
3.5. Kaynak metalinin özellikleri üzerine koruyucu gaz kompozisyonunun etkisi	38
3.6. Koruyucu gaz kompozisyonunun çentik darbe dayanımı üzerine etkisi	39
3.7. Koruyucu gaz karışımındaki CO ₂ miktarının E 81 T1-Ni 1 elektrodu ile elde edilen kaynak metalinin özellikleri üzerine etkisi	41
3.8. Koruyucu gaza bağlı toplam kaynak enerjisi (H_T), kaynak vasıtası ile parçadan kazanılan ısı (H_w) ve ısı transfer katsayısı (f_1)	41
3.9. Koruyucu gaza bağlı olarak kaynak metalinin sertliği	44
3.10. Koruyucu gaz ve ısı girdisine bağlı olarak kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu	45
3.11. Koruyucu gaz ve ısı girdisine bağlı mekanik ve metalurjik özellikler	49
3.12. Koruyucu gaz karışımlarının kimyasal kompozisyona etkisi (%) - damla	52
3.13. Koruyucu gaz karışımlarının kimyasal kompozisyona etkisi (%) - kaynak metali	53
4.1. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranları	67

TABLO LİSTESİ (devamı)**Sayfa No****No.**

- | | |
|---|----|
| 4.2. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranları | 67 |
| 4.3. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri | 70 |
| 4.4. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları | 71 |
| 4.5. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri | 71 |
| 4.6. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımları | 72 |
| 4.7. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri | 74 |
| 4.8. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları | 75 |
| 4.9. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri | 75 |
| 4.10. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımları | 76 |
| 4.11. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre mekanik özellikleri | 78 |
| 4.12. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre mekanik özellikleri | 78 |

TEŞEKKÜR

Bu araştırmayı yönlendiren, her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm tez danışmanım Sayın Prof. Nurullah Gültekin'e, deneysel çalışmamın yürütülmesinde her türlü desteğini gördüğüm Sayın Halil Gedik ve Gedik Holding A.Ş. teknik personeline, kaynaklarda kullanılan özlü elektrodları sağlayan Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş.'ne, koruyucu gaz karışımlarını veren BOS A.Ş.'ne, çelik malzemeyi sağlayan Erdemir A.Ş.'ne, deney numunelerinin işlenmesinde yardımcı olan T.T.K. Maden Makinaları Fabrikası yetkililerine ve Z.K.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü teknisyenlerine, nüfuziyet fotoğraflarının çekiminde yakın ilgisini gördüğüm Y.T.Ü. Kimya - Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu ve Öğr. Gör. Ömer Akdoğan'a, çalışmalarımda gerekli destek ve kolaylığı esirgemeyen Bölüm Başkanım Sayın Prof. Dr. Fahri Dağlı'ya teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu tez çalışmasında, özlü elektrodla kaynakta koruyucu gaz karışımlarının kaynak dikişinin nüfuziyeti ve mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Koruyucu gaz olarak Ar - CO₂ gaz karışımları kullanılmış olup E 70 T-5 (bazik) ve E 71 T-1 (rutil) özlü elektrodları ile kaynaklar yapılmıştır. Diğer bütün parametreler sabit tutulup yalnız koruyucu gaz karışımları değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler, AWS A5.20 (1979) standardına uygun olarak yapılmıştır. Her elektrod - gaz kombinasyonu için üç adet kaynaklı deney parçası ve bir adet nüfuziyet parçası hazırlanarak mekanik özellikler ve nüfuziyet oranları incelenmiştir.

Nüfuziyet deneylerinde; kaynak dikişinin genişliği, yüksekliği ve derinliği, bunlara bağlı olarak da dikiş formu ve nüfuziyet oranı incelenmiştir. Mekanik özelliklerde; kaynak metalinin sertliği, akma ve çekme dayanımı, uzama oranı ve çentik darbe dayanımı belirlenmiştir. Belirtilen bu özellikler dikkate alınarak elde edilen sonuçlar irdelenmiş olup bazik ve rutil özlü elektrodlar için optimum Ar - CO₂ gaz karışımları tespit edilmiştir.

Farklı oranlardaki Ar - CO₂ koruyucu gaz karışımları ile yapılan özlü elektrodla kaynakta kaynak metalinin mekanik özelliklerinin incelenmesi sonucunda E 70 T-5 (bazik) özlü elektrodu için Ar - %50 CO₂ , E 71 T-1 (rutil) özlü elektrodu için Ar - %35 CO₂ optimum gaz karışımı olarak belirlenmiştir. Ar - CO₂ gaz karışımlarının kaynak dikişine etkisi nüfuziyet yönünden incelendiğinde; nüfuziyetin en fazla CO₂ gazı ile elde edildiği saptanmıştır. Bu durum, hem bazik hem de rutil özlü elektrod için geçerlidir. En iyi dikiş formu yine yüksek CO₂ oranlarında elde edilmiş olup; bazik özlü elektrod için Ar - %60 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında, rutil özlü elektrod için Ar - %80 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında gerçekleşmiştir. Ayrıca rutil özlü elektrodla Ar - %25 CO₂ gaz karışımı da iyi dikiş formu vermiştir.

ABSTRACT

In this thesis work, the influence of shielding gas mixtures on the penetration and mechanical properties of the weld bead in the flux cored arc welding have been investigated. Ar - CO₂ gas mixtures were used as the shielding gas and welding was carried out with E 70 T-5 (basic) and E 71 T-1 (rutile) flux cored electrodes. The tests were undertaken by using various shielding gas mixtures while keeping all the other parameters constant. The tests were carried out according to AWS A5.20 (1979). For each electrode - gas combination, three welded test sample and one penetration sample were prepared and subsequently, mechanical properties and penetration ratios were studied on these samples.

In the penetration tests; the width, height and depth of the weld bead and depending on these, the bead profile and penetration ratio were investigated. For the mechanical properties; the hardness, yield and tensile strength, elongation ratio and V-notch impact strength were defined. Taking into account the above named properties, the results were evaluated and the optimum Ar - CO₂ gas mixtures for the basic and rutile flux cored electrodes were determined.

Based on the results derived from the studies on the mechanical properties of welded metal by flux cored arc welding using various Ar - CO₂ shielding gas mixture ratios; for E 70 T-5 (basic) flux cored electrode Ar - 50% CO₂ and for E 71 T-1 (rutile) flux cored electrode Ar - 35% CO₂ were determined as the optimum gas mixture ratios. When the effect of Ar - CO₂ gas mixtures on the weld bead is examined from the view of penetration, the maximum penetration ratio was achieved with CO₂. This is valid for both basic and rutile flux cored electrodes. The best bead profile was also obtained with higher CO₂ mixture ratios, for the basic flux cored electrode Ar - 60% CO₂ and higher mixture ratios of CO₂, and for the rutile flux cored electrode Ar - 80% CO₂ and higher ratios were found. Furthermore, Ar - 25% CO₂ gas mixture has resulted in good weld bead profile.

1. GİRİŞ

İlk olarak 1956 yılında Arcos patenti ile üretilmeye başlanan gaz korumalı özlü elektrodların giderek kullanımı artmış ve günümüz kaynak teknolojisi içinde önemli ve vazgeçilmez bir kaynak yöntemi olmuştur. Bu gelişmedeki en büyük etkenler; kaynak kalitesi ve yüksek verimlilikle birlikte istenilen kompozisyonda kaynak metali elde etmektir. Uygulama alanı giderek artan özlü elektrodla kaynak yönteminin ülkemiz kaynak sektörüne de yansması kaçınılmazdır.

Özlü elektrodla kaynak üzerine yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; bu çalışmaların yoğun olarak verimlilik, kısmen kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu ve buna bağlı olarak mekanik özellikleri ve kaynak dikişinin nüfuziyeti konularını içerdiği görülmektedir.

Özlü elektrodla kaynakta koruyucu gaz karışımlarının; kaynak metalinin nüfuziyeti, kimyasal ve mekanik özellikleri ve kaynak maliyeti üzerine çok büyük etkisi olmasına rağmen, bu konuda yeterli bir çalışma henüz yapılmamıştır. Nitekim koruyucu gaz karışım oranları, ilgili standartlarda yalnızca isim bazında önerilmiş, sayısal bir değer tanımlanmamıştır.

Bu çalışmada; özlü elektrodla kaynakta koruyucu gaz karışımlarının kaynak dikişi üzerine etkisini belirleyebilmek için çeşitli Ar - CO₂ gaz karışım oranları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, gaz karışım oranlarının kaynak dikişinin nüfuziyetini ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlarla, bazik ve rutil özlü elektrodlar için optimum gaz karışım oranları tespit edilmiştir.

2. ÖZLÜ ELEKTRODLA KAYNAK

Özlü elektrodla kaynak; MIG-MAG kaynağına benzer, fakat kullanılan tel farklıdır ve yüksek akım şiddetine sahip kaynak makinası gerektirir. MIG-MAG kaynağındaki gibi telin etrafında koruyucu gaz gerektirebilir veya gaz olmayabilir. Bazı teller kendinden korumalıdır, bazıları ise telin ortasındaki öz ve etrafındaki gaz akışı ile ikili koruma sağlar.

Radyografik kalite olarak da tanımlanan, ilave gaz koruması kullanan çift korumalı özlü elektrodla kaynak uygulaması, en yüksek kaliteli kaynak yöntemlerinden biri olarak adlandırılmaktadır (Kearns,1978).

Genellikle; kendinden korumalı metod örtülü elektrodla kaynak edilebilen uygulamalarda, gaz korumalı metod ise MIG-MAG kaynağı ile kaynak edilebilen uygulamalar yerine kullanılması önerilmektedir. Özlü elektrodla kaynağın avantajları ve dezavantajları dikkate alınarak, diğer özel uygulanabilen yöntemlerle karşılaştırma yapıldığında, birçok öne çıkan avantajlara sahip bulunmaktadır (Sacks,1976).

2.1. Özlü Elektrodların Üretimi

Özlü elektrodların özündeki toz karışımı; metalik, mineral ve metalik olmayan malzemeler içerir. Yoğunluğun değişmemesi için mekanik karıştırma çok önemlidir. Tozlar homojen olarak karıştırılmalıdır. Higroskopik elementler varsa karıştırmadan önce tam olarak kurutulmalıdır.

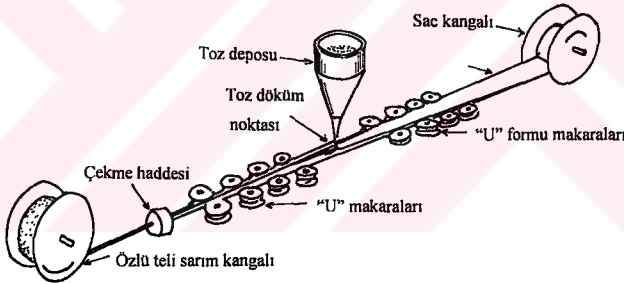
Özlü elektrodlar çekilerek üretilirler. Çekme işleminde, toz besleme önemli rol oynar. Birim zamanda eşit miktarda toz beslenmesi gerekir.

Özlü elektrodlar, çeşitli çaplarda üretilirler, bunun için optimum çelik band genişliği ve kalınlığının yanısıra ilk çekmedeki haddenin uygun seçimi gerekir. Tablo 2.1, bu değerleri göstermektedir (Drzeniek,1987).

Tablo 2.1. Özlü elektrod çaplarına göre kullanılan çelik band ölçüleri

Özlü elektrod çapı (mm)	4.0...3.5	3.2...2.8	3.0...2.6	2.6...2.3	2.2...1.8	1.8...1.5
İlk hadde çapı (mm)	6.0	5.0	4.7	4.0	3.3	3.0
Çelik band genişliği (mm)	18	15	14	12	10	9
Çelik band kalınlığı (mm)	0.8...0.5	0.8...0.5	0.3	0.6...0.5	0.6...0.4	0.3

Özlü elektrodlar, çelik bandın bir dikişli boru üretim makinasında olduğu gibi rulolar arasından geçerek önce U biçiminde kıvrılması ve bu biçimde iken iç kısmına toz halinde özün konarak, aynı makinada ince bir boru haline getirilmesi sonucu elde edilir. Makinadan çıkan bu boru özel çekme tezgahlarında tel gibi çekilerek istenilen çapa indirgenirken aynı zamanda iç kısımda özün iyice yayılıp sıkışarak boşluk kalmaması ve homojen bir biçimde yayılması da sağlanmış olur. Özlü elektrodların üretimi Şekil 2.1' de şematik olarak görülmektedir (Tülbentçi ve diğerleri,1994).



Şekil 2.1. Özlü elektrod üretimi

2.2. Özlü Elektrodların Sınıflandırılması

Özlü elektrodların sınıflandırılması, farklı özelliklerine göre aşağıdaki gibi yapılabilir.

1. Uygulamasına göre:

- Dolgu veya birleştirme kaynakları için
- Değişik kaynak metodları için (MIG, tozaltı, elektrocuruf, elektrogaz)
- Çeşitli malzemelerin kaynağı için (Düşük karbonlu, düşük alaşımlı veya yüksek alaşımlı çelikler, dökme demir, demir dışı metaller ve alaşımları)

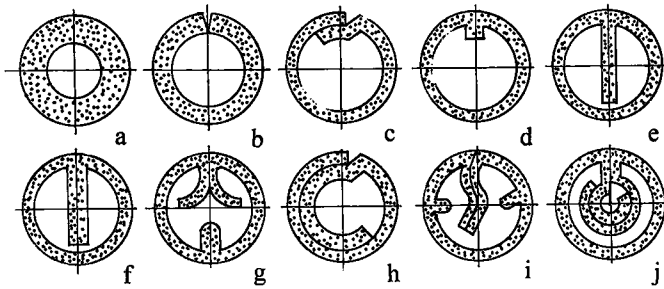
2. Beklenen koruma etkisine göre:

- Kendinden korumalı: Bu metotta özdeki elementler buharlaşarak havanın yerini alır ve kaynak sırasında erimiş kaynak metalini korur.
- Koruyucu gaz, kaynak tozu veya curuf ile ek korumalı: Koruyucu gaz, arkın etrafında ve kaynak banyosunun üzerinde bir zarf oluşturarak erimiş metali havanın oksijen, azot ve diğer bileşenlerinden korur. Gaz akışı, elektrodla ortak merkezli olarak çevresel veya yandan olabilir.

3. Kesit formuna göre:

- Kapalı metal kaplı
- Açık metal kaplı
- Kıvrımlı metal kaplı

Kesit formuna göre özlü elektrodlar Şekil 2.2' de görülmektedir (Drzeniek,1987). Şekil 2.2' de , a-d arası elektrodlar basit ve kapalı formdadırlar, tercihen dolgu kaynaklarında kullanılırlar. a' daki elektrod birleştirme kaynağında kullanılabilir. e-i arası elektrodlar çift kıvrımlı, j' deki elektrod çift katlıdır, bunlar gaz koruması olmadan kullanılırlar.



Şekil 2.2. Çeşitli kesit formlarında özlü elektrodlar

4. Oluşturduğu curuf türüne göre:

Elektrodların formülasyonlarında kullanılan hammaddelere göre, Tablo 2.2'den de görüldüğü gibi farklı tip curufları ve metal transferleri vardır (Vaidya,1989).

- Rutil elektrodlar: Rutil elektrodların ana bileşeni TiO_2 , SiO_2 ve MnO 'dir. Çabuk iyonize olabilen elementlerin çokluğu, ince damla transferi ile çok kararlı ark verir. Curuf sisteminin yüksek erime noktası, dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapma olanağı sağlar. Rutil elektrodların hidrojen miktarı, daha çok seçilen hammaddeye ve üretim tekniğine bağlıdır. Kaynak metalinde hidrojen miktarı, orta ve yüksek derece olarak tanımlanan sınırlar arasındadır (6 ml H_2 / 100 gr kaynak metali).

Tablo 2.2. Özlü elektrod çeşitleri

	RUTİL	BAZİK	METAL ÖZLÜ	GAZSIZ
ANA BİLEŞENLER	TiO_2 , SiO_2 , MnO	CaF_2 , $CaCO_3$	Fe, Si, Mn	Al, Mg, BaF_2 , CaF
TRANSFER TİPİ	Sprey	Küresel	Sprey	Küresel veya sprey
KAYNAK POZİSYONU	Bütün pozisyonlar	Düz, yatay	Bütün pozisyonlar	Bütün pozisyonlar
KAYNAK METALİNİN H_2 MİKTARI	Değişken	Düşük	Çok düşük	Düşük
KAYNAK METALİNİN TOKLUĞU				
Kaynaktan sonra	İyi	Mükemmel	İyi	İyi
KALINTILAR				
Ti ppm	200-800	30	30-200	30-100
Nb ppm	100-300	10	10	10
V ppm	100-300	10-100	20-200	10-100
O ppm	600-800	400-600	400-800	40
N ppm	40-100	40-100	40-100	200-1000
Al %	0.01	0.01	0.01	0.5-2.0

- Bazik elektrodlar: Bazik elektrodların ana bileşeni CaF_2 ve CaCO_3 'dür. Bu bileşikler kolay iyonize olamazlar, böylece ark transferi küresel ve düzensizdir. Düşük erime noktasına sahip curuf bu elektrodlarla dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapmayı güçleştirir. Bazik elektrodlar, kaynak metalindeki düşük hidrojen miktarı ile karakterize edilirler (2-3 ml H_2 / 100 gr kaynak metali).

- Metal özlü elektrodlar (curufsuz): Metal özlü elektrodlar; demir, ferrosilisyum ve ferromanganez gibi metalik tozların bileşimi ile meydana gelir. Çok az miktarlarda arkı stabilize eden elementler ilave edilir. Buna bağlı olarak aşağıdaki avantajları sağlarlar.

1. Çok düşük hidrojen miktarı (3-4 ml H_2 / 100 gr kaynak metali).
2. Kaynak metali üzerinde curuf olmaması (Özde curuf yapıcı elementler yoktur. Ancak kullanılan gaza ve içerdiği silisyum miktarına bağlı olarak kaynak metali üzerinde bir miktar silikat olabilir).
3. Metalik olmayan maddelerin çok az olması nedeni ile kaynak metali miktarının fazla olması.
4. Çok yüksek verime sahip olması (% 90-95).

Darbeli güç kaynakları kullanılarak veya küçük çaplı elektrodlarla dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapmak mümkündür .

- Kendinden korumalı elektrodlar (gazsız): Bu elektrodların temel özelliği, erimiş metali oksidasyondan korumak için yeterli miktarda gaz oluşturmalarıdır. Böylece; bu elektrodlar, ikinci bir koruyucu gaza gereksinim olmadan açık alanda kullanılabilir. Öz bileşenleri; floridler, karbonatlar, Al ve Mg bileşiklerinden oluşur. Bu elektrodların curuf sistemleri rutil veya bazik olabilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi her tipin farklı çalışma karakteristikleri vardır. Elektrodlar; tek paso, çok paso, dik ve tavan pozisyonu, küresel veya spreysel transfer için üretilirler. Özde yüksek miktarda florid bulunduğu için bu elektrodların kaynak metalinde hidrojen miktarı düşüktür.

Rutil elektrodlar kullanılarak yapılan kaynak metallerinin yaklaşık aynı kimyasal analize sahip bazik elektrodlar kullanılarak yapılan kaynak metallerine göre çekme dayanımları yüksek, toklukları düşüktür. Metal özlü elektrodlar, rutil elektrodlara benzer ve metalurjik olarak bazik elektrodlara yakın özellikler verirler.

Bir elektrodun rutil veya bazik olduğunu gösteren baziklik indeksi aşağıdaki formülle hesaplanır (Stearns et al, 1982).

$$B.I = \frac{\%CaO + \%MgO + \%MnO + \%FeO + \%Na_2O + 1/2 \%CaF_2}{\%SiO_2 + \%TiO_2} \quad (2.1)$$

Rutil elektrodlarda B.I = 0.3 - 0.7

Bazik elektrodlarda B.I = 1.5 - 2.5

2.3. Özlü Elektrodların Öz Maddeleri

Özlü elektrodların özünde kullanılan birçok madde vardır. Tipik bir öz içeriği yaklaşık 15 farklı bileşenden oluşur. Özlü elektrod bileşimi oluşturulurken, her maddenin fiziksel ve kimyasal karakteristikleri gözönüne alınmalıdır.

Öz bileşenleri fonksiyonel olarak 5 sınıfa ayrılır (Vaidya,1989):

- Arkı stabilize edenler
- Dezoksidasyonu sağlayanlar
- Gaz oluşturanlar
- Curuf oluşturanlar
- Alaşımlama yapanlar

Aşağıda, özde bulunan elementler ve kullanılma maksadı yer almaktadır (Kearns,1978).

<u>Element</u>	<u>Kullanılma Maksadı</u>
Alüminyum	Dezoksidasyon ve denitrürasyon
Kalsiyum	Koruma ve curuf oluşturma
Karbon	Sertliği ve dayanımı artırma
Krom	Sürünme direncini, dayanımı ve korozyon direncini arttırmak için alaşımlama
Demir	Alaşımlama
Manganez	Dezoksidasyon, MnS oluşturarak sıcak çatlamaya engel olma, sertliği ve dayanımı artırma, curuf oluşturma
Molibden	Sertlik dayanımını artırma ve östenitik paslanmaz çeliklerde korozyon direncini arttırmak için alaşımlama
Nikel	Sertlik, dayanım, tokluk ve korozyon direncini arttırmak için alaşımlama
Potasyum	Arkı stabilize etme ve curuf oluşturma
Sodyum	Arkı stabilize etme ve curuf oluşturma
Silisyum	Dezoksidasyon ve curuf oluşturma
Titanyum	Dezoksidasyon ve denitrürasyon, curuf oluşturma ve bazı paslanmaz çeliklerde tanelerarası korozyona karşı karbonu stabilize etme
Zirkonyum	Dezoksidasyon ve denitrürasyon
Vanadyum	Dayanımı artırma

2.4. Özlü Elektrodların Standartları

Özlü elektrodlar için AWS¹ Standartları yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu standartlar aşağıda verilmiştir (Lalor,1987).

AWS A5.20: Alaşımsız Çelik Elektrodlar İçin Standard

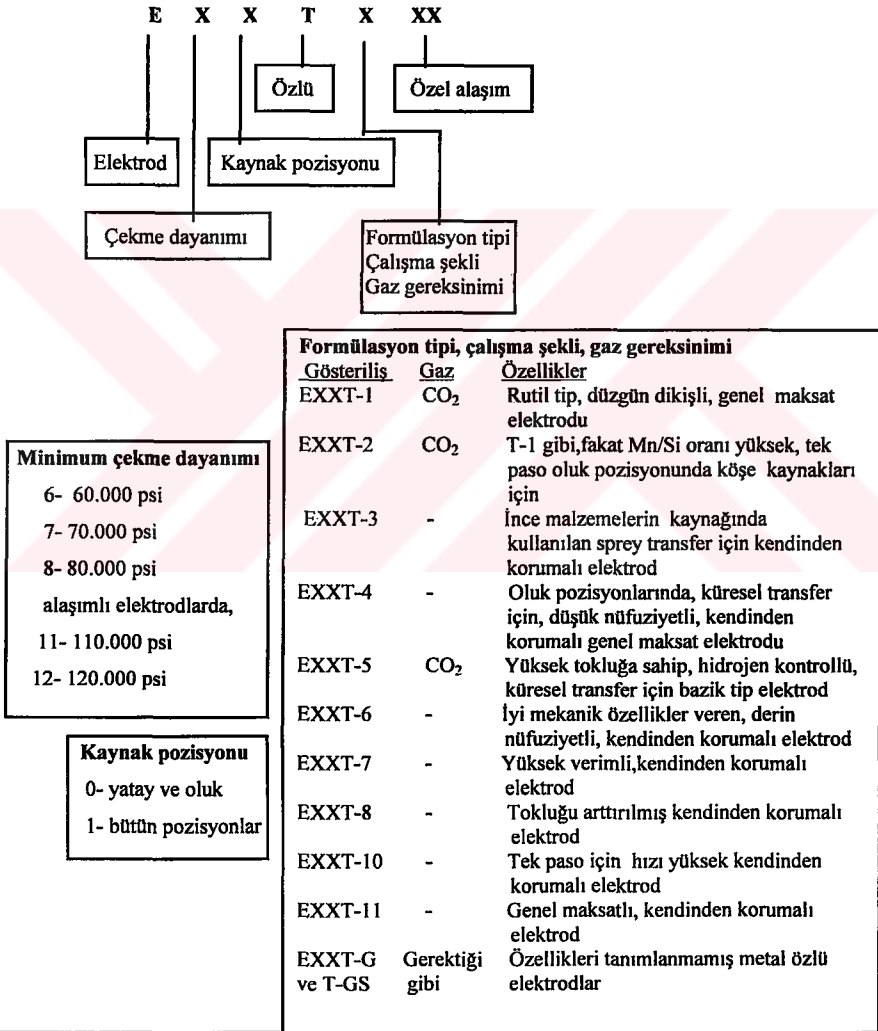
AWS A5.29: Düşük Alaşımlı Çelik Elektrodlar İçin Standard

AWS A5.22: Korozyona Dayanıklı Krom ve Krom-Nikel Çeliği Elektrodlar İçin Standard

¹ American Welding Society

Alaşımsız çelik elektrodlar için AWS A5.20, BS 7084¹, DIN 8559² ve TS 5618³ aşağıda açıklanmaktadır.

AWS A5.20'ye göre özlü elektrodların sınıflandırılması (Anon., 1990)

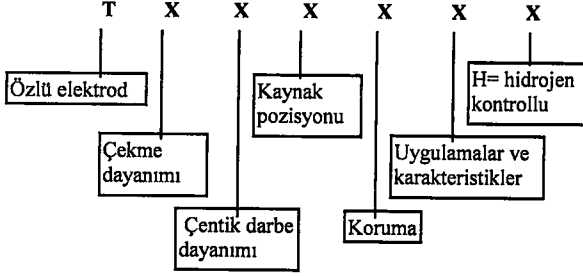


¹ British Standard

² Deutsche Industrie Normen

³ Türk Standardı

BS 7084'e göre özlü elektrodların sınıflandırılması (Anon., 1990)



Çekme özellikleri

	Çekme dayanımı	Akma dayanımı	Minimum uzama
Sayı	N/mm ²	N/mm ²	%
4	430-550	330	20
5	510-650	360	18

Koruma

G= Gaz
N= Gazsız

Hidrojen kontrollü

H bulunduğu zaman kaynak metalinin hidrojen miktarı, 15 ml/100gr

Çentik darbe dayanımları
(Minimum 47 J için sıcaklık)

Sayı	Sıcaklık (°C)
-	-
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60
7	-70

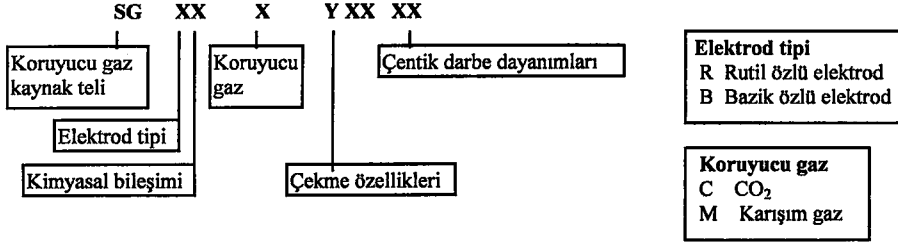
Kaynak pozisyonu

0- yatay ve oluk
1- bütün pozisyonlar
2- yukarıdan aşağı hariç bütün pozisyonlar
9- 0-2'de sınıflandırılmayan herhangi bir pozisyon

Uygulamalar ve karakteristikler

Harf	Gaz	Özellikler
R	CO ₂	Sprey transferde yatay ve oluk pozisyonlarda kullanılan, genellikle rutil elektrod
P	Ar bazlı veya CO ₂	Sprey transferde bütün pozisyonlarda kullanılan, genellikle rutil elektrod
B	CO ₂ veya Ar bazlı	İyi mekanik özellikler için bazik elektrod
M	Ar bazlı veya CO ₂	Metal özlü elektrod- metalik olmayan malzemelerin toplamı, elektrod kütlesinin %1'inden az
U	-	Yatay ve oluk pozisyonlarda yüksek kaynak metali miktarı için
V	-	Yatay ve oluk pozisyonlarda tek paso yüksek kaynak hızları için
W	-	Çok pasolu yatay ve oluk pozisyonları için
X	-	Yüksek miktarda metal tozlu, bütün pozisyonlar için
Y	-	Düşük miktarda metal tozlu, bütün pozisyonlar için
S	Gerektiği gibi	Yukarıda açıklanmayan diğer tipler

DIN 8559 ve TS 5618'e göre özlü elektrodların sınıflandırılması (TS 5618, 1988)



Özlü elektrodların kaynak metalinin kimyasal bileşimleri (%)

Sembol	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cu ≤	Ni ≤	Müsaade edilen safsızlıklar
SG R1	0.05-0.12	0.2-0.6	0.8-1.4	0.03	0.03	0.30	0.7	Cr 0.15, V 0.03, Mo 0.15
SG B1	0.05-0.12	0.15-0.45	0.8-1.6	0.03	0.03	0.30	0.7	Zr + Ti 0.15, Al 0.02

Çekme özellikleri

Sembol	Çekme dayanımı N/mm ²	Minimum akma sınırı N/mm ²	Minimum uzama %
Y 42	500-640	420	22
Y 46	530-680	460	22
Y 50	560-720	500	22

Çentik darbe dayanımları

Birinci basamak	28 J için sıcaklık (°C)	İkinci basamak	47 J için sıcaklık (°C)
0	-	0	-
1	+20	1	+20
2	0	2	0
3	-20	3	-20
4	-30	4	-30
5	-40	5	-40

2.5. Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Makinaları

Kendinden korumalı ve gaz korumalı özlü elektrodla kaynak makinaları birbirine benzer, ancak gaz korumalı metodun diğerinden en önemli farkı, bunların gaz besleme elemanları ile donatılmış olmalarıdır. Genel olarak uygulamalarda, MIG kaynağında kullanılabenzer şekilde sabit tip karakteristikli yarı otomatik veya otomatik doğru akım kaynak makinaları kullanılmaktadır.

Birçok yarı otomatik uygulamada 650 A'den düşük akım şiddeti kullanılır. Özel uygulamalar için maksimum akımda çalışma gerekebilir. Uygun kontrollar ve tel besleme ile sabit tip karakteristikli kaynak makinaları yeterli kapasitede kullanılabilir.

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.

Özlü elektrodların düzgün beslenmesi için tel sürme makaraları kullanılır. Bazı tel besleme ünitelerinde bir çift makara, bazılarında ise iki çift makara vardır.

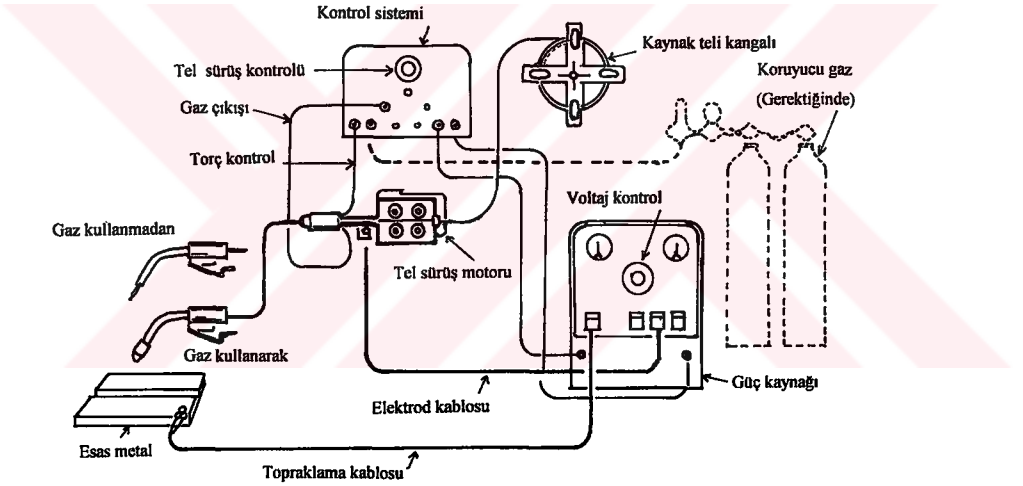
Kaynak tabancaları; taşıma rahatlığı, hareket ettirme kolaylığı ve dayanıklılığı gözönüne alınarak dizayn edilmiştir. Tabancalar, kaynak akımını iletmek için elektrodla içten temas eder. Kaynak akımı ve tel beslemesi, tabanca üzerindeki düğme ile sağlanır. Kaynak tabancaları, gaz soğutmalı ve su soğutmalı olabilir. Gaz soğutmalı tabancalar daha hafiftir ve daha az bakım gerektirir. Sürekli çalışmada 600 A kapasitesi vardır. Nozulları düz veya kavislidir. Bazı uygulamalarda, kavisli nozullar elastikiyeti artırır ve elektrod hareketini kolaylaştırır.

Bazı kendinden korumalı özlü elektrodlar, uygun korumayı sağlamak için minimum serbest tel uzunluğu gerektirir. Bu elektrodlar için kullanılan kaynak tabancalarının yalıtılmış kılavuzları vardır (Kearns, 1978).

Seri ve sürekli çalışmalarda, %100 devrede kalma süresi için dizayn edilmiş doğru akım sabit tip karakteristikli kaynak makinası gerekir. Kaynak için gerekli olan akım şiddetine göre kaynak makinası seçilir. Çünkü geniş çaplı elektrodlar, yüksek elektrod besleme hızları ve uzun kaynak süreleri gerektirebilir. Otomatik kaynakta nozullar, 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. Nozullar, hava veya su soğutmalı olabilir. Genellikle, hava soğutmalı nozullar 600A'e kadar akım şiddeti için tercih edilir. Su soğutmalı nozullar 600A'den yüksek akım şiddetleri için tavsiye edilir (Kearns,1978).

Şekil 2.3'de özlü elektrodla kaynak donanım blok şeması görülmektedir (Tülbentçi ve diğerleri,1994).



Şekil 2.3. Özlü elektrodla kaynak donanım blok şeması

2.6. Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Gazlar

Koruyucu gaz kullanımının esas amacı kaynak metalini oksitlerin oluşumundan korumaktır. Bu oluşum, gözenek ve kırılgnlık gibi çeşitli problemlere neden olduğu gibi, öngörülen bileşimden de sapmalar ortaya çıkarmaktadır.

Koruyucu gaz ve akış miktarı, kaynak aşaması ve sonrasında aşağıdaki faktörler üzerine etki eder (Irving,1994):

- Ark karakteristikleri
- Metal transfer tipi
- Nüfuziyet ve kaynak dikişi profili
- Kaynak hızı
- Yanma oluğuna eğilim
- Temizleme etkisi
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri

Kaynakta kullanılan gazların çeşitli özellikleri Tablo 2.3’de verilmiştir. Bu özelliklerin kaynak üzerinde değişik etkileri vardır (Cary,1989).

Kullanılan gazların doğal ortama göre özgül ağırlıkları koruma işlevlerine yansımaktadır. Helyum gibi hafif gazlar havada kalır ve kaynak yerini yeterli derecede koruyamaz, ağır gazlar havanın yerini alır ve kapalı bu bağlamda korumalı bir bölge oluşturur.

Ark sıcaklığına bağlı olarak değişen ısı iletkenliği ve ark uzunluğu gaz ile iletilen ısının hızını ve miktarını etkiler.

Düşük iyonizasyon enerjisine sahip gazlarla arkı oluşturmak daha kolaydır. Yüksek iyonizasyon enerjisi ark sıcaklığını artırır.

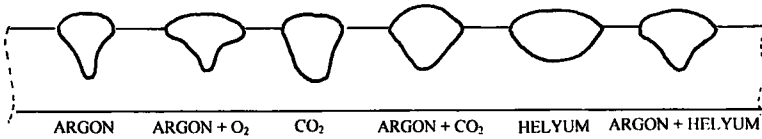
Diatomik gazlarla ark içinde moleküller dissosiasyona uğrar. Bu proses ısı enerjisi absorbe eder ve bu ark ısısı ile birleşir. Monatomik gazlarda dissosiasyon olayı yoktur.

Koruyucu gazlarla ilgili en önemli özellik de gazın safiyetidir. Bütün gazlar için safiyet %99’un altında olmamalıdır.

Tablo 2.3. Aktif ve soy gazların özellikleri

	Hava	Argon	Karbon Dioksit	Helyum	Azot	Oksijen	Hidrojen
Sembol	Hava	Ar	CO ₂	He	N ₂	O ₂	H ₂
Tip	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 (m³/kg) 21°C, 1 atm	0.826	0.596	0.540	5.964	0.851	0.746	11.841
Özgül kütle (kg/m³) 21°C, 1 atm	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 2.4'de görüldüğü gibi koruyucu gazlar, kaynak dikişi formunu da etkiler (Cary,1989).



Şekil 2.4. Koruyucu gazların kaynak dikişi formuna etkisi

Özlü elektrodla kaynakta koruyucu gaz olarak en çok kullanılan gazlar karbondioksit ve gaz karışımlarıdır.

Karbondioksit

Özlü elektrodla kaynakta en çok kullanılan gaz karbondioksittir. Düşük maliyet ve derin nüfuziyet, karbondioksitin iki avantajıdır. Elektrod ucundan malzeme göçümü küresel damla formundadır.

Karbondioksit, oda sıcaklığında aktif değildir. Kaynak arkı ile yüksek sıcaklıkta ısıtıldığı zaman karbondioksit, karbonmonoksit ve oksijene ayrışır.



Karbondioksitin oksitleyici etkisi vardır. Bunun için özlü elektrodların öz maddesine dezoksidasyon elementleri katılmalıdır.

Erimiş demir, karbondioksitle reaksiyona girer , demiroksit ve karbonmonoksit meydana gelir.



Kızıl sıcaklıkta, karbonmonoksitin bir kısmı dissosiasyona uğrar, karbon ve oksijene ayrışır.



Esas metal ve elektroddaki karbon miktarına bağlı olarak karbondioksitin karbonlayıcı veya karbon giderici ortam olarak değişik davranışı vardır. Karbondioksitin etkisi ile kaynak metalinin karbon miktarı, elektrod ve esas metalden katılan karbon miktarından az veya çok olabilir.

Kaynak metalinin karbon miktarı % 0.05'in altında ise, erimiş kaynak banyosu karbondioksit koruyucu atmosferinden karbon almaya eğilimlidir. Karbon miktarı % 0.10'un üstünde ise, erimiş kaynak banyosu karbon kaybına eğilim gösterir. Karbondioksitin yüksek sıcaklıklarda oksitleyici karakteri nedeni ile bu karbon kaybı karbonmonoksit oluşumunu gerçekleştirir. Bu reaksiyon meydana geldiği zaman, karbonmonoksit kaynak metalinde gözeneğe yol açar. Bu durum, ancak öze katılan dezoksidasyon elementleri ile minimuma indirilir. Oksijen dezoksidasyon elementleri ile reaksiyona girerek erimiş kaynak banyosunun üzerinde oksit bileşikleri oluşturur, bunlar da curuf tabakasını meydana getirir.

Gaz Karışımları

Öztlü elektrodla kaynakta iki veya daha çok gazın karışım olarak kullanılması birçok avantaj sağlar. Karbondioksit veya oksijen ile yüksek oranda soy gazın birlikte kullanılması halinde özde bulunan dezoksidasyon elementlerinin etkisi daha çok olur. Bütün kaynak sıcaklıklarında argonun erimiş kaynak banyosunu koruma kabiliyeti vardır. % 100 karbondioksitle karşılaştırılırsa, yeterli derecede argon içeren gaz karışımları ile daha az oksidasyon oluştuğu görülür.

Öztlü elektrodla kaynakta kullanılan gaz karışımı % 75 Ar - % 25 CO₂ olması koşulunda, kaynak metalinin çekme ve akma dayanımları, % 100 CO₂ kullanılmasıdaki değerlere göre daha yüksektir. Bu gaz karışımı kullanıldığı zaman elektroddan malzeme göçümü spray formundadır.

Karbondioksit için üretilmiş elektrodların yüksek oranda soy gaz içeren gaz karışımları ile kullanılması, kaynak metalinde aşırı derecede manganez, silisyum gibi dezoksidasyon elementlerinin varlığına sebep olabilir. Kaynak metalinin yüksek alaşım içermesi mekanik özelliklerini değiştirir. Bu nedenle elektrod ile gaz veya gaz karışımının birlikte seçimi önem kazanmaktadır (Kearns,1978).

Gazaltı kaynağında, demirdışı metaller kaynak yapıldığında argon ve helyum gazları kullanılmaktadır. Fakat çeliklerin kaynağında iyi sonuçlar elde etmek için oksijen ve karbondioksit ilavesi gerekir. Çeliklerin kaynağında saf argon kullanıldığı zaman yanma oluğu oluşabilir. % 1-5 O₂ veya % 3-25 CO₂ ilave ederek yanma oluğu önlenabilir. Aynı zamanda arkın stabilitesi sağlanmış olur.

Karbondioksit derin nüfuziyet ve yüksek ark enerjisi sağlar, oksijen iyi ısıtma ile birlikte sıçramayı azaltır.

Amerika'da saf CO₂ veya % 75 Ar - % 25 CO₂ gaz karışımı, Avrupa'da ise % 82 Ar - % 18 CO₂ gaz karışımı en çok kullanılan gazlardır. Japonya'da ise maliyetinin yüksek olması nedeni ile argonun yasaklandığı yerde saf karbondioksit kullanılır.

Sprey transfer ve kısa devre transferi için gazaltı kaynağında kullanılan koruyucu gazlar aşağıda tablo olarak verilmiştir (Irving,1994).

Karbon çeliği ince ise ve yatay veya oluk pozisyonunda çalışılıyorsa; hızlı kaynak, az sıçrama ve iyi dikiş profili için % 95 Ar - % 5 O₂ çok uygundur. Oksijen en fazla % 8'e çıkarılabilir. 1.6 mm - 3.2 mm karbon çeliğinin kaynağında spre transfer elde edilir. Oksijen miktarı sıçramayı büyük ölçüde azaltır, nüfuziyet uygun olur, duman miktarı azalır. Oksijen kullanıldığında, % 5 -8 O₂ ile kısa ark boyu, % 2 O₂ ile uzun ark boyu koşulları ortaya çıkar.

3.2 mm ve daha kalın çeliklerde kısa devre transferi için, en az % 15 CO₂ gerekir ve nüfuziyet problemi olabilir. % 75 Ar - % 25 CO₂ , kısa devre transferi için uygundur.

Kısa devre ve spre transfer için Avrupa'da en çok kullanılan gaz karışımı % 80 Ar - % 20 CO₂'dir. Amerika'da geliştirilen % 85 Ar - % 15 CO₂ ve % 75 Ar - % 25 CO₂ gaz karışımları ile rekabet etmek için % 95 Ar - % 5 O₂ ve % 92 Ar - % 8 O₂ gaz karışımları geliştirilmiştir.

Tablo 2.4. Karbon çeliği ve düşük alaşımlı çeliğin gazaltı kaynağında sprey transfer ve kısa devre transferi için koruyucu gazlar

TRANSFER TİPİ	KORUYUCU GAZ	KALINLIK	AVANTAJLARI
Sprey transfer			
Karbon çeliği	% 95 Ar + % 3.5 O ₂	-	Arkın stabilitesi artar Akışkan ve kontrol edilebilir kaynak banyosu İyi birleşme ve dikiş profili Yanma oluğu minimum Saf argona göre yüksek kaynak hızı
Düşük alaşımlı çelik	% 90 Ar + % 8-10 CO ₂	-	Yüksek kaynak hızı Düşük maliyet
	% 98 Ar + % 2 O ₂	-	Yanma oluğu minimum İyi tokluk
Kısa devre transferi			
Karbon çeliği	% 75 Ar + % 25 CO ₂	<3.2 mm	Yüksek kaynak hızı Minimum distorsiyon ve sıçrama
	% 75 Ar + % 25 CO ₂	>3.2 mm	Minimum sıçrama Temiz kaynak görünümü Dik ve tavan pozisyonlarında kaynak banyosunun kontrolü iyi
Düşük alaşımlı çelik	% 60 - 70 He + % 25 - 35 Ar + % 4.5 CO ₂	-	Minimum reaktivite, az sıçrama Mükemmel tokluk, ark stabilitesi, ısıtma karakteristikleri ve dikiş profili
	% 75 Ar + % 25 CO ₂	-	İyi tokluk, Mükemmel ark stabilitesi, ısıtma karakteristikleri ve dikiş profili Az sıçrama

2.7. Özlü Elektrodla Kaynakta Kullanılan Kaynak Parametreleri

Özlü elektrodla kaynakta kullanılan kaynak parametreleri aşağıda sıralanmıştır.

Kaynak akımı

Kaynak akımı; elektrod çapı, kompozisyonu ve serbest tel uzunluğuna bağlı elektrod besleme miktarı ile orantılıdır. Elektrod besleme miktarı ile kaynak akımı arasındaki ilişki Şekil 2.5’de alaşımsız gaz korumalı elektrodlardan E 70 T-1 için gösterilmiştir (Kearns, 1978).

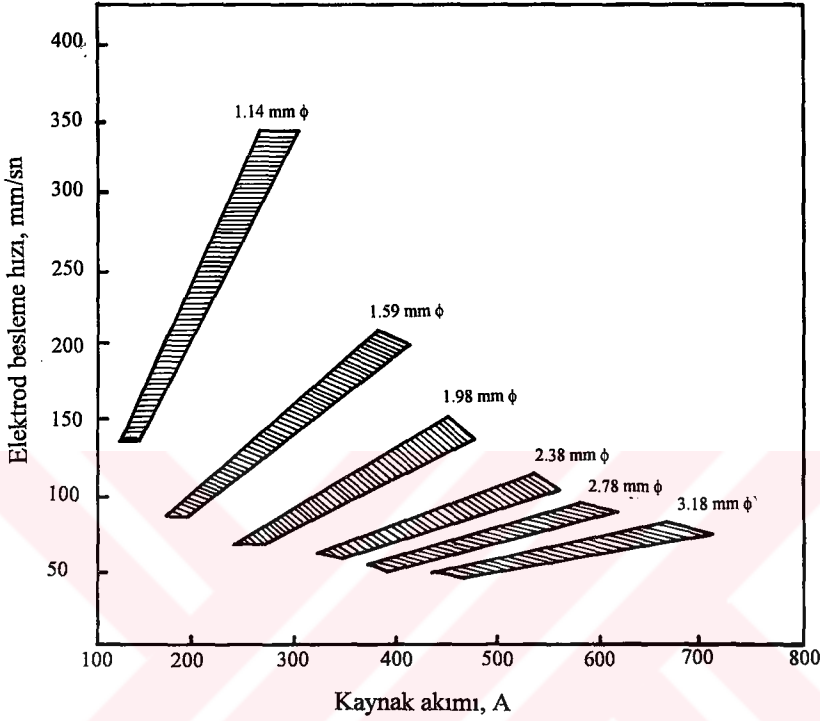
Özlü elektrodla kaynakta sabit gerilimli kaynak makinası ve 50 A - 750 A akım şiddeti kullanılır. Verilen elektrod çapı için diğer kaynak parametreleri sabit tutulup kaynak akımı değiştirilirse aşağıdaki etkiler olabilir:

- Akımın artırılması kaynak metali miktarını artırır.
- Akımın artırılması nüfuziyeti artırır.
- Akımın artırılması kaynak metalinin hidrojen miktarını artırır (Ferree, 1992).
- Çok yüksek akım şiddeti ile zayıf görünümlü konveks dikişler oluşur.
- Yeterli olmayan akım şiddeti ile geniş damla geçişi ve aşırı sıçrama meydana gelir.Yeterli olmayan akım şiddeti, kendinden korumalı özlü elektrodlarla kaynak yapıldığı zaman kaynak metalinde azot birikimine ve gözeneğe sebep olur.

Elektrod besleme miktarının değiştirilmesi ile kaynak akımı artırılıp azaltıldığında; ark uzunluğu, akım şiddetine göre ark gerilimini ayarlamak için değiştirilmelidir. Verilen elektrod besleme miktarı için, kaynak akımı serbest tel uzunluğu ile değişir. Serbest tel uzunluğu arttıkça kaynak akımı düşer (Kearns, 1978).

Ark gerilimi

Ark gerilimi, ark uzunluğu ile yakın ilgilidir. Kaynak makinasının gerilim göstergesi, kaynak devresi boyunca toplam gerilim düşmelerini gösterir. Bu; kaynak kablosu, serbest tel uzunluğu, ark, iş parçası ve topraklama kablосundaki gerilim düşmelerini içerir (Kearns, 1978).



Şekil 2.5. E 70 T-1 elektrodları için kaynak akımına bağlı elektrod besleme hızı

Kaynak metalinin görünüşü, sağlamlığı ve özellikleri ark gerilimi ile etkilenir. Çok yüksek ark gerilimi (çok uzun ark); aşırı sıçrama ve geniş, düzensiz dikiş formu oluşturur. Ark gerilimi artınca ark uzunluğu artar. Bu durumda gaz koruması zayıflar ve kaynak metalinin azot miktarı artar. Alaşımsız elektrodlar ile kaynak yapıldığı zaman gözeneğe sebep olur.

Çok yüksek ark gerilimi, paslanmaz çelik elektrodalarda kaynak metalinin ferrit miktarını azaltır ve bu çatlamaya sebep olur. Ark geriliminin çok düşük olması (çok kısa ark); dar, konveks dikişler ve aşırı sıçrama oluşturur ve nüfuziyeti azaltır (Pisaraski et al, 1991).

Serbest tel uzunluğu

Diğer parametreler sabit kalmak şartı ile serbest tel uzunluğu ile orantılı olarak elektrod ısınır. Elektrod sıcaklığı; ark enerjisi ve buna bağlı olarak nüfuziyeti etkiler. Serbest tel uzunluğunu arttırmak elektrodun ısınma direncini artırır. Bu durum, elektroda ön ısıtma yapar ve ark boyunca gerilimi düşürür. Aynı zamanda kaynak akımı düşer, bu da esas metali eritmek için gerekli olan ısıyı düşürür. Sonuçta kaynak dikişı daralır ve nüfuziyet azalır. Serbest tel uzunluğunun ark gerilimine, kaynak akımına ve ısı girdisine etkileri Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de sırası ile görölmektedir (Yed, 1992).

Serbest tel uzunluğunu, koruma şartları ve ilgili kaynak parametreleri ile dengede tutmak gerekir. Ark karakteristiklerinde olduğu gibi öz maddeleri ile bunları saran tel kısmının erime ve kaynaşmaları da uygun olmalıdır.

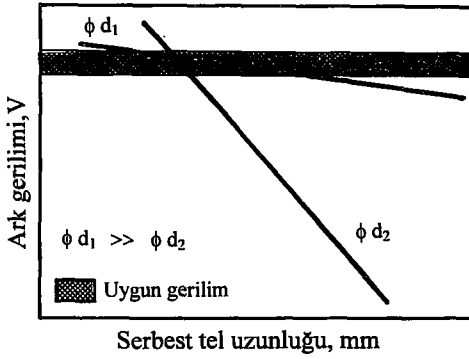
Diğer parametreler sabit kalmak koşulu ile; çok uzun serbest tel uzunluğu, aşırı sıçrama ile kararsız ark oluşturur. Çok kısa serbest tel uzunluğu ise ayarlanmış gerilimde ark uzunluğunun aşırı derecede artmasına sebep olabilir.

Gaz korumalı elektrodalarda, çok kısa serbest tel uzunluğu nozulda aşırı sıçrama birikimine sebep olur ki bu da gaz akışını engeller. Böylece, koruyucu gaz tam bir koruma yapamaz, kaynak metalinin hidrojen miktarı artar, gözeneğe ve aşırı oksidasyona sebep olur (Ferree, 1992).

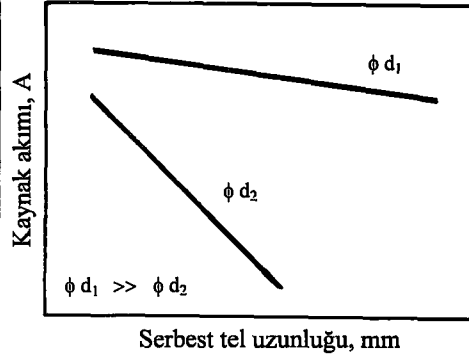
Uygulamaya bağlı olarak serbest tel uzunluğu; gaz korumalı elektrodlar için 19-38 mm, kendinden korumalı elektrodlar için 19-95 mm olarak tavsiye edilir (Kearns, 1978).

Kaynak hızı

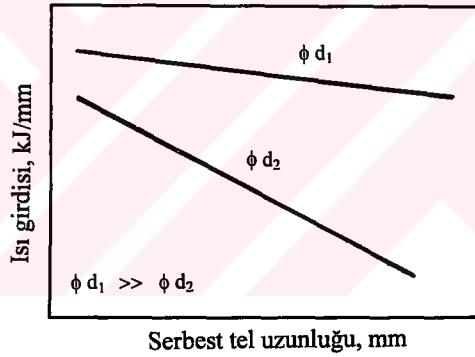
Kaynak hızı, kaynak dikişinin şeklini ve nüfuziyetini etkiler. Diğer parametreler sabit kalmak koşulu ile düşük kaynak hızları, yüksek kaynak hızlarına göre daha derin nüfuziyet verir.



Şekil 2.6. Serbest tel uzunluğunun ark gerilimine etkisi



Şekil 2.7. Serbest tel uzunluğunun kaynak akımına etkisi



Şekil 2.8. Serbest tel uzunluğunun ısı girdisine etkisi

Yüksek akımlarda çok düşük kaynak hızları kullanıldığında kaynak metali aşırı derecede ısınır, bu da curufun dikiş altında kalmasına ve pürüzlü dikişe sebep olur. Çok yüksek kaynak hızları düzensiz, halat biçimli kaynak dikişlerine sebep olur (Kearns, 1978).

Koruyucu gaz akışı

Gaz korumalı elektrodlar için gaz akış miktarının kaynak kalitesine çeşitli etkileri vardır. Yetersiz akış miktarı, kaynak metali ve transfer edilen ilave metalin zayıf korunmasına neden olur, bunun sonucu olarak kaynak metalinde gözenek ve oksidasyon

meydana gelir. Aşırı gaz akışı hava ile karışır ve kaynak kalitesine yetersiz akışdaki aynı etkiyi yapar. Yeterli gaz akışı; nozul tipi ve çapına, nozulun iş parçasına olan uzaklığına ve kaynak yapılan bölgenin hava hareketine göre ayarlanır. Durgun havada kaynak yaparken akış miktarı 14-19 lt/dak yeterli iken rüzgarlı havada kaynak yaparken veya serbest tel uzunluğu normalden fazla ise 26 lt/dak'ya çıkarılması gerekebilir (Kearns, 1978).

Kaynak metali miktarı ve verimi

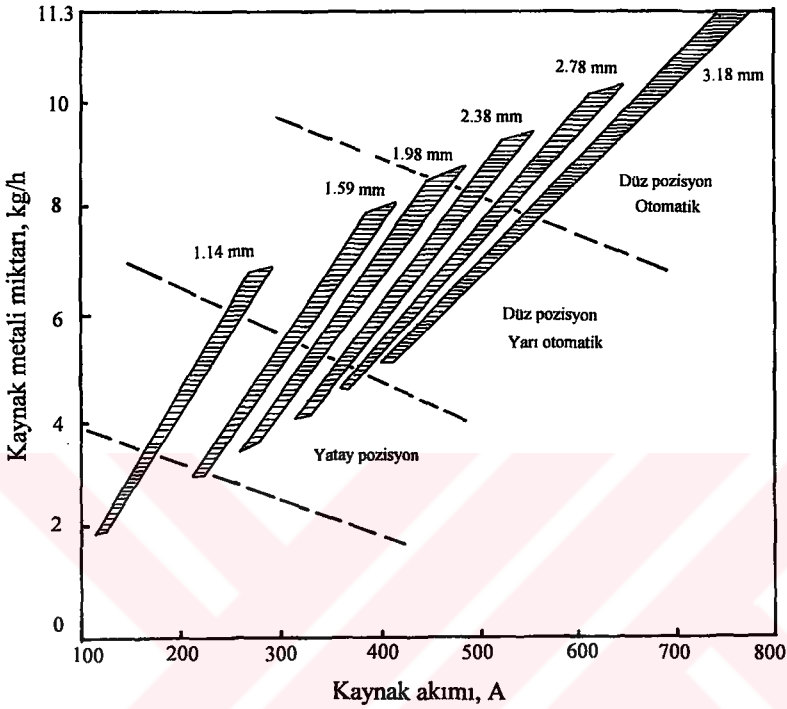
Kaynak metali miktarı, birim zamanda yığılan kaynak metali ağırlığıdır. Kaynak metali miktarı; elektrod çapı, elektrod kompozisyonu, serbest tel uzunluğu ve kaynak akımı gibi kaynak karakteristiklerine bağlıdır. Şekil 2.9'da çeşitli çaplarda gaz korumalı elektrodlar için kaynak akımına göre kaynak metali miktarları görülmektedir. (Kearns, 1978).

Verim, kaynak metali ağırlığının eriyen elektrod ağırlığına oranıdır. Metal özlü elektrodlarda % 90-95 veya daha fazla olan yüksek verimlere ulaşılır. Bu elektrodların kaynak metali miktarları fazla değildir, fakat çok az curuf olduğundan paslanmaz çelik için curuf temizleme yoktur veya çok azdır.

Metal özlü elektrodların verimi, MIG tellerinin verimi ile aynı olup, özlü elektrodun verimi (gaz korumalı olanlarda % 85-90, kendinden korumalı olanlarda % 80-87) ve örtülü elektrodun veriminden (% 69) daha yüksektir (Widgery, 1986).

Elektrod açısı ve yönü

Elektrod açısı, elektrodun kaynak eksenine dik eksenle arasındaki açıdır. Uygun elektrod açısı, kullanılan özlü elektrodla kaynak metoduna, esas metalin kalınlığına ve kaynak pozisyonuna bağlıdır. Yatay ve oluk pozisyonlarda, kendinden korumalı elektrodlar için elektrod açısı 20-45°, gaz korumalı elektrodlar için 2- 15° olmalıdır. Gaz korumalı elektrodlarda bu açı çok büyük olursa koruyucu gazın etkisi kaybolur. Elektrod açısı büyüdükçe nüfuziyet azalır. Bu nedenle malzeme kalınlığı arttıkça nüfuziyeti arttırmak için elektrod açısı küçültülür (Kearns, 1978).



Şekil 2.9. E 70 T-1 gaz korumalı elektrodlar için kaynak akımına bağlı kaynak metali miktarı

Kaynak tabancasının yönüne göre iki türlü çalışma tekniği vardır. Kaynak tabancasının kaynak yönüne doğru tutulması ile derin nüfuziyet, kaynak yönünün tersine doğru tutulması ile geniş dikiş elde edilir (Sacks, 1976).

2.8. Birleştirme Şekilleri ve Kaynak Metodları

Birleştirme şekilleri ve kaynak metodları, özlü elektrodla kaynağın gaz korumalı veya kendinden korumalı metodlarından hangisi kullanılıyorsa ona uygun olmalıdır.

Gaz korumalı elektrodlar, küçük ağız açılı dar oluklar ve dar kök açıklıkları - geniş kök yüzeyleri için kullanılabilir. Genelde yüksek akım yoğunluğu ile elde edilen nüfuziyet avantajlı birleştirme sağlar. Alın kaynakları için; bir sonraki paso kaynak edilirken sabit serbest tel uzunluğu uygulanabilmelidir, köke erişilebilmeli ve kaynak yaparken elektroda gereken hareket verilebilmelidir. Malzeme kalınlıklarına göre ağız açıları, kaynağına uygun gaz nozulları ve serbest tel uzunlukları için dizayn edilir. Yandan korumalı kaynak, dar birleştirmelerde ve küçük ağız açıları kullanıldığı zaman çevresel korumaya göre daha iyi erişilebilirlik sağlar. Sağlam kaynak bağlantıları için uygun gaz koruması gerekir.

Kendinden korumalı elektrodlarda serbest tel uzunluğu birleştirme dizaynını etkiler. Arka taraftan kaynaklanmayan kaynaklarda, serbest tel uzunluğu uzun olduğu zaman, yeterli kök nüfuziyeti sağlanmalıdır.

Erimenin daha iyi kontrolü ve nüfuziyet için ilk pasonun örtülü elektrodla yapılması daha iyi olabilir. Arka taraftan kaynak yapıldığı zaman tam erimeyi sağlamak için kök açıklığı yeterli olmalıdır. Altlık kullanılma-yacaksa, kök pasonun kaynağı için arka tarafı taşıyıp tekrar kaynak yapmak gerekebilir.

Özlü elektrodla kaynak için ağız hazırlama, esas metalin cinsine ve birleştirme şekline bağlı olarak oksiasetilen kaynağı, plazma kesme veya talaş kaldırma ile yapılabilir. Kaynak için uygunluk toleransları; birleştirme için gereken kalite seviyesine, kaynak metoduna, esas metalin kalınlığına, elektrod tipi ve çapına ve kaynak pozisyonuna bağlıdır (Kearns, 1978).

2.9. Özlü Elektrodla Kaynağın Avantajları ve Sınırlamaları-Uygulama Alanları

Özlü elektrodların avantajları aşağıda sıralanmıştır (Sacks, 1976):

- Yüksek kaliteli kaynak metali
- Düzgün dikişler
- Yatay köşe kaynaklarında düzgün dikiş profili
- Çeşitli kalınlıklarda farklı çelik türlerinin kaynağı
- Kolay mekanize edilebilmesi
- Yüksek akım yoğunluğundan dolayı yüksek kaynak metali miktarı
- Yüksek kaynak hızları
- Ekonomik birleştirme dizaynları
- Arkın rahat gözlenmesi
- Gaz korumalı metodda derin nüfuziyet etkisi ile kaynak pasolarının azalması
- Gaz korumalı metodda curufun çok kolay kalkması
- Çeşitli alaşım imkanı
- Düşük hidrojen miktarı
- Sıçrama oluşumunun yok denecek seviyede bulunması

Özlü elektrodların yukarıda verilen avantajlarına karşılık bazı sınırlamalarının da dikkate alınması gerekmektedir (Cary, 1989). Bugünkü üretim türlerine bağlı olarak,

- Yalnız demir esaslı malzemelerde kullanılır (özellikle çeliklerde).
- Temizlenmesi gereken curuf oluşturur.
- Duman miktarı fazladır.
- Özlü elektrodta kullanılan metalsel kısmın maliyeti fazladır.
- Gerekli teçhizat pahalı ve komplekstir. Fakat üretim kapasitesi arttıkça bu durum dengelenir (Anon., 1990).

Yukarıdaki özellikleri dikkate alınarak özlü elektrodla kaynak; elektrik ark kaynağı, MIG-MAG kaynağı ve tozaltı kaynağı ile kaynak edilebilen birçok çeliğe uygulanabilir. Bunlara örnek olarak aşağıdaki çelikler verilebilir (Sacks, 1976):

- Alaşımsız çelik ve yapı çelikleri
- Yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı yapı çelikleri
- Yüksek dayanımlı tavllanmış ve temperlenmiş alaşımlı çelikler
- Cr-Mo çelikleri
- Nikelli çelikler
- Korozyona dayanıklı paslanmaz çelikler ve paslanmaz çelik dökümler
- Abrazyona dayanıklı alaşımlı çelikler

Özlü elektrodlarla kaynakta, tek paso ile kaynak ağzı açmadan 6 mm, kaynak ağzı hazırlayarak 19 mm kalınlığa kadar malzemeler kaynak edilebilir. Çok paso ile kaynak yapıldığı zaman maksimum malzeme kalınlığının sınırı yoktur (Cary, 1989).

Özlü elektrodların endüstride kullanıldığı yerler aşağıda sıralanmıştır (Lalor, 1987):

- Köprüler
- Basınçlı kazanlar
- Gemi yapımı
- Kazı makinaları
- Asitli gaz ve yağ depolama tankları
- Pipe-line endüstrisi, petrokimya endüstrisi, nükleer endüstri (Savage, 1983).

2.10. Özlü Elektrodla Kaynakta Meydana Gelen Kaynak Hataları ve Sebepleri

Özlü elektrodla kaynakta meydana gelen kaynak hataları ve sebepleri Tablo 2.5’de görülmektedir (Kearns, 1978).

Tablo 2.5. Kaynak hataları ve sebepleri

Kaynak Hataları	Sebepleri
Parçanın yanarak delinmesi	Yüksek akım şiddeti Parçalar arasında fazla açıklık Düşük kaynak hızı Çok büyük ağız açısı Çok küçük tel çapı
Çok derin veya yetersiz nüfuziyet	Çok yüksek veya düşük akım şiddeti Çok yüksek veya düşük gerilim Parçalar arasında uygun olmayan açıklık Uygun olmayan tel çapı Kaynak hızı çok düşük veya yüksek
Gözenek veya gaz boşlukları	Uygun olmayan temizlik Kirli kaynak altlığı Uygun olmayan kaynak hazırlığı Çok pasolu kaynakta yetersiz nüfuziyet
Yanma oluğu	Yüksek kaynak hızı Uygun olmayan tel pozisyonu (köşe kaynaklarında) Uygun olmayan kaynak altlığı
Çatlaklar	Uygun olmayan soğutma Yetersiz ön tav Uygun olmayan kaynak hazırlığı Konkav dikiş (köşe kaynaklarında)

3. ÖZLÜ ELEKTRODLA KAYNAKTA KORUYUCU GAZ KARIŞIMLARININ KAYNAK DİKİŞİNE ETKİSİ İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Özlü elektrodla kaynakta koruyucu gaz karışımının; kaynak dikışinin nüfuziyetine, kimyasal ve metalurjik özelliklerine ve buna bağılı olarak da mekanik özelliklerine etkisi vardır.

Gaz karışımıları genelde aynı dikış derinliğini vermektedir. Fakat nüfuziyet için esas olan kaynak dikışı formudur. Bu nedenle kaynak dikışı genişliğinin de dikkate alınması gerekmektedir. Koruyucu gaz karışımında oksijen miktarının artması kaynak dikışini genişletirken nüfuziyetin azalmasına neden olur. Derin nüfuziyet karbondioksit gazı ile elde edilir.

Koruyucu gaz karışımının kimyasal kompozisyon üzerine direkt etkisi, kaynak metalinde mangan ve silisyum miktarı ve buna bağılı olarak da sertleşebilirlik üzerinedir.

Koruyucu gaz karışımında karbondioksit ve oksijen miktarının artması ile gazın oksitleyici karakteri artmakta, bu da ark içinde element kayıplarına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak, kaynak metalinin akma ve çekme dayanımı azalmaktadır. Koruyucu gaz karışımına bağılı olarak kaynak metalindeki oksijen miktarı, özellikle düşük sıcaklıklarda çentik darbe dayanımını etkilemektedir. Oksijen miktarının optimum değerlerden düşük olması ve yüksek olması tokluk değerini düşürmektedir. Koruyucu gaz karışımında karbondioksit miktarının artması ile ısı transferi yükselmektedir. Isı girdisi arttıkça da toklukta azalma görülmektedir. İyi kaynak tokluğu için maksimum ısı girdisi 5 kJ/mm olarak tespit edilmiştir.

Koruyucu gaz karışımının kaynak dikışine etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı olarak aşağıda sunulmuştur.

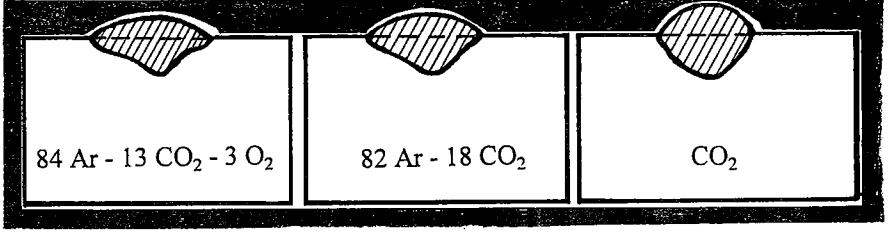
3.1. Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Dikişinin Nüfuziyetine Etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Witzenburg (1981) yaptığı araştırmada gaz karışımlarının aynı dikiş derinliğini verdiğini gözlemiştir. Nüfuziyet için esas olan kaynak dikişi formu olduğundan kaynak dikişi genişliğinin de gözönünde bulundurulması gerektiğini önermektedir. Bilindiği gibi koruyucu gaz karışımında oksijen miktarının artması kaynak dikişini genişletirken nüfuziyetin azalmasına neden olur. Derin nüfuziyet karbondioksit gazı ile elde edilir. Şekil 3.1'de üç çeşit koruyucu gaz karışımı kullanıldığında elde edilen kaynak dikişi nüfuziyetleri gösterilmiştir.

Vines (1985) 5 çeşit gaz - rutil ve bazik elektrod kullanarak kaynak dikiş formlarını incelemiştir. Bu çalışmada 1.6 mm. elektrod çapı, 340-360 A akım şiddeti, 29-31 V kaynak gerilimi, 8.3 m/dak. tel besleme hızı ve 304-306 mm/dak. kaynak hızı kullanılmıştır. Çalışmaların sonuçları Tablo 3.1'de özetlenmiş olup Şekil 3.2 ve 3.3'de dikiş formları gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikiş formları

Koruyucu gaz	Dikiş formu
CO ₂	Geniş, iyi yuvarlatılmış dikiş formu
Ar - % 26 CO ₂	Nüfuziyet daha az, kaynağın kökünde CO ₂ 'e göre radyus daha dar, yanma açıları daha az keskin
Ar - %21 CO ₂	Kaynağın kökünde radyus Ar - %26 CO ₂ 'e göre daha dar, fakat fark çok az
Ar - %7 O ₂	İyi yuvarlatılmış kaynak kökü, kabaca üçgen dikiş formu ile CO ₂ kullanımındaki yanma açılarına benzer, nüfuziyet derinliği Ar - CO ₂ ile elde edilene benzer
Ar - %3 O ₂	Düşük nüfuziyet



Şekil 3.1. Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikişi nüfuziyetleri



CO_2



Ar - 26 CO_2



CO_2



Ar - 26 CO_2



Ar - 21 CO_2



Ar - 7 O_2



Ar - 21 CO_2



Ar - 7 O_2



Ar - 3 O_2



Ar - 3 O_2

Şekil 3.2. Bazik elektrod kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları

Şekil 3.3. Rutil elektrod kullanıldığında gaz karışımlarına bağlı dikiş formları

Dillenbeck ve arkadaşları (1987) 10 farklı koruyucu gaz karışımı kullanarak kaynak dikişi nüfuziyetini incelemişlerdir. 0.88 mm. elektrod çapı, 12.7 mm. serbest tel

uzunluğu, 56 cm/dak. tel besleme hızı, 80 A kaynak akımı ve 20-35 V olan parametrelerin sabit tutulduğu ve 6.4 mm. parça kalınlığının kullanıldığı deneylerin sonucu olarak aşağıdaki hususlar saptanmıştır (Dillenbeck et al, 1987):

- Yalnız koruyucu gaz kullanılmadığı zaman kaynakta atmosferik etkiler görülmüştür.
- Sıçrama, en iyi %98 Ar - %2 O₂ ile kontrol edilmiştir. Sıçrama miktarı, koruyucu gazdaki CO₂ miktarı ile doğru orantılıdır. Yüksek orandaki CO₂'e ilave edilen He sıçramayı azaltmada Ar'dan daha etkili olmuştur.
- Kaynak dikişi profili, He veya Ar ilavesi ile önemli derecede değişmiştir. En iyi dikiş görünüşü, CO₂: %25 - 60 ile elde edilmiştir. Ayrıca en az %20 He kullanımı, iyi dikiş görünümünü ve profili vermiştir.
- %100 CO₂, derin nüfuziyet fakat kötü kaynak yüzeyi görünümünü vermiştir. Gaz karışımlarının hangisinde olursa olsun yüksek oranda CO₂ derin ve geniş nüfuziyet vermiştir.
- %80 CO₂ - %20 He, iyi dikiş profili ve görünümünü vermiştir. Aynı zamanda nüfuziyet %100 CO₂ ile elde edilen kadar derin ve üniiformdur. Diğer iyi bir seçim de %75 Ar -%23 CO₂ - %2 O₂ gaz karışımı olmuştur.

Bu sonuçlar sayısal değer ve görsel olarak Tablo 3.2 ve Şekil 3.4'de sunulmuştur.

Bilindiği gibi bazik elektrod kullanıldığında konveks dikiş, rutil elektrod kullanıldığında ise düz veya konkav dikiş elde edilir.

Balraj (1989), yaptığı bir çalışmada CO₂ miktarı arttıkça bazik elektrodlarla konveksliğin arttığını tespit etmiştir. Bazik elektrodla uygun dikiş profili yüksek akım şiddetlerinde (>300 A) ve CO₂ gazı kullanıldığında, rutil elektrodla uygun dikiş profili yalnız düşük akım şiddetlerinde (< 300 A) ve CO₂ gazının her oranında elde edilmiştir.

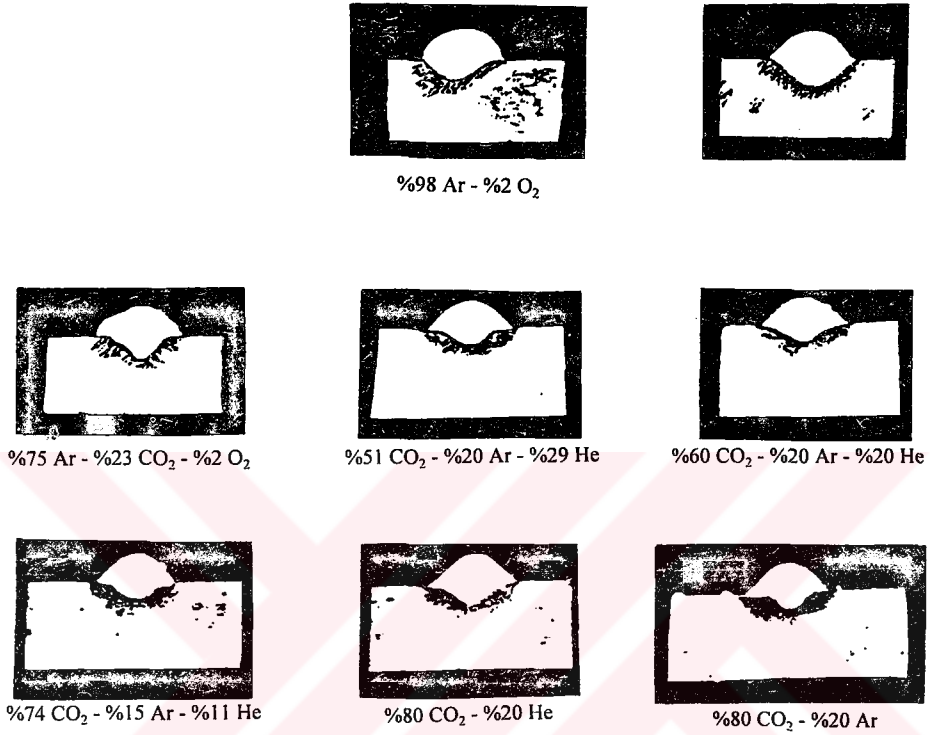
Tablo 3.2. Koruyucu gaz karışımlarına bağlı nüfuziyet oranları

Parça kalınlığı: 6.4 mm	Dikiş profili (mm)		Kaynak nüfuziyeti	
Koruyucu gaz karışımları	Dikiş yüksekliği	Dikiş genişliği	Nüfuziyet derinliği(mm)	Nüfuziyet oranı (%)
%100 Ar	3.81	4.57	0.896	14
%98 Ar - %2 O ₂	3.05	5.84	1.536	24
%100 CO ₂	2.79	6.86	1.984	31
%75 Ar-%23CO ₂ -%2 O ₂	2.79	6.86	1.920	30
%51CO ₂ -%20Ar-%29He	2.54	6.60	1.792	28
%60CO ₂ -%20Ar-%20He	2.54	7.11	1.828	29
%74CO ₂ -%15Ar-%11He	2.54	6.00	1.856	29
%80 CO ₂ - %20 He	2.54	7.11	1.920	30
%80 CO ₂ - % 20 Ar	2.79	6.00	1.664	26

Koruyucu gaz karışımında argon miktarına bağlı olarak metal transferi değişmektedir. Kutsuna ve arkadaşları (1989) argon gazının oranı azaldıkça ark uzunluğunun azalmasına bağlı olarak metal transferinin değiştiğini ifade etmiştir.

Bu çalışmada, aynı gerilim ve akım şiddeti kullanıldığında , örneğin iki farklı durumda (240 A, 28 V - 300 A, 30 V), 3 lt/dak Ar - 22 lt/dak CO₂ karışımından 7 lt/dak Ar - 18 lt/dak CO₂ karışımına geçildiğinde küresel transferden spreylere geçiş olduğunu belirlemişlerdir. Bu koruyucu gaz karışım oranları yüzde olarak ifade edilecek olursa sırası ile %12 Ar - %88 CO₂ ve %28 Ar - %72 CO₂'e karşılık gelmektedir.

Diğer yönden Böhme ve arkadaşları, küresel transferde iri damla geçişinin nozule zarar veren sıçramalara neden olduğunu belirtmişlerdir. Koruyucu gaz karışımında argon miktarının artması ile metal transferine bağlı olarak sıçramanın azaldığını ifade etmişlerdir (Böhme et al, 1988).



Şekil 3.4. Koruyucu gaz karışımlarına bağlı kaynak dikişi nüfuziyetleri

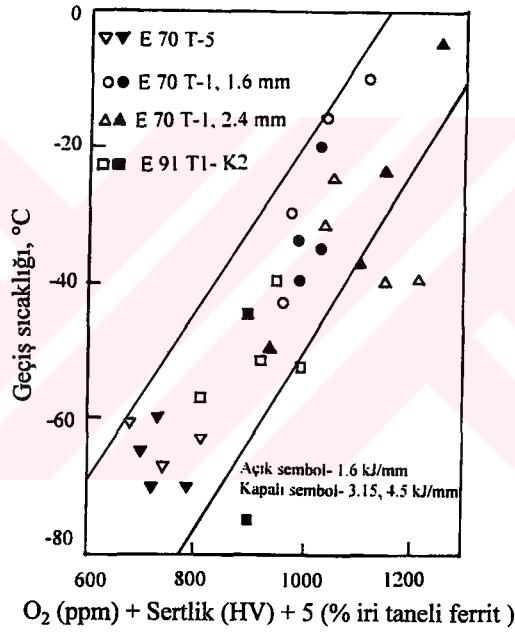
3.2. Koruyucu Gaz Karışımlarının Kaynak Dikişinin Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Dolby (1976) oksijenin etkisinin tek başına, özlü elektrodla kaynak metalinin mikroyapısı ve tokluk özelliklerini açıklayamayacağını belirtmiştir. Koruyucu gaz kompozisyonunun ve ısı girdisinin kimyasal kompozisyon üzerine direkt etkisi, kaynak metalinde Mn ve Si miktarı ve buna bağlı olarak da sertleşebilirlik üzerinedir. Isı girdisinin artması nedeni ile yavaş soğuma neticesinde iğnesel ferrit azalarak tane sınırı ferriti ve iri taneli ferrit oranları artmaktadır.

Kaynak metalinin tokluğuna etki eden üç faktör vardır (Dolby, 1976):

1. Kaynak metalinin oksijen miktarı
2. Kaynak metalinin sertliği
3. Kaynak metalinin iri taneli ferrit oranı

Bu faktörlerin etkisi amprik bir formülle ifade edilerek Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kaynak metalinin oksijen miktarı, sertliği ve iri taneli ferrit %'si ile oluşan amprik formülle geçiş sıcaklığı arasındaki ilişki

Kaynak metalinin Mn, Si miktarı müsaade edilen maksimum değerde, gazın oksidasyon potansiyeli düşük veya kaynak metalinin sertleşebilirlik potansiyeli düşük, koruyucu gazın CO_2 miktarı yüksek ise iri taneli mikroyapı ve düşük tokluk elde edilir.

Sis (1977) CO₂ atmosferinde azota karşı rutil elektrodların bazik elektrodlardan daha hassas olduğunu, koruyucu gaz olarak CO₂ kullanıldığı zaman CaF₂'ün kaynak metalini atmosferik azottan koruduğunu tespit etmiştir. Kaynak metalinin azot konsantrasyonunun artması akma ve çekme dayanımını yükseltmiş çentik darbe dayanımını düşürmüştür.

Adams (1978) koruyucu gaza göre kaynak metalinin soğuma hızında farklılıklar gözlemlendiğini, Ar ve Ar - %25 CO₂ arasında çok az fark olmasına rağmen Ar - %25 CO₂ ile CO₂ arasında 20 mm parça kalınlığı için soğuma hızında %10 fark olduğunu belirtmiştir. Sayısal değerler Tablo 3.3'de görülmektedir.

Tablo 3.4'den görüldüğü gibi soğuma hızına bağlı olarak da sertlik değerleri farklılık göstermektedir (Anon., 1982).

Tablo 3.3. Koruyucu gaza bağlı soğuma hızı değerleri

Koruyucu gaz	Soğuma hızı (dT ₇₀₀ / dt)
Ar	3900 °C / dak
Ar - % 25 CO ₂	3850 °C / dak
CO ₂	3500 °C / dak

Tablo 3.4. Ön tav ve koruyucu gaza bağlı olarak kaynak metalinin ITAB sertlik değerleri (Malzeme: Bisalloy 80)

Ön tav (°C)	Ar - %18 CO ₂	CO ₂
100	412 HV	389 HV
150	344 HV	313 HV

Witzenburg (1981) çeliklerin kaynağında koruyucu gaz olarak saf CO_2 , Ar - CO_2 gaz karışımı ($\text{CO}_2 = \% 25$ 'e kadar), Ar - CO_2 - O_2 gaz karışımı veya Ar - O_2 gaz karışımı ($\text{O}_2 = \% 12$ 'ye kadar) kullanıldığını belirterek bu gazların kaynak metalinin özelliklerine etkisini araştırmıştır.

Gaz karışımındaki CO_2 ve O_2 miktarının artması ile gazın oksitleyici karakterinin arttığını ve aşağıdaki eşitlikle CO_2 - Ar - O_2 gaz karışımının oksitleyici gücünü açıklamıştır.

$$\% \text{ oksitleme} = \% \text{CO}_2 + 10 (\% \text{O}_2) \quad (3.1)$$

Gazın fazla oksitleyici olması durumunda ark içinde element kayıpları oluşur. Bu da kaynak metalinin akma ve çekme dayanımını azaltmaktadır. Kaynak metalinin özellikleri üzerine koruyucu gaz kompozisyonunun etkisi Tablo 3.5'den görülmektedir.

Tablo 3.5. Kaynak metalinin özellikleri üzerine koruyucu gaz kompozisyonunun etkisi

Gaz kompozisyonu (%)			Oksidas. indeksi	Akma dayanımı (kg./mm ²)	Çekme dayanımı (kg/mm ²)	Kaynak metalinin kompozisyonu		
Ar	CO ₂	O ₂				C	Mn	Si
90	10	-	10	55	65	0.09	1.43	0.72
82	18	-	18	53	63	0.09	1.37	0.70
75	25	-	25	51	61	0.09	1.30	0.65
91	5	4	45	48	62	0.08	1.32	0.67
-	100	-	100	50	60	0.10	1.21	0.62
88	-	12	120	51	60	0.06	1.20	0.60

Tablo 3.6'dan görüldüğü gibi, koruyucu gaz kompozisyonuna bağlı olarak kaynak metalindeki oksijen miktarı, özellikle düşük sıcaklıklarda çentik darbe dayanımını düşürmektedir (Witzenburg,1981).

Tablo 3.6. Koruyucu gaz kompozisyonunun çentik darbe dayanımı üzerine etkisi

Gaz kompozisyonu (%)			Kaynak metalinin oksijen yüzdesi	Çentik darbe dayanımı J (°C'da)			
Ar	CO ₂	O ₂		+20	0	-20	-40
90	10	-	0.029	130	89	64	60
82	18	-	0.0305	144	120	86	50
75	25	-	0.034	124	97	76	51
91	5	4	0.031	138	124	87	58
-	100	-	0.062	84	54	48	28
88	-	12	0.0355	138	126	87	46

Kullanılan koruyucu gaz, özlü elektrodların kaynak metalinin mikroyapısını ve mekanik özelliklerini etkileyen bir faktördür.

Koruyucu gazın CO₂ miktarının değişmesinin en büyük etkisi , daha önce de belirtildiği gibi kaynak metalinin oksijen miktarı üzerinedir. Ar - CO₂ gaz karışımı, düşük oksidasyon potansiyeli ile saf CO₂'e göre düşük oksijen miktarı verir.

Watanabe ve arkadaşları (1980) çeşitli koruyucu gazlarla çalışarak Si - Mn - Mo, Ti ve Ti - B kaynak metalinde 200 - 300 ppm oksijen miktarının düşük geçiş sıcaklığı gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

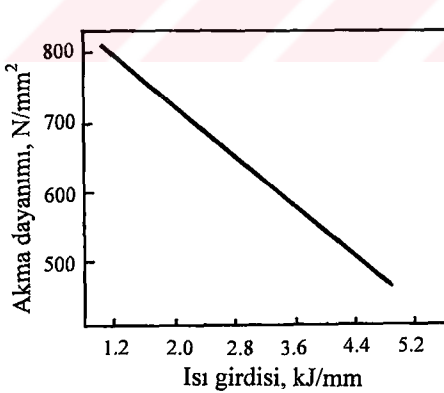
Ito ve arkadaşları (1982) iyi tokluk değerleri için 200 - 300 ppm oksijen miktarının optimum olduğunu tespit etmişlerdir.

Oksijen miktarının optimum değerlerden düşük olması ve yüksek olması tokluk değerini düşürmektedir. Oksijen miktarı düşük olduğu zaman sertleşebilirlik artar ve beynitik yapı oluşur, tokluk düşer. Oksijen miktarı yüksek olduğu zaman ise sertleşebilirlik azalır, iri tane sınırı ferriti ve karbürlü ferrit oluşur, tokluk düşer. Mikroyapıda ince tane boyutu bir başka deyişle iğnesel ferrit iyi tokluk değerleri verir (Pargeter et al,1984).

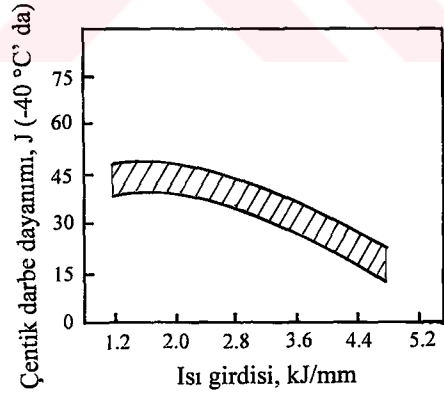
Ahlblom (1984) oksijen miktarından başka mikroyapıyı ve tokluğu etkileyen faktörlerin olduğunu, bu faktörlerin kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu ve kaynakta kullanılan ısı girdisi olduğunu belirtmiştir.

Savage (1983) ısı girdisinin kaynak metalinin mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmış ve ısı girdisi arttıkça kaynak metalinin akma dayanımı ve tokluğunun azaldığını ifade etmiştir (Bkz. Şekil 3.6 ve 3.7).

Savage (1983) koruyucu gaz karışımındaki CO_2 miktarının kaynak metalinin kimyasal ve mekanik özellikleri ve çentik darbe dayanımına etkisini Tablo 3.7'de özetlemiştir.



Şekil 3.6. Isı girdisinin kaynak metalinin akma dayanımı üzerine etkisi



Şekil 3.7. Isı girdisinin kaynak metalinin çentik darbe dayanımı üzerine etkisi

(Kullanılan özlü elektrod - AWS A5.29: E 101 T1 K3)

Tablo 3.7. Koruyucu gaz karışımındaki CO₂ miktarının E 81 T1 - Ni 1 elektrodu ile elde edilen kaynak metalinin özellikleri üzerine etkisi

Koruyucu gaz		%75 Ar - %25 CO ₂	%50 Ar - % 50 CO ₂	%100CO ₂
Kimyasal kompozisyon	C	0.055	0.042	0.041
	Mn	1.290	1.240	1.160
	Si	0.440	0.390	0.310
	P	0.010	0.009	0.010
	S	0.015	0.014	0.015
	Ni	0.900	0.840	0.870
Mekanik özellikler	σ_A	54 kg/mm ²	51 kg/mm ²	47 kg/mm ²
	σ_C	60 kg/mm ²	58 kg/mm ²	57 kg/mm ²
	ϵ	%26	%27	%25
Çentik darbe dayanımı	(-18°C)	115 J	108 J	105 J
	(-40°C)	88 J	47 J	41 J

French (1984) koruyucu gazlara göre kaynaktaki toplam kaynak enerjisi (H_T) ve kaynak vasıtası ile parçadan kazanılan ısıya (H_W) bağlı olarak ısı transfer katsayısını (f_i) hesaplamış ve bu değerler Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

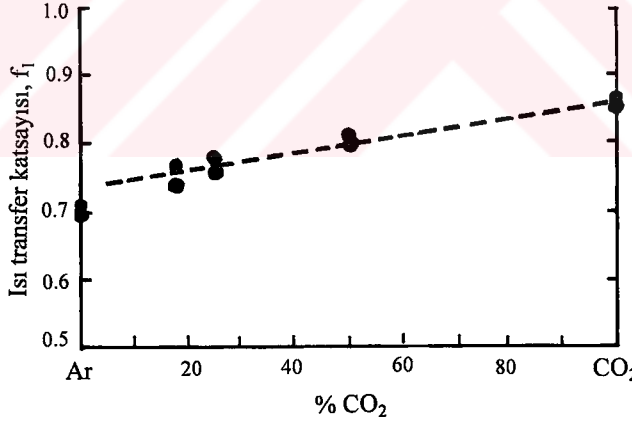
Tablo 3.8. Koruyucu gaza bağlı toplam kaynak enerjisi (H_T), kaynak vasıtası ile parçadan kazanılan ısı (H_W) ve ısı transfer katsayısı (f_i)

Koruyucu gaz	H_T (kJ)	H_W (kJ)	f_i
Ar	173.25	120.58	0.70
	177.58	125.63	0.71
Ar - %18 CO ₂	164.97	121.83	0.74
	169.13	129.69	0.77
Ar - %25 CO ₂	159.50	121.54	0.76
	158.17	124.32	0.78
Ar - %50 CO ₂	159.60	127.90	0.80
	156.80	126.70	0.81
CO ₂	155.40	135.74	0.87
	151.25	132.77	0.88

Şekil 3.8'den de görüldüğü gibi CO_2 miktarı arttıkça ısı transfer katsayısı (f_1) lineer olarak artmaktadır. Yalnız argon kullanıldığında f_1 değeri lineer duruma göre daha aşağıdadır.

Özlü elektrodla kaynaktaki iş parçasına transfer edilen ısıyı arttırmak için bir yöntem, koruyucu gazdaki CO_2 miktarını arttırmaktır. CO_2 gazı kullanıldığında ark sıcaklığının genellikle yüksek olduğu görülmüştür. Örnek olarak; parametreler 220 A, 34 - 36 V, 1.2 mm elektrod çapı olduğunda CO_2 gazı ile 5727°C , argon gazı ile 4227°C ark sıcaklığı elde edilmiştir (French, 1984).

Elde edilen sonuçlar, CO_2 miktarının artırılması ile ısı transferinin yükseleceğini göstermektedir.



Şekil 3.8. Koruyucu gazdaki CO_2 miktarına bağlı ısı transfer katsayısı (f_1)

Kaynak kabiliyeti ve ısı girdisine bağlı olarak ön tav sıcaklığı hesaplandığından bu yana ısı transfer katsayısında koruyucu gaza bağlı değişimin önemi dikkate alınmaya

değer olmuştur. CO₂ kullanıldığında parçadan kazanılan enerji 1.76 kJ/mm, Ar - %18 CO₂ kullanıldığında ise 1.50 kJ/mm elde edilmiştir. Böylece; CO₂ ile çalışıldığında 2 kJ/mm ısı girdisi için gereken ön tav 100°C iken Ar - %18 CO₂ ile çalışıldığı zaman 120°C ön tav gerekmektedir.

Widgery (1986) ısı girdisi arttıkça toklukta azalma görmüştür. İyi kaynak tokluğu için maksimum ısı girdisini 5 kJ/mm olarak tespit etmiştir.

Vines (1985) 5 çeşit gaz kullanarak kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu incelediğinde minimum Mn ve Si değerlerini CO₂ gazı kullandığında elde etmiştir ve buna bağlı olarak CO₂ gazı kullanıldığında Tablo 3.9.'dan da görüldüğü gibi sertlik değerleri düşük olmuştur. Rutil elektrodla, bazik elektrodun kaynak metalinin çentik darbe dayanımından %30 düşüş elde edilmiştir. Diğer gazlarda benzer değerler elde edilmesine rağmen Ar - %3 O₂ ile çentik darbe dayanımı önemli derecede düşüş göstermiştir. Daha önce Şekil 3.2 ve 3.3'de görüldüğü gibi Ar - %3 O₂ kullanıldığında kaynak dikişi kesitinin küçük oluşu, düşük ısı girdisi ve hızlı soğuma sonucu olmuş, böylece sertlik artmıştır (Bkz. Tablo 3.9).

Kaynak dikişi kesiti ile ısı girdisi arasında aşağıdaki eşitlikte ifade edildiği gibi bir ilişki vardır (Shultz et al, 1973).

$$A = 33.312 \times 10^{-6} \times \frac{I^{1.55}}{s^{0.903}} \quad (3.2)$$

Burada; A: Kaynak dikişi kesiti (mm²)

I: Kaynak akımı (A)

s: Kaynak hızı (mm sn)

Lathabai ve arkadaşları (1985) rutil ve bazik curuf sistemlerinde koruyucu gaz ve ısı girdisini değiştirerek deneyler yapmışlardır. Deneylerde kullanılan özlü elektrod, ısı girdisi ve koruyucu gazlar aşağıda verilmiştir.

Kullanılan özlü elektrod: E 70 T-1 (ϕ 1.6 mm), E 70 T-5 (ϕ 1.6 mm)

Kullanılan ısı girdisi: 1.6 kJ/mm - 3.15 kJ/mm

Kullanılan koruyucu gazlar: 92 Ar - 8 CO₂ , 75 Ar - 25 CO₂ , 50 Ar - 50 CO₂ , CO₂

Tablo 3.9. Koruyucu gaza bağlı olarak kaynak metalinin sertliği

Özlü elektrod	Koruyucu gaz	Kaynak metalinin sertliği (HV)
Bazik elektrod	CO ₂	224
	Ar - %26 CO ₂	232
	Ar - %21 CO ₂	235
	Ar - %7 O ₂	228
	Ar - %3 O ₂	235
Rutil elektrod	CO ₂	218
	Ar - %26 CO ₂	238
	Ar - %21 CO ₂	239
	Ar - %7 O ₂	238
	Ar - %3 O ₂	251

Tablo 3.10’da kullanılan elektrodlarla oluşturulan kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi koruyucu gazdaki CO₂ miktarı arttıkça kaynak metalinin oksijen miktarı artmakta, Si ve Mn miktarı azalmaktadır. Isı girdisinin artması ise Mn miktarını düşürmekte, Si miktarını fazla etkilememektedir. Şekil 3.9’da koruyucu gaz ve ısı girdisinin kaynak metalinin oksijen miktarına etkisi görülmektedir.

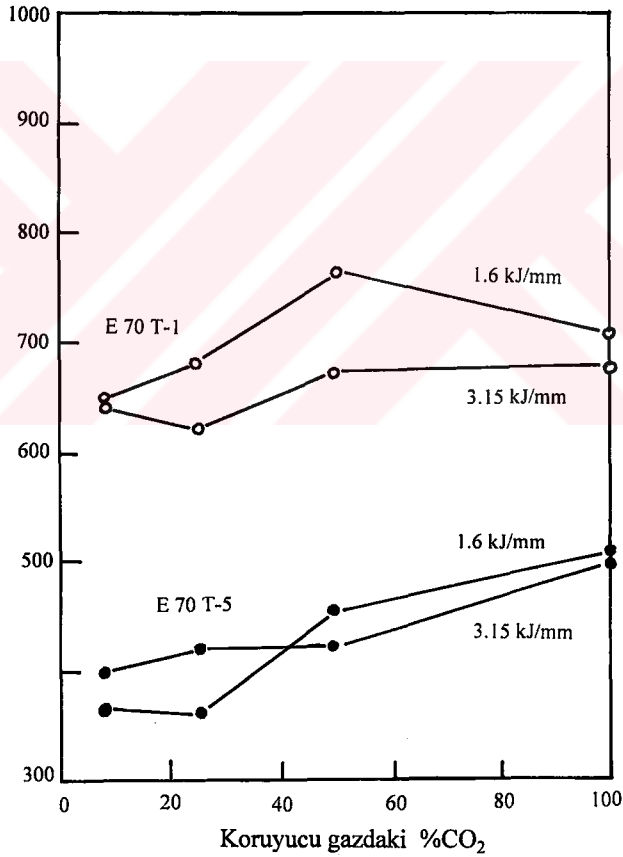
Kaynak metalinde C, Mn, Si, Ni miktarı değiştiği zaman karbon eşdeğeri etkilenir. Sabit ısı girdisinde CO₂ miktarı arttıkça karbon eşdeğeri düşer ve buna bağlı olarak sertlik de düşer (Bkz. Tablo 3.10). Belirli elektrod gaz kombinasyonu için ısı girdisi arttıkça sertlik düşer.

Çuruf sistemlerinin, koruyucu gaz kompozisyonlarının ve ısı girdisinin geçiş sıcaklığına etkisi Şekil 3.10'da görülmektedir. Buradan bazik elektrodla (E 70 T-5) yapılan kaynak metalinde geçiş sıcaklığının rutil elektrodla (E 70 T-1) yapılan kaynak metalinin geçiş sıcaklığından düşük olduğu görülmektedir. Bu da bazik elektrodlarla yapılan kaynak metallerinin çentik darbe dayanımlarının daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Rutil elektrodla yapılan kaynak metalinde, koruyucu gazdaki CO_2 miktarı düşük olduğunda geçiş sıcaklığının da düşük olduğu, bazik elektrodla yapılan kaynak metalinde ise koruyucu gazın önemli derecede bir etkisi olmadığı gözlenmektedir. Belirli elektrod-gaz kombinasyonları için bazik elektrodlarla yapılan kaynak metalinde ısı girdisinin etkisi önemli olmamasına rağmen rutil elektrodlarla yapılan kaynak metalinde ısı girdisi artınca geçiş sıcaklığı düşmektedir.

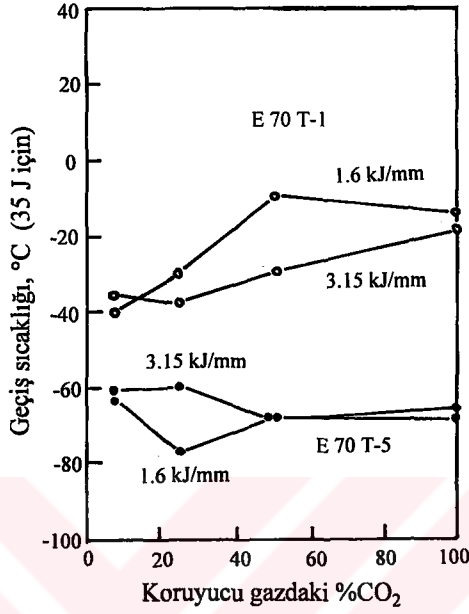
Tablo 3.10. Koruyucu gaz ve ısı girdisine bağlı olarak kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu

Elektrod	Isı girdisi	Koruyucu gaz	C	Mn	Si	Ni	O	C _{çs}
E 70 T-5	1.6 kJ/mm	92 Ar - 8 CO_2	0.06	1.81	0.54	0.03	0.037	0.185
		75 Ar - 25 CO_2	0.05	1.76	0.51	0.03	0.036	0.171
		50 Ar - 50 CO_2	0.07	1.78	0.48	0.04	0.045	0.190
		CO_2	0.07	1.64	0.43	0.04	0.049	0.183
	3.15 kJ/mm	92 Ar - 8 CO_2	0.07	1.72	0.56	0.02	0.040	0.197
		75 Ar - 25 CO_2	0.07	1.68	0.53	0.02	0.044	0.188
		50 Ar - 50 CO_2	0.07	1.55	0.46	0.02	0.044	0.182
		CO_2	0.06	1.58	0.47	0.03	0.049	0.176
E 70 T-1	1.6 kJ/mm	92 Ar - 8 CO_2	0.07	1.78	0.79	0.04	0.065	0.197
		75 Ar - 25 CO_2	0.07	1.59	0.72	0.05	0.068	0.179
		50 Ar - 50 CO_2	0.06	1.64	0.66	0.05	0.076	0.178
		CO_2	0.07	1.56	0.64	0.04	0.070	0.176
	3.15 kJ/mm	92 Ar - 8 CO_2	0.07	1.66	0.77	0.04	0.065	0.183
		75 Ar - 25 CO_2	0.07	1.53	0.69	0.04	0.064	0.178
		50 Ar - 50 CO_2	0.07	1.40	0.60	0.03	0.067	0.169
		CO_2	0.08	1.20	0.48	0.03	0.067	0.167

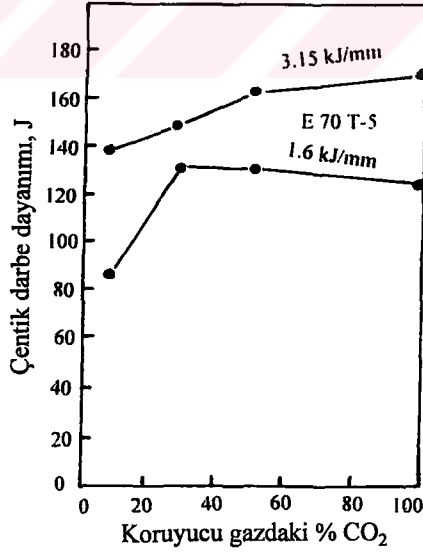
Koruyucu gaz kompozisyonu ve ısı girdisinin çentik darbe dayanımına etkisi Şekil 3.11.a'da bazik elektrod ve Şekil 3.11.b'de rutil elektrod için verilmiştir. Buradan CO_2 miktarı yüksek olduğu zaman ısı girdisi etkisinin önemli olduğu ve ısı girdisi arttıkça çentik darbe dayanımının arttığı görülmektedir. Tablo 3.11'de görüldüğü gibi bazik elektrodla çalışıldığında koruyucu gazın değişmesi her iki ısı girdisinde de mikroyapıyı önemli derecede değiştirmemiş, her iki halde de yapıda iğnesel ferrit hakim olmuştur. Rutil elektrodla çalışıldığı zaman 1.6 kJ/mm ısı girdisinde yapıda iğnesel ferrit hakim olmasına rağmen 3.15 kJ/mm ısı girdisinde iğnesel ferrit oranı düşmüştür.



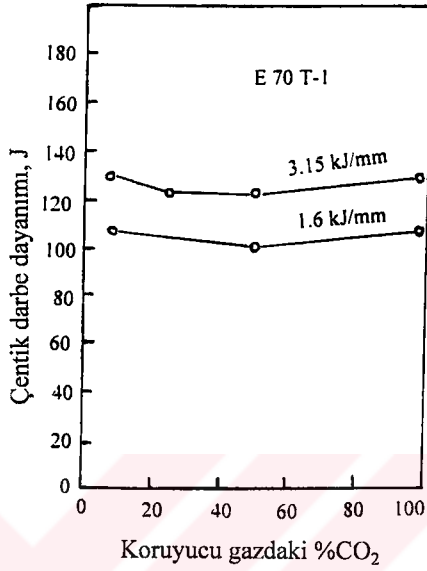
Şekil 3.9. Koruyucu gaz kompozisyonu ve ısı girdisine bağlı kaynak metalinin oksijen miktarı



Şekil 3.10. Koruyucu gaz kompozisyonu ve ısı girdisine bağlı kaynak metalinin geçiş sıcaklığı



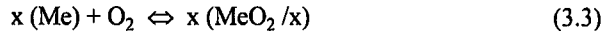
Şekil 3.11.a. Bazik elektrod için iki ısı girdisi kullanılarak koruyucu gaz kompozisyonu ve çentik darbe dayanımı arasındaki ilişki



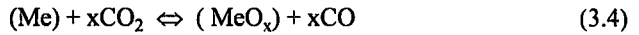
Şekil 3.11.b. Rutil elektrod için iki ısı girdisi kullanılarak koruyucu gaz kompozisyonu ve çentik darbe dayanımı arasındaki ilişki

Voropai (1986) CO₂ kaynağında erimiş metal, gazlar curuf arasındaki etkileşimi incelemiş ve bu etkileşimler elektrodun ucundaki damla (2497 °C), kaynak banyosuna geçiş (2797 °C) ve kaynak banyosunun önünde (1797 °C) ve gerisinde (1527 °C) değerlendirilmiştir. Bunların sonucu olarak aşağıdaki reaksiyonların oluştuğu belirtilmiştir (Voropai et al, 1986):

- Mn, Si, Ti ve Fe; gaz fazında oksijen ile yüksek sıcaklıkta aşağıdaki reaksiyonla oksidasyona uğrar.



- Mn, Si, Ti ve Fe; CO₂ ile aşağıdaki reaksiyonla oksidasyona uğrar.



Tablo 3.11. Koruyucu gaz ve ısı girdisine bağlı mekanik ve metalurjik özellikler

Özlü elektrod	Isı girdisi (kJ/mm)	Koruyucu gaz	Sertlik (HB)	35 J için geçiş sıcaklığı (°C)	1 %	2 %	3 %
E 70 T-5 (1.6 mm)	1.6	92 Ar- 8 CO ₂	240	-61	89	9	2
		75 Ar-25CO ₂	237	-80	83	12	5
		50 Ar-50CO ₂	231	-67	87	12	2
		CO ₂	226	-70	82	10	8
	3.15	92 Ar- 8 CO ₂	228	-60	80	16	5
		75 Ar-25CO ₂	207	-65	90	9	1
		50 Ar-50CO ₂	197	-70	83	15	2
		CO ₂	215	-70	84	14	2
E 70 T-1 (1.6 mm)	1.6	92 Ar- 8 CO ₂	238	-43	84	10	6
		75 Ar-25CO ₂	250	-30	92	7	1
		50 Ar-50CO ₂	234	-10	89	14	9
		CO ₂	226	-16	80	15	5
	3.15	92 Ar- 8 CO ₂	221	-35	67	22	9
		75 Ar-25CO ₂	204	-40	71	26	3
		50 Ar-50CO ₂	207	-32	78	16	6
		CO ₂	199	-20	69	21	10

1) İğnesel ferrit

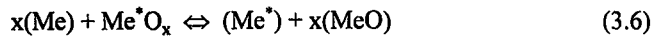
2) Tane sınırı ferriti

3) Karbürlü ferrit

- Karbon, gaz fazında oksijen ile oksitlenir.



- Mn, Ti, Si ve Fe; curuf fazı ile oksitlenir.



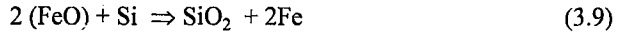
- Karbon, curuf fazındaki bileşiklerle oksidasyona uğrar.



- Kaynak banyosunda, Mn metali dezokside eder.



- Kaynak banyosunda, silisyum da manganez gibi metali dezokside eder.



- Kaynak banyosunda Mn ve Si, gaz fazında oksijen ile oksitlenir.
- CO₂ , kaynak prosesinin her adımında manganez ve silisyumu oksitler.

Koruyucu gazların, kaynak metalinin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri üzerine etkisi bilinmektedir. Vaidya (1989) koruyucu gazın kimyasal transfer üzerine etkisinin koruyucu gazın oksidasyon potansiyeline bağlı olduğunu belirtmiş ve Ar - CO₂ gaz karışımında CO₂ miktarının artmasının gazın oksidasyon potansiyelini arttırdığına, bunun sonucu olarak da aşağıdakilerin gerçekleştiğine dikkati çekmiştir:

- 1- Kaynak metalinin oksijen miktarı artar ve böylece kaynak metalinin tokluğu azalır.
- 2- Kaynak metalinde karbon, manganez ve silisyum miktarı azalır.

Çünkü ark atmosferinde bu elementler oksitlenirler. Karbon miktarının düşmesi ile kaynak metalinin çekme ve akma dayanımları düşer. Alaşım elementleri ile tokluk arasında lineer bağlantı yoktur. CO₂ veya Ar- CO₂ gaz karışımı kullanıldığında yüksek tokluk değerleri elde etmek için özlü elektrod ile kimyasal dengenin sağlanması gerekir. Buna rağmen , kaynak metalinin oksijen miktarının az olduğu Ar- CO₂ gaz karışımı ile yüksek tokluk değerleri elde edilir (Vaidya, 1989).

Kobe Steel Ltd. (1989) özlü elektrodla yapılan kaynak metalinde oksijen miktarının maksimum 600 - 800 ppm olduğunu ve oksijen miktarı arttıkça kaynak metalinin çentik darbe dayanımının azaldığını belirtmiştir.

Nippon Steel Corporation (1991) çekme dayanımı ve tokluk için alaşım elementlerinin en iyi kompozisyonunu seçmek gerektiğini ortaya koymuştur. Yüksek ısı girdisi, kaynak metalinde oksijen miktarını azaltırken yavaş soğuma nedeni ile tane sınırı ferriti miktarını ve iğnesel ferrit boyutunu arttırmıştır. Bu durum, yapıda tokluk ve çekme dayanımını azaltmaktadır.

Stenbacka (1990) koruyucu gazda CO_2 miktarının düşük olması ile oksidasyon potansiyelinin düştüğünü ve buna bağlı olarak kaynak metalinin oksijen miktarının azalması ile sertliğin, akma ve çekme dayanımının arttığını açıklamıştır. Koruyucu gazı bağli olarak oksidasyon potansiyelini $\text{O}_2 + 1/2 \text{CO}_2$ (%) olarak tanımlamıştır. Koruyucu gazın tokluğu pozitif veya negatif yönde etkilediğini ileri sürmüş ve rutil özlü elektrod için buna aşağıdaki örneği vermiştir.

%92 Ar - %8 O_2 gazı kullanılarak kaynak metalinde -20°C 'da 96J çentik darbe dayanımı elde edilirken %100 CO_2 ile -20°C 'da 37J, %98 Ar - %2 O_2 ile -20°C 'da 15J çentik darbe dayanımı elde edilmiştir. Burada oksidasyon potansiyeli düşük olup kaynak metalinde oksijen miktarı azalacağından tokluğun artması beklenirken kaynak metalinin aşırı sertleşmesi tokluğu azaltmıştır.

Balraj ve arkadaşları (1992) 1.6 mm çaplı E 71 T-1 ve E 70 T-5 elektrodları kullanarak argonla birlikte çeşitli miktarlarda CO_2 gazı (%20, %40, %60, %80, %100) karışımlarının damla ve kaynak banyosu durumunda etkisini incelemiş ve maksimum oksijen absorpsiyonunun damla durumunda ortaya çıktığını belirtmiştir. Tablo 3.12 damla durumunda kimyasal kompozisyonu ve Tablo 3.13 ise kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu göstermektedir.

Damla durumunda, rutil elektrodda bazik elektrodda göre daha fazla oksijen miktarı elde edilmiştir. Bazik elektrodda, CO_2 miktarının artması ile kaynak banyosunda farkedilebilir oksijen miktarı elde edilmiştir. Rutil elektrodda CO_2 miktarının artması ile bazik elektrodda göre damla durumunda yüksek oksijen miktarı elde edilmesine rağmen kaynak metalinde yalnız küçük farklılıklar elde edilmiştir. Rutil öz kompozisyonu, oksidasyona iyi affinite gösterdiğinden oksijen miktarı, erimiş curuf tarafından kaynak metalinden uzaklaştırılmıştır. Tablo 3.13'den görüldüğü gibi CO_2 miktarının artması ile kaynak metalinde Mn ve Si miktarı önemli derecede düşmektedir. Mn ve Si miktarı, kaynak metalinin karbon eşdeğeri ($\text{C}_{\text{eş}}$) üzerinde direkt etkilidir. $\text{C}_{\text{eş}}$, kaynak metalinin sertliğini ve dayanımını etkiler. Rutil elektrodda büyük miktarda karbon kaybı tespit edilmiştir. Böylece kaynak metalinin dayanımı, bazik elektrodun kaynak metalinin dayanımı ile karşılaştırıldığında düşüktür.

CO_2 miktarının artması ile ark gerilimi artar, bu da ısı girdisini artırır. Isı girdisinin artması metalurjik yapıyı etkiler ve dayanımı düşürür (Balraj et al,1992).

Tablo 3.12. Koruyucu gaz karışımlarının kimyasal kompozisyona etkisi (%) - damla
(I = 350 A)

Elektrod	Koruyucu gaz	Mn	Si	O_2
E 71 T-1 (1.6 mm ϕ)	Ar + %20 CO_2	1.48	1.67	1.70
	Ar + %40 CO_2	1.37	1.62	2.67
	Ar + %60 CO_2	1.30	1.36	2.97
	Ar + %80 CO_2	1.18	1.37	3.36
	Ar + %100 CO_2	1.32	1.38	3.78
E 70 T-5 (1.6 mm ϕ)	Ar + %20 CO_2	0.97	0.45	0.50
	Ar + %40 CO_2	0.96	0.43	0.61
	Ar + %60 CO_2	0.67	0.42	0.80
	Ar + %80 CO_2	0.68	0.49	1.17
	Ar + %100 CO_2	0.75	0.47	1.22

Tablo 3.13. Koruyucu gaz karışımlarının kimyasal kompozisyona etkisi (%) - kaynak metali (I = 350 A)

Elektrod	Koruyucu gaz	C	Mn	Si	S	O ₂
E 71 T-1 (1.6 mm ϕ)	Ar + %20 CO ₂	0.097	0.78	0.52	0.014	0.070
	Ar + %40 CO ₂	0.083	-	-	0.018	0.077
	Ar + %60 CO ₂	0.053	0.44	0.5	0.016	0.081
	Ar + %80 CO ₂	0.051	-	-	0.018	0.070
	Ar + %100 CO ₂	0.013	0.1	0.48	0.016	0.099
E 70 T-5 (1.6 mm ϕ)	Ar + %20 CO ₂	0.18	0.71	0.5	0.014	0.057
	Ar + %40 CO ₂	0.17	-	-	0.019	0.048
	Ar + %60 CO ₂	0.17	0.68	0.36	0.017	0.053
	Ar + %80 CO ₂	0.15	-	-	0.02	0.058
	Ar + %100 CO ₂	0.13	0.36	0.28	0.02	0.063

Kullanıma ilişkin araştırmalar yapanların çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Widgery (1988) özlü elektrodla kaynakta Japonya'da en çok CO₂ gazının, Avrupa'da ise argonu yüksek karışım gazların tercih edildiğini belirtmiştir.

Linden ve arkadaşları (1989) rutil tip özlü elektrodlarla %80 Ar - %20 CO₂ karışım gazının en çok kullanılan gaz olduğuna, bazik tip özlü elektrodlarla ise CO₂ gazının kullanıldığına fakat akım yoğunluğu düşük olduğu zaman karışım gazın tercih edildiğine dikkati çekmişlerdir.

Japon Kaynak Mühendisliği Cemiyetinin yaptığı bir araştırmada Ar - CO₂ gaz karışımının CO₂ gazı yerine kullanımında; kullanıcıların %40'ı sıçrama az olduğundan, %23'ü mekanize ve robot kaynağında daha az sıçrama olduğundan, %21'i ise iyi dikiş görünüşü için tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Buradan anlaşıldığı gibi, kullanıcıların %84'ü daha az sıçrama olduğu için Ar - CO₂ gaz karışımını seçmişlerdir (Sakai, 1992).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Koruyucu gaz karışımları ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; uygun gaz karışımlarına ilişkin tatmin edici bir yaklaşımdan söz etmek mümkün değildir. Özlü elektrodlarla ilgili standartlarda bile önerilen koruyucu gaz karışımlarında bir oran verilmemiş, yalnız CO₂ veya karışım gaz olarak isim bazında tanımlanmıştır. Koruyucu gaz karışımında CO₂ miktarının artması ile nüfuziyetin arttığı, kaynak metalinin oksidasyon potansiyelinin arttığı ve buna bağlı olarak element kayıpları sonucunda sertliğin azaldığı saptanmıştır. Aynı zamanda CO₂ miktarının fazla olması durumunda soğuma hızının düşmesi ile sertlikte azalma görülmüştür. Bu da akma ve çekme dayanımında düşüşlere neden olmuştur. Ayrıca kaynak metalinin oksijen miktarı arttıkça çentik darbe dayanımının düştüğü ileri sürülmüştür. Oksijen miktarının optimum değerlerden düşük veya yüksek olmasının da tokluğu düşürdüğü ifade edilmiştir. Oksijen miktarının çok düşük olması, aşırı sertlik ile sonuçlanmıştır. Görüldüğü gibi, sonuç üzerinde her bir parametrenin tek başına etkisi ile diğer parametrelerle birlikte olan etkisi çok farklılık göstermekte, bu da konuya çok karmaşık ve çözümlenmesi zor bir özellik kazandırmaktadır. Bu bağlamda, araştırmacılar için anlamlı olan bilgilerin, uygulamacılara yeterli yön veremediği gözlenmektedir. DeneySEL çalışmaların seçiminde, eksikliklerin tamamlanması kadar, konunun bu yönünün de öne çıkarılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, alaşımsız çeliklerin özlü elektrodla kaynağında koruyucu gaz karışımlarının kaynak dikişine etkisini açıklamak , bazik ve rutil özlü elektrodlar için optimum gazı tayin etmek amacı ile diğer bütün parametreleri sabit tutup, koruyucu gaz karışımlarını değiştirerek deneyler yapılmıştır. Her elektrod - gaz kombinasyonu için 3 adet kaynaklı deney parçası ve 1 adet nüfuziyet parçası hazırlanarak mekanik özellikler ve nüfuziyet oranları incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, 15 farklı koruyucu gaz karışımı ile bazik ve rutil özlü elektrod için birer adet nüfuziyet parçası ve toplam 90 adet kaynaklı deney parçası hazırlanmış olup, takriben 25 m³ koruyucu gaz ve 15 kg'lık 5 makara bazik özlü elektrod, 5 makara da rutil özlü elektrod kullanılmıştır.

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Parametreler

- Esas metal St 52
- Kaynak makinası Fronius Vario-Star 505
- Özlü elektrod AWS A5.20 (1979): E 70 T-5 (bazik)
AWS A5.20 (1979): E 71 T-1 (rutil)
- Özlü elektrod çapı 1.6 mm
- Kaynak gerilimi (U) 30 V
- Akım şiddeti (I) 340 A
- Kaynak hızı (v) 250 mm/dak
- Tel besleme hızı 7 m/dak
- Isı girdisi $= \frac{U \times I}{v}$ 2.45 kJ/mm

$$= \frac{30 \times 340 \times 60}{250}$$

$$= 2448 \text{ J / mm}$$
- Serbest tel uzunluğu 19 mm
- Koruyucu gaz karışımları Ar, Ar - %5 CO₂, Ar - %10 CO₂, Ar - %15 CO₂,
Ar - %20 CO₂, Ar - %25 CO₂, Ar - %30 CO₂,
Ar - %35 CO₂, Ar - %40 CO₂, Ar - %50 CO₂,
Ar - %60 CO₂, Ar - %70 CO₂, Ar - %80 CO₂,
Ar - %90 CO₂, CO₂
- Gaz debisi 16 lt/dak

4.2. Deneylerin Yapılışı

Nüfuziyet testi: Parçalar üzerine tek paso kaynak yapılarak orta kısmından nüfuziyet için numune çıkarılmış 600 mesh'e kadar zımparalanmış ve Nital 10'la dağlandıktan sonra fotoğraflar çekilmiştir.

Çekme deneyi: Numuneler AWS A5.20'ye uygun olarak hazırlanmıştır. İşlenmiş parçalar 100°C'da 48 saat tavlandıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutulup test edilmiştir. AWS A5.20'ye göre minimum akma dayanımı 43 kg/mm², minimum çekme dayanımı 51 kg/mm² ve minimum uzama %22 olmalıdır. Sertlik ölçümleri de çekme deneyi numuneleri üzerinden yapılmıştır.

Çentik darbe deneyi: Numuneler AWS A5.20'ye göre hazırlanmıştır. Her kaynaklı parça için 5 adet numuneden en düşük ve en yüksek çentik darbe dayanımı verenler hariç, diğer 3 numune ortalama minimum 27 J çentik darbe dayanımı vermelidir. Bir tanesi 27J'dan az olabilir, fakat minimum 20 J olmalıdır. Ortalama çentik darbe dayanımı rutil özlü elektrod (E 71 T-1) için -18°C'da minimum 27 J, bazik özlü elektrod (E70 T-5) için -29°C'da minimum 27 J olmalıdır.

Bu tez çalışmasında yapılan deneyler, AWS A5.20 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu standardın tercih edilmesindeki temel nedenler, daha yaygın kullanıma sahip olması ve sonuçların diğer araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırılabilme olanağıdır. Özlü elektrodla kaynak konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde görüldüğü gibi, AWS A5.20, en fazla tercih edilmiş standarddır.

4.3. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

4.3.1. Nüfuziyetle İlgili Çalışmalar

Ar - CO₂ koruyucu gaz karışımlarının E 70 T-5 (bazik) ve E 71 T-1 (rutil) özlü elektrodları ile yapılan kaynak dikişinin nüfuziyetine etkisini, kullanılan koruyucu gaz karışımları ile hazırlanan kaynak dikişi fotoğraflarında görülmektedir (Şekil 4.1). Fotoğraflar incelendiğinde; E 70 T-5 ile uygun dikiş profilinin Ar - %60 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında, E 71 T-1 ile uygun dikiş profilinin Ar - %25 CO₂ ve Ar - %80 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.1’de E 70 T-5, Tablo 4.2’de E 71 T-1 için dikiş genişliği, dikiş yüksekliği, dikiş derinliği ve bunlara bağlı olarak dış dikiş formu, iç dikiş formu ve nüfuziyet oranları gösterilmiştir. Dikiş genişliği, yüksekliği ve derinliği, nüfuziyet parçaları üzerinden kumpasla ölçülmüştür. Kaynaklar elle yapıldığı için ölçülerin lineer artışı veya düşüşü beklenemez. Ancak dış dikiş formu, iç dikiş formu ve nüfuziyet oranı daha açıklayıcı olmaktadır. Bu değerler grafik olarak sırası ile E 70 T-5 için Şekil 4.2 - 4.4’de, E 71 T-1 için Şekil 4.5 - 4.7’de gösterilmiştir. Şekillerde %CO₂ değerleri, Ar - %CO₂ gaz karışımındaki %CO₂ değerlerini ifade etmektedir.

E 70 T-5 ile dış dikiş formu (b/h)= 3 - 6 , iç dikiş formu (b/t)= 3 - 6 ve E 71 T-1 ile dış dikiş formu (b/h)= 3 - 6, iç dikiş formu (b/t)= 2 - 6 arasında değişmiştir. İç dikiş formunun küçük değerde oluşu nüfuziyetin fazla olmasını ifade ettiğinden E 71 T-1 ile daha fazla nüfuziyet elde edilir. Tablo 4.1 ve 4.2’den de görüldüğü gibi en fazla nüfuziyet oranı CO₂ gazı ile elde edilmekle beraber bu değerler E 71 T-1 için %68, E 70 T-5 için %43’dür. Bu da, literatürdeki mevcut çalışmaların sonucu ile büyük bir uyumluluk göstermektedir. Vines (1985) en fazla nüfuziyetin CO₂ gazı ile elde edildiğini, koruyucu gaz karışımındaki CO₂ miktarı azaldıkça kaynağın kökünde radyusun daraldığını gözlemiştir.

Şekil 4.4'den görüldüğü gibi E 70 T-5 ile nüfuziyet oranı Ar - %60 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında , Şekil 4.7'den görüldüğü gibi E 71 T-1 ile nüfuziyet oranı Ar - %80 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında ve Ar - %25 CO₂ gaz karışımında artış göstermiştir. Bu sonuçlar, fotoğraf görüntülerini doğrulamakta, Balraj (1989)'ın sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Balraj yaptığı çalışmada, uygun dikiş profilini bazik özlü elektrodla yüksek akım şiddetlerinde (>300 A) ve CO₂ gazı kullanıldığında, rutil özlü elektrodla düşük akım şiddetlerinde (< 300 A) ve CO₂ gazının her oranında elde etmiştir.

4.3.2. Mekanik Özellikle İlgili Çalışmalar

Bu çalışmalarda her özlü elektrod-koruyucu gaz kombinasyonu için 3 deney parçası hazırlanmış olup, sonuçlar bu üç parçanın değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Kullanılan koruyucu gaz karışımlarına göre, E 70 T-5 (bazik) için Tablo 4.3'de sertlik, Tablo 4.4'de akma ve çekme dayanımları, Tablo 4.5'de uzama, Tablo 4.6'da çentik darbe dayanımı değerleri , E 71 T-1 (rutil) için Tablo 4.7'de sertlik, Tablo 4.8'de akma ve çekme dayanımları, Tablo 4.9'da uzama, Tablo 4.10'da çentik darbe dayanımı değerleri verilmiştir. Tablo 4.11'de E 70 T-5 ve Tablo 4.12'de E 71 T-1 için, bu değerlerin ortalama değerleri mekanik özellikler olarak toplu halde gösterilmiştir. Bu sonuçların daha iyi irdelenebilmesi için her bir özellik ile ilgili grafik oluşturulmuştur. Grafiklerde %CO₂ değerleri, Ar - %CO₂ gaz karışımındaki %CO₂ değerlerini göstermektedir.

E 70 T-5 (bazik) özlü elektrodu kullanılarak:

- En yüksek akma ve çekme dayanımı Ar gazı ile elde edilmiş olup, sertlik değeri de en yüksektir (Bkz. Tablo 4.11 ve Şekil 4.8, 4.9). Bu değerler; $\sigma_A = 55.28 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_C = 63.03 \text{ kg/mm}^2$, Sertlik = 180 HB.

- En yüksek uzama değeri Ar - %60 CO₂ ile elde edilmiş olup, %36.12'dir (Bkz. Tablo 4.11 ve Şekil 4.10). Fakat Şekil 4.8'den görüldüğü gibi, Ar - %60 CO₂ ve daha fazla CO₂ oranlarında akma ve çekme dayanımı minimum değerlerin altında kaldığından en yüksek uzama değeri olarak Ar - %50 CO₂'e karşılık gelen uzama değeri kabul edilebilir. Bu değer %35.59'dur (Bkz. Tablo 4.11 ve Şekil 4.10).

- Şekil 4.11'den görüldüğü gibi çentik darbe dayanımı değerleri, her %CO₂ değerinde minimum değerden oldukça yüksektir.

Bu sonuçlara göre E 70 T-5 özlü elektrodu için en uygun koruyucu gaz karışımı Ar - %50 CO₂'dir. Çünkü Ar gazı ile elde edilen akma ve çekme dayanımına çok yakın değerlere ulaşılmakta ($\sigma_A = 50.42 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_C = 62.46 \text{ kg/mm}^2$), uzama ve çentik darbe dayanımı değerleri daha yüksek olmaktadır (Bkz. Şekil 4.10 ve 4.11).

E 71 T-1 (rutil) özlü elektrodu kullanılarak:

- En yüksek akma dayanımı Ar - %35 CO₂ ile, en yüksek çekme dayanımı ise Ar gazı ile elde edilmiş olup, sertlik değeri de en yüksektir (Bkz. Tablo 4.12 ve Şekil 4.12, 4.13). Bu değerler: Ar kullanıldığında, $\sigma_A = 52.49 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_C = 64.03 \text{ kg/mm}^2$,

Sertlik= 183 HB ve Ar- %35 CO₂ kullanıldığında, $\sigma_A = 55.09 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_C = 62.79 \text{ kg/mm}^2$, Sertlik= 175 HB bulunmuştur.

- En yüksek uzama değeri Şekil 4.14'den de görüldüğü gibi Ar - %70 CO₂ ile elde edilmiş olup, %30.12'dir (Bkz. Tablo 4.12). Fakat Şekil 4.12'den de görüleceği gibi Ar - %70 CO₂'den fazla CO₂ oranlarında akma ve çekme dayanımı minimum değerlere çok yakın olduğundan optimum değerden uzaklaşmaktadır. Ar - %30 CO₂, Ar - %35 CO₂ ve Ar - %40 CO₂ ile de bu değere yakın uzama değerleri elde edilmiştir. Bu değerler sırası ile %29.62, %28.54, %28.98'dir (Bkz. Tablo 4.12).

- Şekil 4.15'den görüldüğü gibi en yüksek çentik darbe dayanımı değerleri Ar - %30 CO₂ , Ar - %35 CO₂ , Ar - %40 CO₂ ile elde edilmiştir. Bu değerler sırası ile 115.10 J, 115.75 J, 120.22 J'dur (Bkz. Tablo 4.12).

Bu sonuçlara göre E 71 T-1 özlü elektrodu için en uygun koruyucu gaz karışımı Ar - %35 CO₂ 'dir.

Yukarıdaki sonuçlar genel olarak irdelenip mevcut çalışmalarla karşılaştırılacak olursa; rutil ve bazik özlü elektrod kullanıldığında Ar - CO₂ gaz karışımının yüksek CO₂ değerlerinde sertlik azalmakta, buna bağlı olarak akma ve çekme dayanımı düşmektedir. Bu düşme eğilimi E 70 T-5 (bazik) için Ar - %50 CO₂ , E 71 T-1 (rutil) için Ar - %35 CO₂ değerlerinden itibaren süreklilik göstermektedir. Bu durum da Witzenburg (1981) ve Adams (1978)'ın sertlik düşüşünü açıklayan sonuçlarını doğrulamaktadır. Witzenburg, koruyucu gaz karışımında CO₂ miktarının artması ile gazın oksitleyici karakterinin arttığını ve ark içinde element kayıpları sonucunda sertlik düşüşü meydana geldiğini, bunun da kaynak metalinin akma ve çekme dayanımını azalttığını ileri sürmüştür. Adams ise sertlik düşüşünü yüksek CO₂ oranlarında soğuma hızının düşüşü ile açıklamıştır.

Çentik darbe dayanımı değerleri irdelendiğinde Ar - CO₂ gaz karışımları ile belirgin bir ilişki göstermediği, yüksek CO₂ oranlarında, düşük CO₂ oranlarına kıyasla daha yüksek çentik darbe dayanımı değerleri elde edildiği dikkat çekmiştir. E 71 T-1 (rutil) özlü elektrodalarda maksimum çentik darbe dayanımlarına %30 - 40 CO₂ oranlarında ulaşılırken E 70 T-5 (bazik) özlü elektrodalarda daha yüksek CO₂ oranlarında (> %60 CO₂) maksimum çentik darbe dayanımları elde edilmiştir. Bu CO₂ oranlarının sertlik düşüşlerinin başlangıç noktalarına karşılık gelmesi de ilgi çekicidir. Aynı zamanda CO₂ miktarının artışı kaynak metalinin oksijen miktarını artırmaktadır.

Dolby (1976) sertlik ve oksijen miktarı dışında kaynak metalinin tane iriliğinin de tokluğu etkilediğini ileri sürmüştür. Pargeter ve arkadaşları (1984) oksijen miktarının

optimum değerlerden düşük veya yüksek olmasının tokluğu azalttığını saptamıştır. Rutil özlü elektrodlarda (E 71 T-1) düşük ve yüksek CO_2 miktarlarında ($< \%30 - 40 \text{ CO}_2 <$) düşüş gözlenmiştir (Bkz. Şekil 4.15). Bazik özlü elektrodlarda (E 70 T-5) böyle bir ilişki gözlenmemiştir.

Deneyisel çalışmaların sonunda; bazik özlü elektrodlar kullanıldığında koruyucu gaz olarak Ar - $\%50 \text{ CO}_2$, rutil özlü elektrodlar kullanıldığında koruyucu gaz olarak Ar - $\%35 \text{ CO}_2$ optimum gaz karışımı olarak bulunmuştur. Bu gaz karışımları, en fazla dikiş derinliğini sağlamamakla beraber 5 mm parça kalınlığı için, kaynak ağzı açmadan iki taraftan kaynağa elverişlidir. Tablo 4.1 ve 4.2'den de görüldüğü gibi bazik özlü elektrodlarla kaynakta Ar - $\%50 \text{ CO}_2$ için dikiş derinliği 3.10 mm, rutil özlü elektrodlarla kaynakta Ar - $\%35 \text{ CO}_2$ için dikiş derinliği 3.40 mm.dir.



b= 18.00 mm
h= 3.80 mm
t= 3.20 mm

%100 Ar

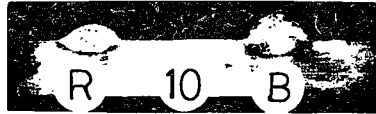
b= 13.50 mm
h= 4.30 mm
t= 3.40 mm



b= 10.20 mm
h= 2.50 mm
t= 3.50 mm

Ar - %5 CO₂

b= 13.00 mm
h= 3.70 mm
t= 3.30 mm



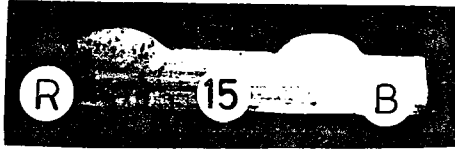
b= 12.10 mm
h= 2.75 mm
t= 2.50 mm

Ar - %10 CO₂

b= 12.90 mm
h= 4.60 mm
t= 3.15 mm

Şekil 4.1. E 70 T-5 ve E 71 T-1 özlü elektrodları ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranlarını gösteren fotoğraflar

(R: rutil , B: bazik , b: dikiş genişliği, h: dikiş yüksekliği, t: dikiş derinliği)



b= 14.60 mm	Ar - %15 CO ₂	b= 14.00 mm
h= 2.80 mm		h= 3.00 mm
t= 3.40 mm		t= 3.10 mm



b= 16.20 mm	Ar - %20 CO ₂	b= 15.80 mm
h= 2.90 mm		h= 3.00 mm
t= 3.50 mm		t= 3.20 mm



b= 15.90 mm	Ar - %25 CO ₂	b= 13.00 mm
h= 2.70 mm		h= 3.30 mm
t= 6.00 mm		t= 3.40 mm

Şekil 4.1. E 70 T-5 ve E 71 T-1 özlü elektrodları ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranlarını gösteren fotoğraflar (devamı)

(R: rutil , B: bazik , b: dikiş genişliği, h: dikiş yüksekliği, t: dikiş derinliği)



b= 13.70 mm
h= 4.00 mm
t= 2.90 mm

Ar - %30 CO₂

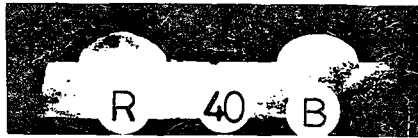
b= 13.60 mm
h= 4.40 mm
t= 2.60 mm



b= 15.60 mm
h= 4.00 mm
t= 3.40 mm

Ar - %35 CO₂

b= 14.00 mm
h= 3.30 mm
t= 3.30 mm



b= 15.00 mm
h= 5.00 mm
t= 2.60 mm

Ar - %40 CO₂

b= 14.20 mm
h= 4.90 mm
t= 3.20 mm

Şekil 4.1. E 70 T-5 ve E 71 T-1 özlü elektrodları ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranlarını gösteren fotoğraflar (devamı)

(R: rutil , B: bazik , b: dikiş genişliği, h: dikiş yüksekliği, t: dikiş derinliği)



b= 14.70 mm
h= 3.20 mm
t= 4.30 mm

Ar - %50 CO₂

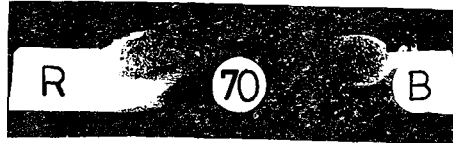
b= 17.50 mm
h= 2.90 mm
t= 3.10 mm



b= 15.00 mm
h= 2.80 mm
t= 4.20 mm

Ar - %60 CO₂

b= 14.00 mm
h= 3.50 mm
t= 4.20 mm

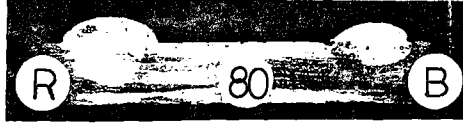


b= 14.50 mm
h= 3.00 mm
t= 4.20 mm

Ar - %70 CO₂

b= 11.60 mm
h= 3.00 mm
t= 3.60 mm

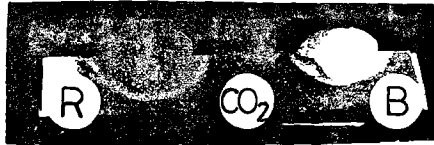
Şekil 4.1. E 70 T-5 ve E 71 T-1 özlü elektrodları ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranlarını gösteren fotoğraflar (devamı)
(R: rutil , B: bazik , b: dikiş genişliği, h: dikiş yüksekliği, t: dikiş derinliği)



b= 16.10 mm	Ar - %80 CO ₂	b= 13.70 mm
h= 3.85 mm		h= 3.30 mm
t= 6.50 mm		t= 4.15 mm



b= 15.65 mm	Ar - %90 CO ₂	b= 12.60 mm
h= 3.80 mm		h= 3.10 mm
t= 6.80 mm		t= 3.90 mm



b= 14.60 mm	%100 CO ₂	b= 13.20 mm
h= 5.00 mm		h= 4.40 mm
t= 6.80 mm		t= 4.30 mm

Şekil 4.1. E 70 T-5 ve E 71 T-1 özlü elektrodları ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranlarını gösteren fotoğraflar (devamı)
(R: rutil , B: bazik , b: dikiş genişliği, h: dikiş yüksekliği, t: dikiş derinliği)

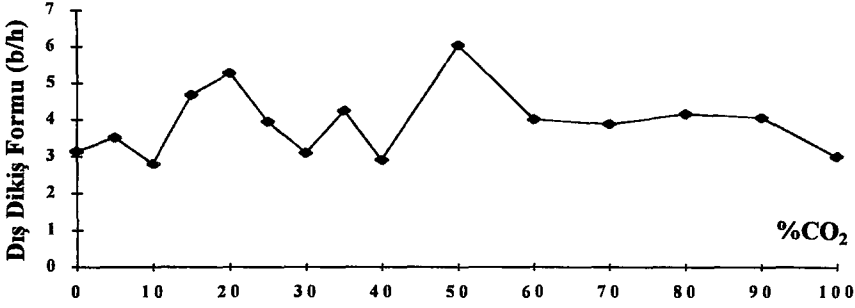
Tablo 4.1. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranları

Koruyucu gaz	b (mm)	h (mm)	t (mm)	b/h	b/t	t/sx100 (%)
Ar	13.50	4.30	3.40	3.14	3.97	34
Ar - %5 CO ₂	13.00	3.70	3.30	3.51	3.94	33
Ar - %10 CO ₂	12.90	4.60	3.15	2.80	4.10	31.5
Ar - %15 CO ₂	14.00	3.00	3.10	4.67	4.52	31
Ar - %20 CO ₂	15.80	3.00	3.20	5.27	4.94	32
Ar - %25 CO ₂	13.00	3.30	3.40	3.94	3.82	34
Ar - %30 CO ₂	13.60	4.40	2.60	3.09	5.23	26
Ar - %35 CO ₂	14.00	3.30	3.30	4.24	4.24	33
Ar - %40 CO ₂	14.20	4.90	3.20	2.90	4.44	32
Ar - %50 CO ₂	17.50	2.90	3.10	6.03	5.65	31
Ar - %60 CO ₂	14.00	3.50	4.20	4.00	3.33	42
Ar - %70 CO ₂	11.60	3.00	3.60	3.87	3.22	36
Ar - %80 CO ₂	13.70	3.30	4.15	4.15	3.30	41.5
Ar - %90 CO ₂	12.60	3.10	3.90	4.06	3.23	39
CO ₂	13.20	4.40	4.30	3.00	3.07	43

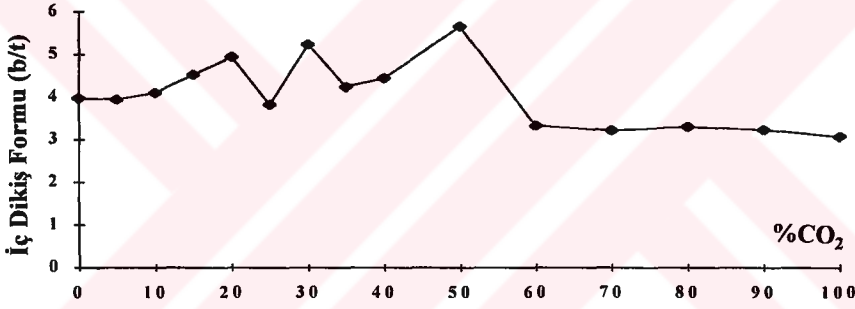
Tablo 4.2. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dikiş formları ve nüfuziyet oranları

Koruyucu gaz	b (mm)	h (mm)	t (mm)	b/h	b/t	t/sx100 (%)
Ar	18.00	3.80	3.20	4.74	5.63	32
Ar - %5 CO ₂	10.20	2.50	3.50	4.08	2.91	35
Ar - %10 CO ₂	12.10	2.75	2.50	4.40	4.84	25
Ar - %15 CO ₂	14.60	2.80	3.40	5.21	4.29	34
Ar - %20 CO ₂	16.20	2.90	3.50	5.58	4.62	35
Ar - %25 CO ₂	15.90	2.70	6.00	5.88	2.65	60
Ar - %30 CO ₂	13.70	4.00	2.90	3.42	4.72	29
Ar - %35 CO ₂	15.60	4.00	3.40	3.90	4.59	34
Ar - %40 CO ₂	15.00	5.00	2.60	3.00	5.77	26
Ar - %50 CO ₂	14.70	3.20	4.30	4.59	3.42	43
Ar - %60 CO ₂	15.00	2.80	4.20	5.36	3.57	42
Ar - %70 CO ₂	14.50	3.00	4.20	4.83	3.45	42
Ar - %80 CO ₂	16.10	3.85	6.50	4.18	2.47	65
Ar - %90 CO ₂	15.65	3.80	6.80	4.12	2.30	68
CO ₂	14.60	5.00	6.80	2.92	2.14	68

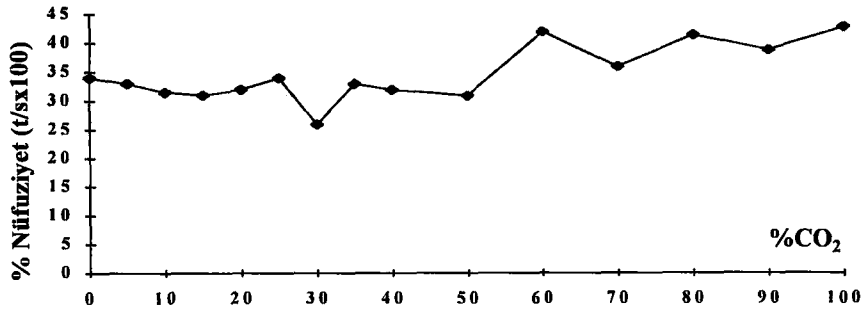
Burada; s: parça kalınlığı = 10 mm, b: dikiş genişliği, h: dikiş yüksekliği, t: dikiş derinliği, b/h: dış dikiş formu, b/t: iç dikiş formu, t/sx100: nüfuziyet oranı.



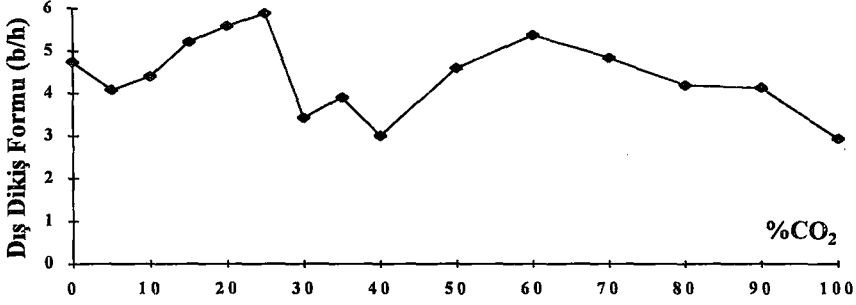
Şekil 4.2. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dış dikiş formu



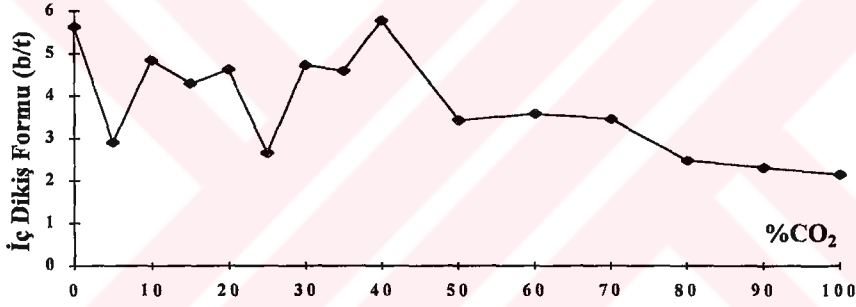
Şekil 4.3. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre iç dikiş formu



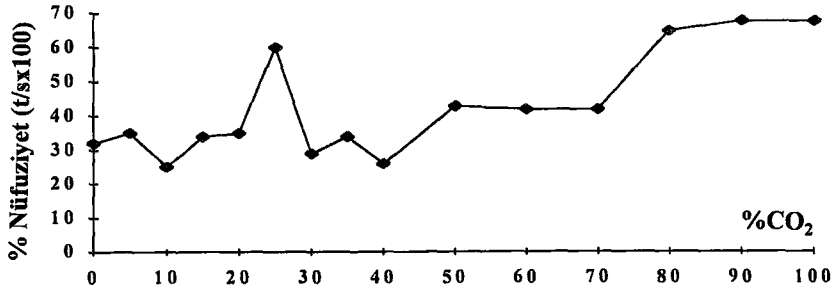
Şekil 4.4. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre nüfuziyet oranı



Şekil 4.5. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre dış dikiş formu



Şekil 4.6. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre iç dikiş formu



Şekil 4.7. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak dikişinin kullanılan koruyucu gazlara göre nüfuziyet oranı

Tablo 4.3. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri

Koruyucu gaz	Sertlik 1 (HB)	Sertlik 2 (HB)	Sertlik 3 (HB)	Ortalama (HB)
Ar	180 (181,180,180)	178 (179,182,173)	182 (184,178,183)	180
Ar - %5 CO ₂	169 (170,167,170)	169 (167,168,172)	168 (167,167,170)	169
Ar - %10 CO ₂	168 (164,169,171)	164 (163,162,168)	160 (158,164,158)	164
Ar - %15 CO ₂	159 (158,160,160)	168 (170,170,164)	160 (161,159,159)	162
Ar - %20 CO ₂	163 (164,161,164)	152 (150,153,153)	168 (170,171,163)	161
Ar - %25 CO ₂	162 (164,161,161)	158 (156,158,161)	166 (164,167,167)	162
Ar - %30 CO ₂	167 (164,167,170)	170 (170,170,169)	165 (164,164,167)	167
Ar - %35 CO ₂	165 (166,166,163)	166 (166,167,166)	164 (161,163,168)	165
Ar - %40 CO ₂	163 (164,167,158)	166 (165,164,168)	178 (180,185,169)	169
Ar - %50 CO ₂	160 (161,161,158)	171 (170,174,170)	167 (165,167,170)	166
Ar - %60 CO ₂	146 (145,145,148)	137 (135,138,138)	143 (142,143,145)	142
Ar - %70 CO ₂	131 (131,131,130)	145 (144,145,145)	150 (148,156,146)	142
Ar - %80 CO ₂	132 (131,133,133)	135 (137,135,133)	138 (136,136,143)	135
Ar - %90 CO ₂	133 (133,133,133)	133 (132,133,135)	132 (134,131,132)	133
CO ₂	132 (135,131,130)	130 (130,130,131)	130 (132,129,130)	131

Not: Parantez içindeki değerler bir parça üzerindeki sertlik ölçüm değerleridir.

Tablo 4.4. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları

Koruyucu gaz	$\sigma_A 1 - \sigma_C 1$ (kg/mm ²)	$\sigma_A 2 - \sigma_C 2$ (kg/mm ²)	$\sigma_A 3 - \sigma_C 3$ (kg/mm ²)	Ortalama $\sigma_A - \sigma_C$ (kg/mm ²)
Ar	56.70 - 63.91	56.21 - 62.32	52.93 - 62.86	55.28 - 63.03
Ar - %5 CO ₂	48.60 - 58.68	49.84 - 60.29	49.16 - 59.92	49.20 - 59.63
Ar - %10 CO ₂	47.40 - 56.87	46.99 - 56.40	47.06 - 56.74	47.15 - 56.67
Ar - %15 CO ₂	45.88 - 55.59	47.39 - 56.86	48.62 - 57.29	47.30 - 56.58
Ar - %20 CO ₂	47.43 - 57.54	45.80 - 54.50	46.60 - 57.26	46.61 - 56.43
Ar - %25 CO ₂	48.57 - 56.87	47.39 - 57.26	48.18 - 57.26	48.04 - 57.13
Ar - %30 CO ₂	46.88 - 56.66	47.28 - 57.88	44.84 - 56.26	46.33 - 56.93
Ar - %35 CO ₂	42.56 - 54.90	40.28 - 52.58	44.33 - 56.20	42.39 - 54.56
Ar - %40 CO ₂	44.46 - 53.96	43.44 - 54.30	44.21 - 53.75	44.03 - 54.00
Ar - %50 CO ₂	48.97 - 60.79	52.45 - 64.24	49.84 - 62.35	50.42 - 62.46
Ar - %60 CO ₂	38.88 - 49.76	38.00 - 48.97	37.12 - 47.58	38.00 - 48.77
Ar - %70 CO ₂	38.10 - 47.04	40.25 - 52.76	39.58 - 51.40	39.31 - 50.40
Ar - %80 CO ₂	38.87 - 49.64	38.06 - 48.20	40.52 - 50.90	39.15 - 49.58
Ar - %90 CO ₂	37.95 - 48.57	37.12 - 47.92	37.49 - 48.05	37.52 - 48.18
CO ₂	37.12 - 48.11	36.91 - 47.57	36.73 - 47.78	36.92 - 47.82

Tablo 4.5. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri

Koruyucu gaz	$\epsilon 1$ (%)	$\epsilon 2$ (%)	$\epsilon 3$ (%)	Ortalama ϵ (%)
Ar	26.15	26.18	26.67	26.33
Ar - %5 CO ₂	33.73	33.48	33.38	33.53
Ar - %10 CO ₂	33.33	30.61	30.47	31.47
Ar - %15 CO ₂	30.00	29.33	31.20	30.18
Ar - %20 CO ₂	28.00	27.50	27.36	27.62
Ar - %25 CO ₂	29.10	29.00	29.30	29.13
Ar - %30 CO ₂	25.80	32.50	30.70	29.66
Ar - %35 CO ₂	32.40	32.40	32.80	32.53
Ar - %40 CO ₂	29.00	33.80	33.26	32.02
Ar - %50 CO ₂	35.47	35.31	35.99	35.59
Ar - %60 CO ₂	38.30	32.80	37.26	36.12
Ar - %70 CO ₂	33.45	37.39	35.48	35.44
Ar - %80 CO ₂	37.60	35.43	33.77	35.60
Ar - %90 CO ₂	33.20	32.28	37.33	34.27
CO ₂	30.18	27.80	27.13	28.37

Tablo 4.6. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımları

Koruyucu gaz	Çentik darbe dayanımı 1 J (-29°C'da)	Çentik darbe dayanımı 2 J (-29°C'da)	Çentik darbe dayanımı 3 J (-29°C'da)	Ortalama çentik darbe dayanımı (J)
Ar	(51.66) 49.05 39.24 37.27 66.70 70.63	(69.32) 78.48 58.86 56.89 70.63 102.02	(66.70) 68.67 68.67 58.86 62.78 107.91	62.56
Ar - %5 CO ₂	(160.88) 149.11 156.96 137.34 176.58 225.63	(134.72) 141.26 137.34 117.72 125.57 213.86	(149.76) 149.11 153.03 137.34 147.15 186.39	148.45
Ar - %10 CO ₂	(147.80) 137.34 147.15 107.91 158.92 196.20	(133.41) 127.53 133.41 98.10 139.30 156.96	(127.53) 117.72 127.53 109.87 137.34 154.99	136.24
Ar - %15 CO ₂	(127.53) 137.34 137.34 82.40 107.91 166.77	(108.56) 98.10 127.53 49.05 100.06 147.15	(127.53) 117.72 127.53 117.72 137.34 147.15	121.20
Ar - %20 CO ₂	(79.13) 58.86 100.06 29.43 78.48 107.91	(75.86) 82.40 58.86 27.46 86.32 103.98	(71.94) 64.74 72.59 37.27 78.48 117.72	75.64
Ar - %25 CO ₂	(63.43) 52.97 70.63 29.43 66.70 80.44	(87.63) 90.25 90.25 68.67 82.40 127.53	(65.40) 58.86 80.44 51.01 56.90 88.29	72.15
Ar - %30 CO ₂	(80.44) 94.17 64.75 41.20 82.40 119.68	(92.21) 88.29 90.25 56.90 98.10 107.91	(82.40) 88.29 68.67 58.86 90.25 123.61	85.02
Ar - %35 CO ₂	(100.71) 96.14 121.64 68.67 84.36 135.38	(92.21) 100.06 96.14 49.05 80.44 147.15	(99.41) 96.14 100.06 78.48 102.02 117.72	97.44

Tablo 4.6. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımları (devamı)

Koruyucu gaz	Çentik darbe dayanımı 1 J (-29°C'da)	Çentik darbe dayanımı 2 J (-29°C'da)	Çentik darbe dayanımı 3 J (-29°C'da)	Ortalama Ç.D.D. (J)
Ar - %40 CO ₂	(91.55) 90.25 90.25 37.28 94.17 113.79	(98.10) 100.06 82.40 35.31 111.83 115.76	(97.44) 100.06 100.06 84.36 92.21 125.57	95.70
Ar - %50 CO ₂	(97.44) 92.21 98.10 88.29 102.02 147.15	(133.41) 129.49 123.60 107.91 147.15 186.39	(120.33) 123.60 119.68 109.87 117.72 153.03	117.06
Ar - %60 CO ₂	(149.11) 149.11 147.15 123.60 151.07 188.35	(143.88) 137.34 147.15 117.72 147.15 166.77	(148.45) 153.03 145.18 125.56 147.15 176.58	147.15
Ar - %70 CO ₂	(174.61) 153.03 182.46 137.34 188.35 200.12	(203.38) 200.12 215.82 147.15 194.21 225.63	(190.31) 190.31 184.43 156.96 196.20 206.01	189.43
Ar - %80 CO ₂	(204.70) 202.09 207.97 196.20 204.05 229.55	(193.58) 186.39 206.01 147.15 188.35 215.82	(167.42) 166.77 160.88 158.92 174.62 196.20	188.56
Ar - %90 CO ₂	(184.42) 180.50 188.35 166.77 184.42 196.20	(181.80) 182.46 180.50 168.73 182.46 192.27	(191.62) 188.35 189.33 184.43 197.18 198.16	185.95
CO ₂	(167.42) 162.84 166.77 123.60 172.66 186.39	(160.88) 160.88 158.92 147.15 162.84 166.77	(157.61) 153.03 156.96 137.34 162.84 186.39	161.97

Not: 1- Koyu yazılan rakamlar ortalamaya girmeyen en düşük ve en yüksek değerlerdir.

2- Parantez içindeki değerler her kaynaklı parçanın ortalama çentik darbe dayanımı değerleridir.

3- Ortalama değerler, parantez içindeki 3 değerın ortalamasıdır.

Tablo 4.7. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri

Koruyucu gaz	Sertlik 1 (HB)	Sertlik 2 (HB)	Sertlik 3 (HB)	Ortalama (HB)
Ar	182 (187,180,180)	185 (184,184,187)	182 (187,184,176)	183
Ar - %5 CO ₂	165 (161,167,167)	180 (177,180,184)	180 (180,178,182)	175
Ar - %10 CO ₂	169 (167,168,172)	170 (170,170,171)	177 (179,176,177)	172
Ar - %15 CO ₂	162 (161,162,162)	169 (167,170,170)	173 (171,173,174)	168
Ar - %20 CO ₂	151 (150,150,153)	169 (165,167,175)	167 (166,168,168)	162
Ar - %25 CO ₂	163 (162,164,164)	164 (160,163,168)	157 (156,156,160)	161
Ar - %30 CO ₂	164 (164,164,164)	165 (164,167,164)	165 (165,160,170)	165
Ar - %35 CO ₂	169 (164,171,173)	179 (180,183,174)	178 (173,175,186)	175
Ar - %40 CO ₂	167 (164,167,170)	168 (166,168,170)	169 (167,169,170)	168
Ar - %50 CO ₂	153 (153,154,153)	159 (158,160,160)	162 (160,167,158)	158
Ar - %60 CO ₂	149 (149,148,151)	152 (152,152,152)	157 (156,156,158)	153
Ar - %70 CO ₂	145 (143,146,147)	148 (146,149,150)	153 (153,154,152)	149
Ar - %80 CO ₂	147 (145,148,148)	149 (148,150,150)	151 (148,150,154)	149
Ar - %90 CO ₂	146 (145,145,148)	147 (145,148,148)	147 (146,147,148)	147
CO ₂	140 (137,138,145)	142 (140,142,143)	145 (142,145,147)	142

Not: Parantez içindeki değerler bir parça üzerindeki sertlik ölçüm değerleridir.

Tablo 4.8. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları

Koruyucu gaz	$\sigma_A 1 - \sigma_{\zeta 1}$ (kg/mm ²)	$\sigma_A 2 - \sigma_{\zeta 2}$ (kg/mm ²)	$\sigma_A 3 - \sigma_{\zeta 3}$ (kg/mm ²)	Ortalama $\sigma_A - \sigma_{\zeta}$ (kg/mm ²)
Ar	53.41-63.72	50.89-63.05	53.17-65.32	52.49-64.03
Ar - %5 CO ₂	46.47-55.84	49.76-59.24	48.28-60.48	48.17-58.52
Ar - %10 CO ₂	50.55-57.88	45.66-55.44	50.55-59.00	48.92-57.44
Ar - %15 CO ₂	45.25-55.00	44.84-50.95	49.74-56.66	46.61-54.20
Ar - %20 CO ₂	45.00-53.26	43.54-53.65	45.88-55.59	44.80-54.17
Ar - %25 CO ₂	52.68-60.00	51.34-60.42	43.00-56.47	49.00-58.96
Ar - %30 CO ₂	51.34-59.63	50.05-58.85	50.86-59.51	50.75-59.33
Ar - %35 CO ₂	54.85-62.20	55.17-63.16	55.25-63.02	55.09-62.79
Ar - %40 CO ₂	52.92-60.82	51.85-59.03	52.22-61.44	52.33-60.43
Ar - %50 CO ₂	46.60-56.08	49.76-63.98	47.08-61.24	47.81-60.43
Ar - %60 CO ₂	45.75-55.60	45.78-55.27	45.90-55.60	45.81-55.49
Ar - %70 CO ₂	42.67-52.78	43.98-52.80	45.02-52.52	43.89-52.70
Ar - %80 CO ₂	44.13-52.75	43.89-51.83	44.22-53.88	44.08-52.82
Ar - %90 CO ₂	43.48-51.73	43.85-51.98	42.99-52.08	43.44-51.93
CO ₂	44.06-52.92	41.65-49.56	44.80-51.50	43.50-51.33

Tablo 4.9. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri

Koruyucu gaz	$\epsilon 1$ (%)	$\epsilon 2$ (%)	$\epsilon 3$ (%)	Ortalama ϵ (%)
Ar	23.76	26.88	26.67	25.77
Ar - %5 CO ₂	23.00	29.00	28.00	26.66
Ar - %10 CO ₂	25.00	27.00	28.00	26.66
Ar - %15 CO ₂	27.00	22.00	23.00	24.00
Ar - %20 CO ₂	22.50	25.10	27.40	25.00
Ar - %25 CO ₂	25.00	28.00	28.00	27.00
Ar - %30 CO ₂	28.85	29.31	30.70	29.62
Ar - %35 CO ₂	28.50	28.50	28.62	28.54
Ar - %40 CO ₂	29.24	28.37	29.33	28.98
Ar - %50 CO ₂	26.77	23.00	29.92	26.56
Ar - %60 CO ₂	28.56	28.71	30.15	29.14
Ar - %70 CO ₂	32.09	30.27	28.00	30.12
Ar - %80 CO ₂	29.85	29.75	30.40	30.00
Ar - %90 CO ₂	27.43	28.02	29.15	28.20
CO ₂	25.15	25.85	24.00	25.00

Tablo 4.10. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımları

Koruyucu gaz	Çentik darbe dayanımı 1 J (-18°C'da)	Çentik darbe dayanımı 2 J (-18°C'da)	Çentik darbe dayanımı 3 J (-18°C'da)	Ortalama çentik darbe dayanımı (J)
Ar	(42.51) 45.13 45.13 31.39 37.28 58.86	(52.97) 58.86 47.08 25.50 52.97 62.78	(45.12) 43.16 47.08 35.32 45.13 50.96	46.86
Ar - %5 CO ₂	(32.04) 33.35 33.35 21.58 29.43 56.89	(34.99) 34.33 35.32 31.39 35.32 45.13	(30.08) 27.46 29.43 25.51 33.35 35.32	32.37
Ar - %10 CO ₂	(30.73) 27.47 31.39 24.53 33.35 35.32	(29.43) 33.35 27.47 23.54 27.47 37.28	(32.70) 39.24 31.39 28.45 27.47 54.97	30.95
Ar - %15 CO ₂	(33.03) 27.47 36.30 23.54 35.32 54.94	(32.04) 29.43 29.43 28.45 37.28 68.67	(31.06) 27.47 31.39 21.58 34.34 49.05	32.04
Ar - %20 CO ₂	(34.00) 34.33 28.45 28.45 39.24 60.82	(30.08) 29.43 33.35 27.47 27.47 56.90	(37.27) 39.24 43.16 25.51 29.43 51.01	33.78
Ar - %25 CO ₂	(46.43) 43.16 47.09 43.16 49.05 54.93	(88.94) 78.48 90.25 68.67 98.10 107.91	(71.94) 66.71 70.63 60.82 78.48 82.41	69.10
Ar - %30 CO ₂	(120.99) 113.80 121.64 109.87 127.53 137.34	(107.25) 100.06 107.91 98.10 113.80 127.53	(117.07) 115.76 119.68 100.06 115.76 141.26	115.10
Ar - %35 CO ₂	(113.79) 117.72 111.83 107.91 111.83 119.68	(115.43) 113.79 117.72 90.25 114.77 127.53	(118.04) 116.73 115.76 100.06 121.64 129.49	115.75

Tablo 4.10. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımları (devamı)

Koruyucu gaz	Çentik darbe dayanımı 1 J (-18°C'da)	Çentik darbe dayanımı 2 J (-18°C'da)	Çentik darbe dayanımı 3 J (-18°C'da)	Ortalama Ç.D.D. (J)
Ar - %40 CO ₂	(104.64) 88.29 107.91 78.48 117.72 119.68	(123.60) 119.68 131.45 113.79 119.68 141.26	(132.44) 137.34 144.21 98.10 115.76 158.92	120.22
Ar - %50 CO ₂	(62.46) 58.86 62.78 41.20 65.73 90.25	(64.75) 47.09 56.90 39.24 90.25 98.10	(69.32) 72.59 54.94 25.51 80.44 102.02	65.51
Ar - %60 CO ₂	(83.71) 72.59 88.29 29.43 90.25 100.06	(79.79) 78.48 80.44 78.48 80.44 106.93	(81.09) 100.06 51.01 33.35 92.21 117.72	81.53
Ar - %70 CO ₂	(88.94) 78.48 86.33 62.78 102.02 113.80	(84.36) 72.59 80.44 28.45 100.06 119.68	(81.75) 56.90 76.52 29.43 111.83 129.49	85.02
Ar - %80 CO ₂	(79.13) 41.20 96.14 21.58 100.06 100.06	(81.10) 80.44 56.90 35.32 105.95 121.64	(92.21) 78.48 88.29 49.05 109.87 117.72	84.14
Ar - %90 CO ₂	(83.22) 67.20 80.44 62.78 102.02 115.76	(83.39) 54.94 94.18 42.18 101.04 123.61	(71.94) 39.24 82.40 23.54 94.18 107.91	79.51
CO ₂	(39.89) 33.35 47.08 25.50 39.24 49.05	(43.16) 35.31 43.16 29.43 51.01 60.82	(38.58) 47.08 37.28 27.46 31.39 52.97	40.54

Not: 1- Koyu yazılan rakamlar ortalamaya girmeyen en düşük ve en yüksek değerlerdir.

2- Parantez içindeki değerler her kaynaklı parçanın ortalama çentik darbe dayanımı değerleridir.

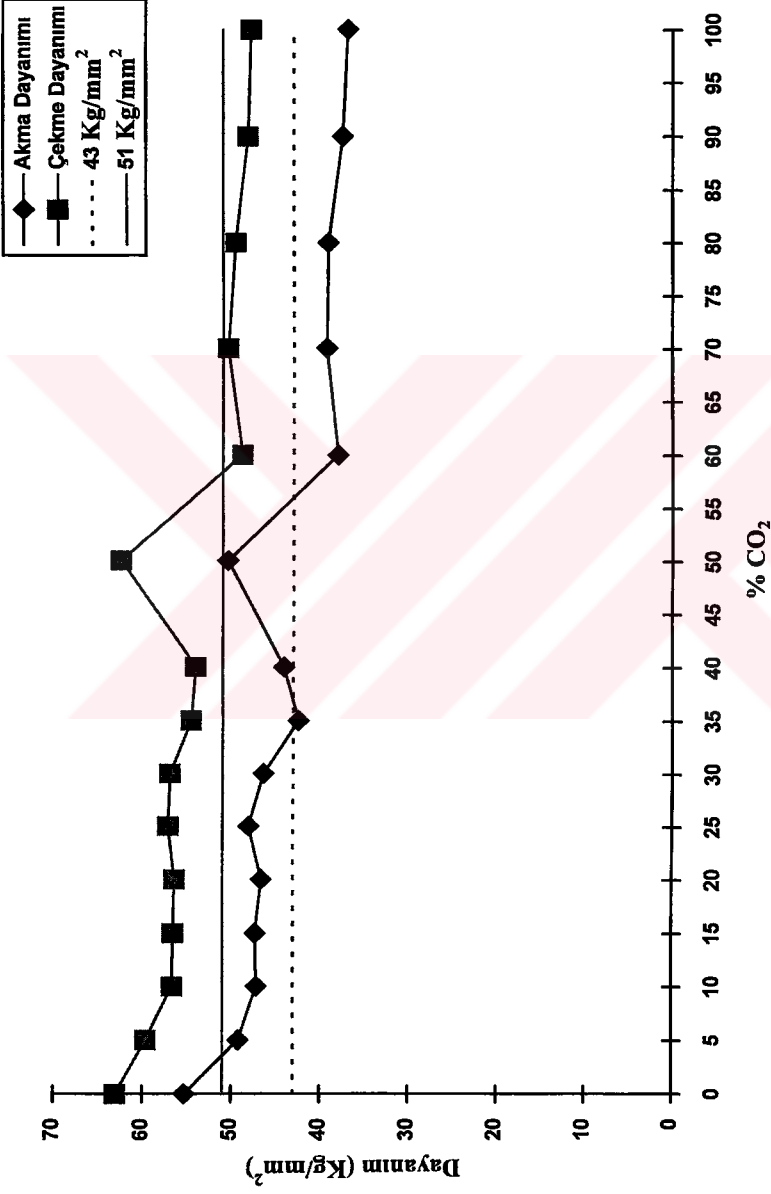
3- Ortalama değerler, parantez içindeki 3 değerın ortalamasıdır.

Tablo 4.11. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre mekanik özellikleri

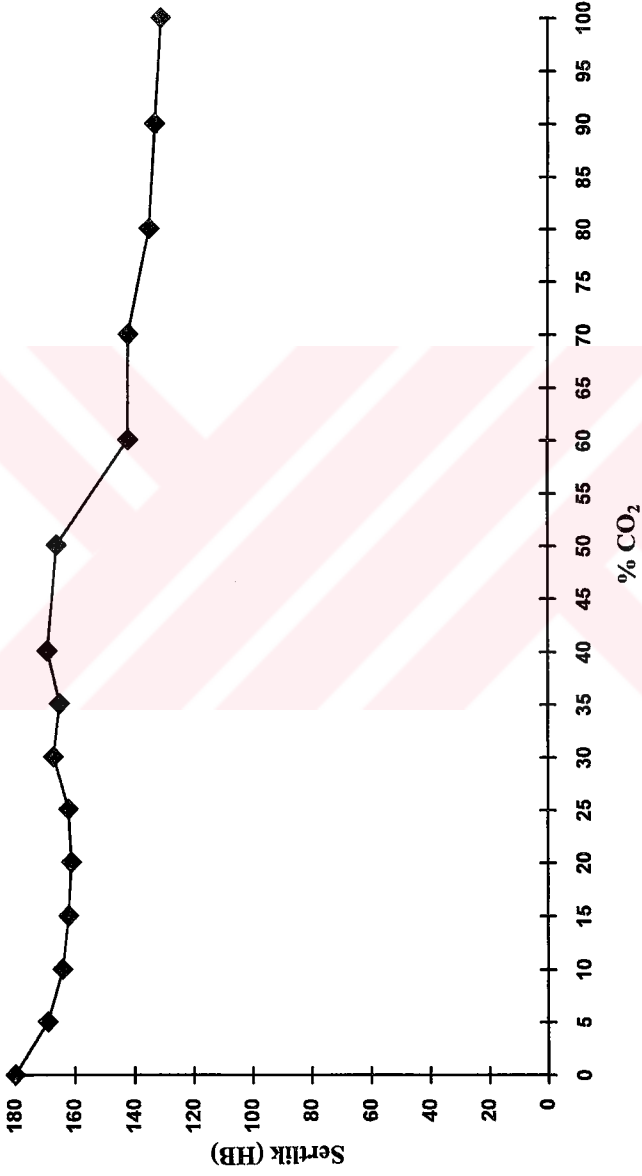
Koruyucu gaz	σ_A (kg/mm ²)	σ_C (kg/mm ²)	Sertlik (HB)	Uzama (%)	Çentik darbe dayanımı J (-29°C' da)
Ar	55.28	63.03	180	26.33	62.56
Ar - %5 CO ₂	49.20	59.63	169	33.53	148.45
Ar - %10 CO ₂	47.15	56.67	164	31.47	136.24
Ar - %15 CO ₂	47.30	56.58	162	30.18	121.20
Ar - %20 CO ₂	46.61	56.43	161	27.62	75.64
Ar - %25 CO ₂	48.04	57.13	162	29.13	72.15
Ar - %30 CO ₂	46.33	56.93	167	29.66	85.02
Ar - %35 CO ₂	42.39	54.56	165	32.53	97.44
Ar - %40 CO ₂	44.03	54.00	169	32.02	95.70
Ar - %50 CO ₂	50.42	62.46	166	35.59	117.06
Ar - %60 CO ₂	38.00	48.77	142	36.12	147.15
Ar - %70 CO ₂	39.31	50.40	142	35.44	189.43
Ar - %80 CO ₂	39.15	49.58	135	35.60	188.56
Ar - %90 CO ₂	37.52	48.18	133	34.27	185.95
CO ₂	36.92	47.82	131	28.37	161.97

Tablo 4.12. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre mekanik özellikleri

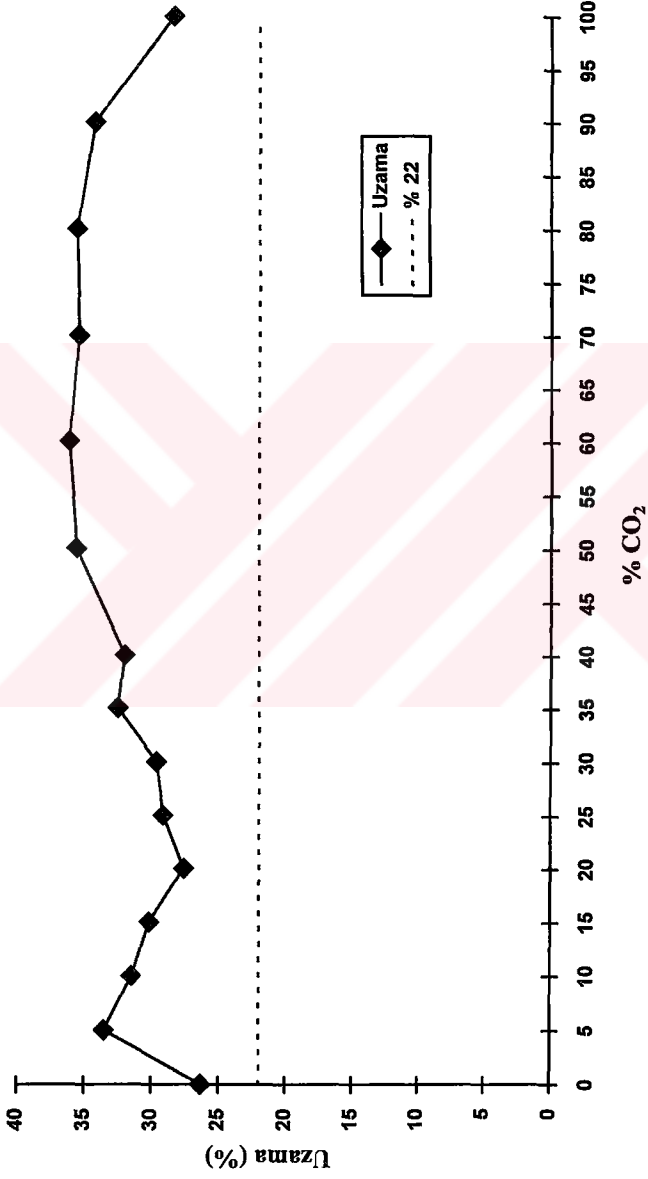
Koruyucu gaz	σ_A (kg/mm ²)	σ_C (kg/mm ²)	Sertlik (HB)	Uzama (%)	Çentik darbe dayanımı J (-18°C' da)
Ar	52.49	64.03	183	25.77	46.86
Ar - %5 CO ₂	48.17	58.52	175	26.66	32.37
Ar - %10 CO ₂	48.92	57.44	172	26.66	30.95
Ar - %15 CO ₂	46.61	54.20	168	24.00	32.04
Ar - %20 CO ₂	44.80	54.17	162	25.00	33.78
Ar - %25 CO ₂	49.00	58.96	161	27.00	69.10
Ar - %30 CO ₂	50.75	59.33	165	29.62	115.10
Ar - %35 CO ₂	55.09	62.79	175	28.54	115.75
Ar - %40 CO ₂	52.33	60.43	168	28.98	120.22
Ar - %50 CO ₂	47.81	60.43	158	26.56	65.51
Ar - %60 CO ₂	45.81	55.49	153	29.14	81.53
Ar - %70 CO ₂	43.89	52.70	149	30.12	85.02
Ar - %80 CO ₂	44.08	52.82	149	30.00	84.14
Ar - %90 CO ₂	43.44	51.93	147	28.20	79.51
CO ₂	43.50	51.33	142	25.00	40.54



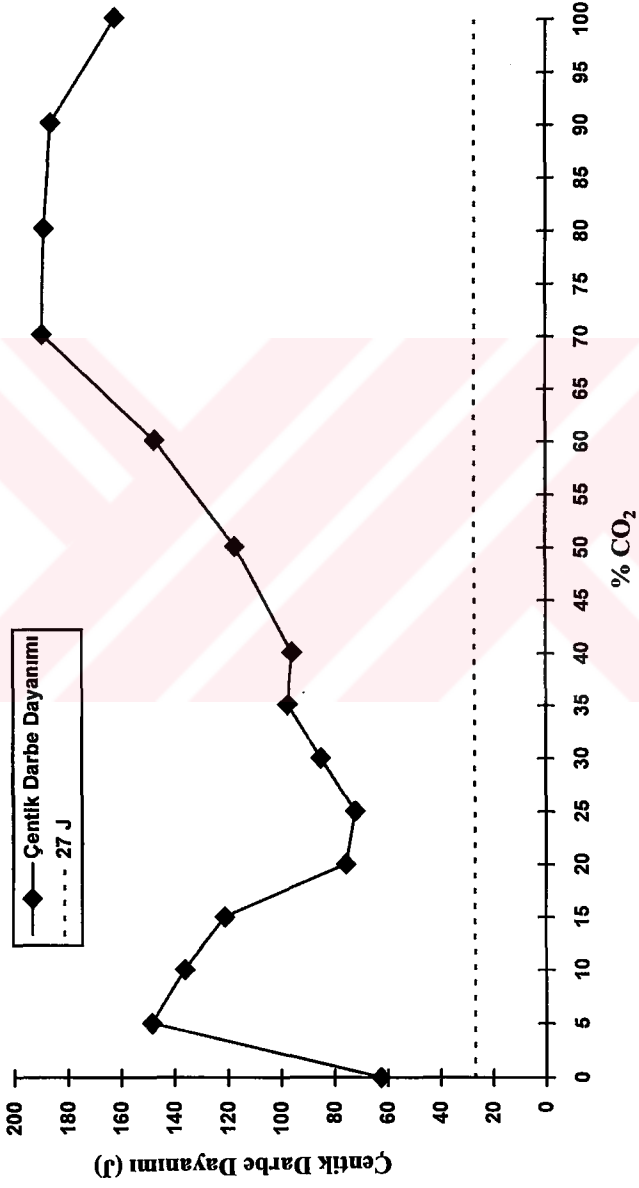
Şekil 4.8. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları



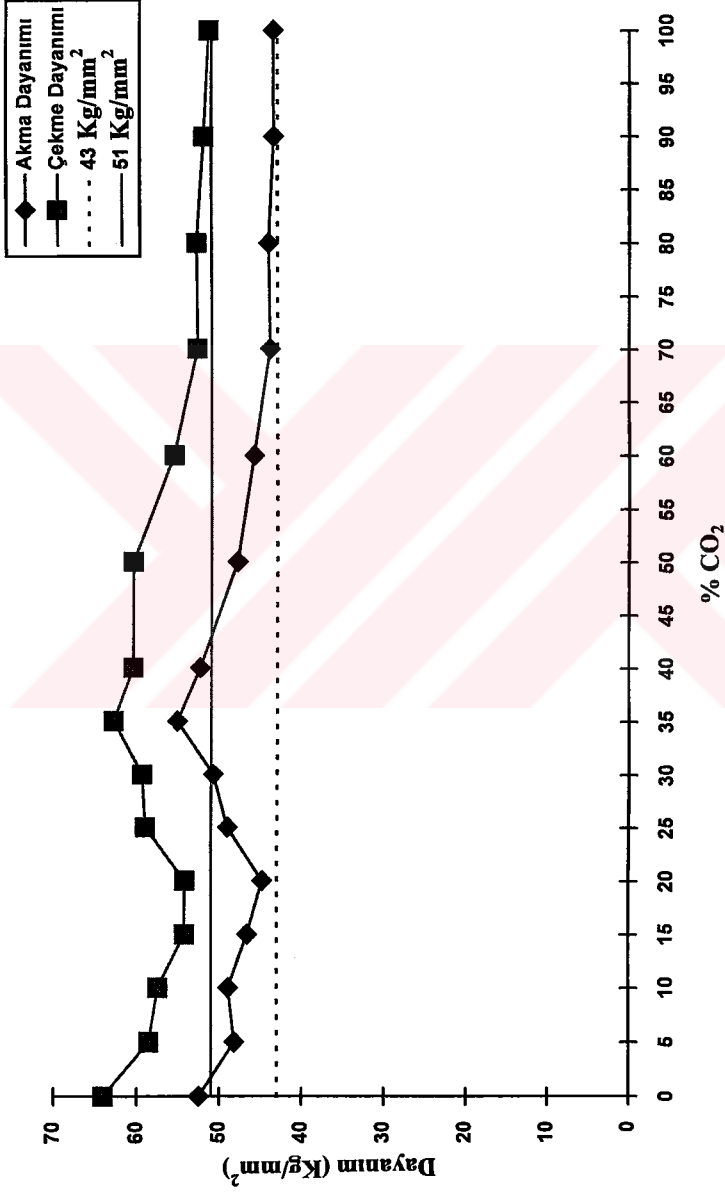
Şekil 4.9. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri



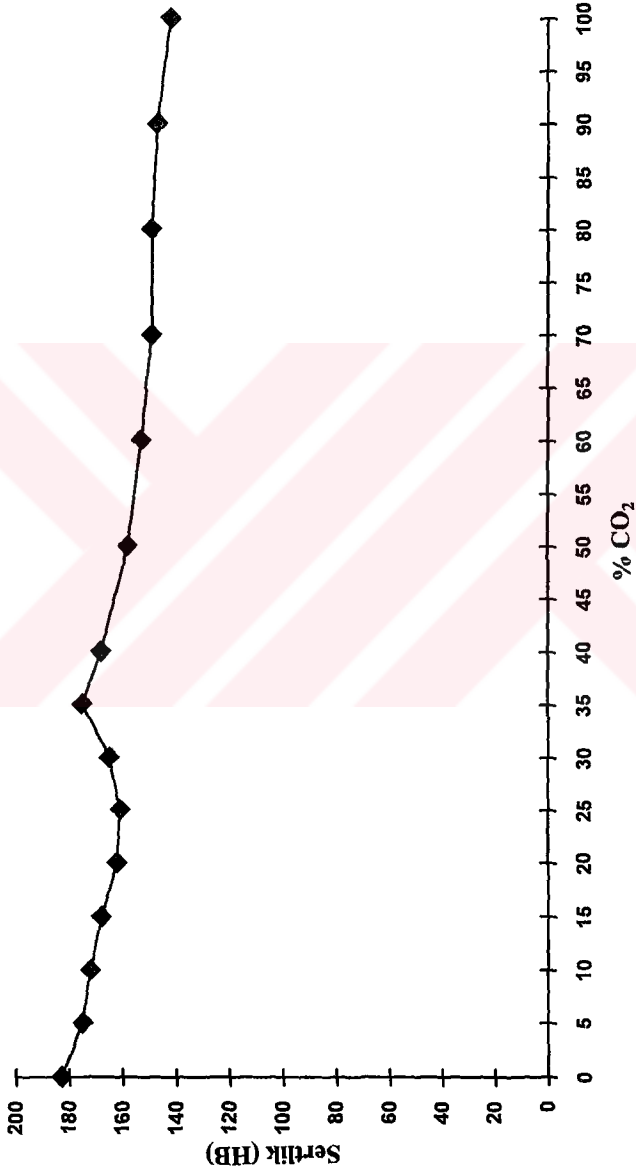
Şekil 4.10. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak kaynağı metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri



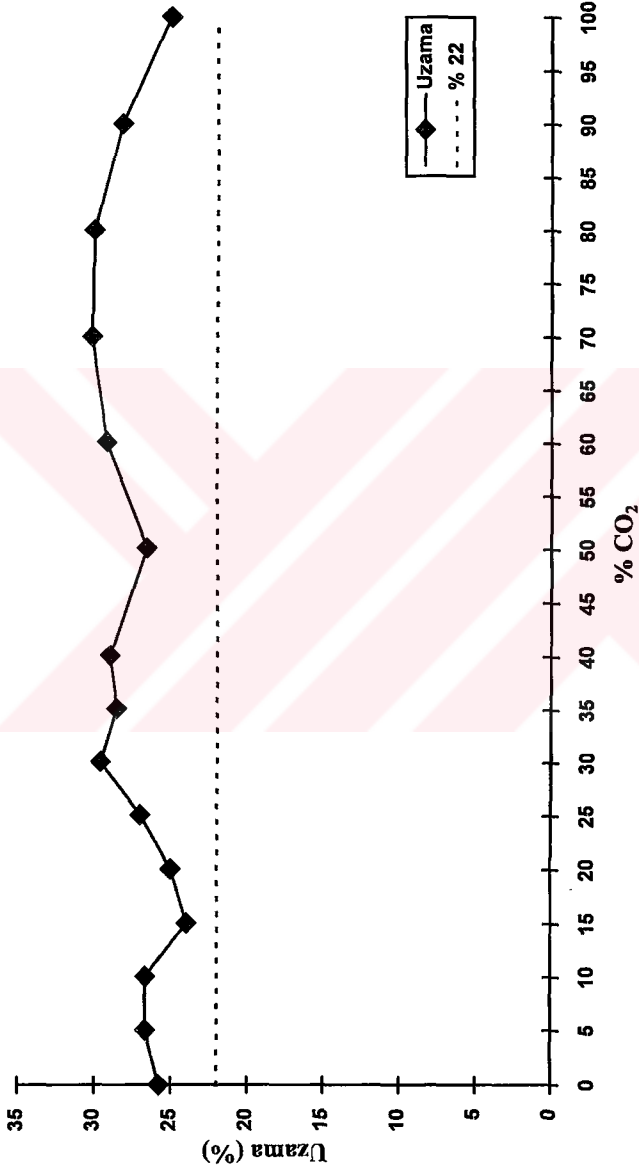
Şekil 4.11. E 70 T-5 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımı



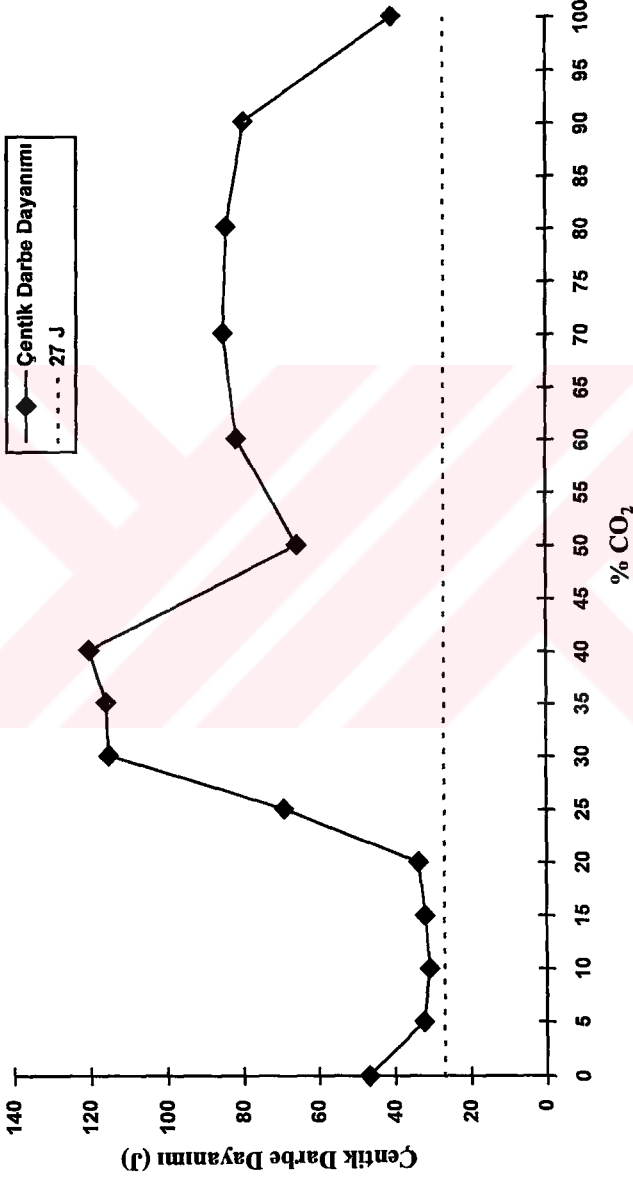
Şekil 4.12. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre akma ve çekme dayanımları



Şekil 4.13. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre sertlik değerleri



Şekil 4.14. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak kaynak metalinin kullanılan koruyucu gazlara göre uzama değerleri



Şekil 4.15. E 71 T-1 özlü elektrodu ile yapılan kaynak kaynağının kullanılan koruyucu gazlara göre çentik darbe dayanımı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; alaşımsız çeliklerin kaynağında kullanılan bazik ve rutil özlü elektrodlarla koruyucu gaz karışımları kombinasyonu, kaynak dikişi nüfuziyeti ve mekanik özellikleri açısından araştırılmıştır. Optimum gaz karışımını belirleyebilmek için, diğer bütün parametreler sabit tutularak Ar gazına %5'lik artışlarla %40'a kadar, %10'luk artışlarla %90'a kadar CO₂ karıştırılıp deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Ar - CO₂ gaz karışımlarının kaynak dikişine etkisi nüfuziyet yönünden incelendiğinde; nüfuziyetin en fazla CO₂ gazı ile elde edildiği saptanmıştır. Bu durum hem bazik hem de rutil özlü elektrodlar için geçerlidir. Bu değerler; CO₂ gazı kullanıldığında bazik özlü elektrod için %43, rutil özlü elektrod için %68'dir. Aynı sonuç, Vines (1985)'in nüfuziyet üzerine yaptığı araştırmada belirlenmiştir.
- En iyi dikiş formu yine yüksek CO₂ oranlarında elde edilmiş olup (bazik özlü elektrodla Ar - %60 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında, rutil özlü elektrodla Ar - %80 CO₂ ve daha yüksek CO₂ oranlarında) , ayrıca rutil özlü elektrodla Ar - %25 CO₂ gaz karışımı da iyi dikiş formu vermiştir. Balraj (1989) da yaptığı çalışmada benzer sonuçlara ulaşmıştır. Bazik özlü elektrodlarla yüksek CO₂ oranlarında, rutil özlü elektrodlarla her CO₂ oranında uygun dikiş formu elde etmiştir.
- Bu çalışma kapsamında, mekanik özellikler açısından sertlik,akma ve çekme dayanımı, uzama, çentik darbe dayanımı değerleri irdelenmiştir. Farklı oranlardaki Ar - CO₂ koruyucu gaz karışımları ile yapılan özlü elektrodla kaynakta , kaynak metalinin mekanik özelliklerinin incelenmesi sonucunda E 70 T-5 (bazik) özlü elektrodu için Ar - %50 CO₂ , E 71 T-1 (rutil) özlü elektrodu için Ar - %35 CO₂ en uygun gaz karışımı olarak belirlenmiştir. Daha önce yapılan araştırmalarda optimum gaz karışımının seçimi konusunda yeterli bir çalışma bulunmamaktadır. Özlü elektrodla

ilişkin standartlar incelendiğinde de uygun gaz karışımı ancak CO₂ veya karışım gaz gibi yalnızca isim bazında önerilmiştir. Herhangibir sayısal değere yer verilmemiştir. Yapılan deneyler sonucu, bu öneriler somut önerilere bağlanmıştır.

- Gerek rutil gerekse bazik özlü elektrod için Ar - CO₂ gaz karışımında CO₂ oranı arttıkça sertliğin azaldığı görülmüştür. Fakat sertlikteki bu azalma eğiliminin bazik elektrod için Ar - %50 CO₂ , rutil elektrod için Ar - %35 CO₂ değerlerinden sonra süreklilik kazandığı tespit edilmiştir. Witzenburg (1981) bu düşüşü kimyasal etkiye bağlayarak yüksek CO₂ oranlarında oksitleme etkisi ile kaynak metalinde manganez ve silisyum miktarının düşmesi ve bunun sonucu olarak da karbon eşdeğerinin azalması ile açıklamıştır. Adams (1978) ise bu durumu CO₂ oranı arttıkça ark ısısının arttığını ve buna bağlı olarak da yavaş soğuma ile yorumlamıştır. Yapılan deneylerin sonuçları da her iki araştırmacının açıklamasını doğrular niteliktedir.

- Akma ve çekme dayanımları da yüksek CO₂ oranlarında sertliğe bağlı olarak düşüş göstermiştir. Bazik elektrod için Ar - %50 CO₂ , rutil elektrod için Ar - %35 CO₂ değerlerinden sonra akma ve çekme dayanımlarındaki düşüş süreklilik kazanmıştır.

- Uzama değerleri, akma ve çekme dayanımları ile birlikte değerlendirilecek olursa, bazik elektrod için Ar - %50 CO₂ , rutil elektrod için Ar - %35 CO₂ gaz karışımları en uygun sonucu vermiştir.

- Çentik darbe dayanımı açısından ise belirgin bir ilişki gözlenememiş; bazik elektrod kullanıldığında %60'dan yüksek CO₂ oranlarında, rutil elektrod kullanıldığında ise %30 - 40 CO₂ oranlarında maksimum çentik darbe dayanımı değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler de sertlik düşüşlerinin başlangıcına karşılık gelmektedir. Pargeter ve arkadaşları (1984)'nın yaklaşımına rutil özlü elektrodun verdiği sonuçlar uyum göstermekte, fakat bazik özlü elektrod için böyle bir uyum bulunmamaktadır. Söz konusu çalışmada, oksijen miktarının optimum değerlerden düşük veya yüksek

olmasının toklukta düşüşe neden olduğu saptanmıştır. Rutil özlü elektrod için düşük ve yüksek CO₂ miktarlarında çentik darbe dayanımı düşmüştür ki bu da düşük ve yüksek oksijen miktarları ile açıklanabilir.

- Uygulamada gaz karışımı olarak, genellikle %75 Ar - %25 CO₂ veya %80 Ar - %20 CO₂ kullanılmaktadır. Bu çalışma sonucunda en uygun gaz karışımı olarak bulunan %50 Ar - %50 CO₂ (bazık için) ve % 65 Ar - %35 CO₂ (rutil için) kullanılması durumunda gaz maliyetinde tasarruf gerçekleşecektir.



KAYNAKLAR

- 1- Anon., 1982. The weldability of steels, Australian Welding Research Association, Technical Note 1.
- 2- Anon., 1990. Basic welding data. No.15: The FCAW process, Welding and Metal Fabrication, June, 277-282.
- 3- Adams,C.M., 1978. Cooling rates and peak temperatures in fusion welding, Welding Journal, 37-5: 210-215.
- 4- Ahlblom,B., 1984. Oxygen and its role in determining weld metal microstructure and toughness- A state of the art review. IIW Doc.IX-1322-84.
- 5- AWS A5.20 : An American National Standard, 1979. Specification for carbon steel electrodes for flux cored arc welding, American Welding Society, November, 26p.
- 6- Balraj,V., 1989. Solidification and bead shape formation in flux cored arc welding in V grooves, National Welding Seminar Proceedings- Indian Institute of Welding, December, 16: 1-10.
- 7- Balraj,V., Rohira,K.L.,Srinivasamurthy,K.S. and Swamy,K., 1992. Evaluation of shielding gas and flux composition effects on weld bead properties, International Journal for the Joining of Materials, 4 - 2: 49-54.
- 8- Böhme,D. and Heuser,H., 1988. Metall-Schutzgasschweißen mit zwei getrennt zugeführten Schutzgasen Strömungsverhalten und Einfluß des Argonanteiles auf die Einbrandverhältnisse, Schweissen und Schneiden, 40 - 2: 82-87.
- 9- Cary,H.B.(Editor), 1989. Modern Welding Technology, 2nd Edition, American Welding Society, 787p.
- 10- Craig,E., 1986. Gas shielded FCAW with better wires, Welding Design and Fabrication, October, 32-36.
- 11- Dillenbeck,V.R. and Castagno,L., 1987. The effects of various shielding gases and associated mixtures in GMA welding of mild steel, Welding Journal, September, 45-49.
- 12- Dolby,R.E., 1976. Factors controlling weld toughness- present position- part 2- weld metals, Welding Institute Member Report, 1411976 M.

- 13- Drzeniek, H. , 1987. Fülldrahtelektroden - Querschnittsform, Herstellung Eigenschaften, Schweißen und Schneiden, 39: 509-512.
- 14- Ferree,S.E., 1992. New and improved cored wires for welding high strength steels, Pacrim Weldcon'92, International Welding Conference, Welding Technology Institute of Australia, 1-11:17p.
- 15- French,I.E., 1984. Influence of shielding gas composition on heat transfer in flux cored arc welding, Australian Welding Journal, Spring , 25-28.
- 16- Irving,B., 1994. Trying to make some sense out of shielding gases, Welding Journal, May, 65-70.
- 17- Ito,Y., Nakanishi,M. and Komizo,Y., 1982. Effects of oxygen on low carbon steel weld metal, Metal Construction, 14 - 9: 472-478.
- 18- Kearns,W.H.(Editor), 1978.Welding Handbook: Welding processes- Arc and gas welding and cutting , brazing and soldering, Vol.2, 7th Edition, American Welding Society, Miami-Florida 33125, 592p.
- 19- Kobe Steel Ltd., 1989. Basic studies on flux-cored wires, Present Status in the Use of Cored Wires for Arc Welding Worldwide, I.I.W. Commission XII Project, 2:29-36.
- 20- Kutsuna,M. and Abraham,M., 1989. Metal transfer and spatter loss in double gas shielded metal arc welding using flux-cored wire.Japan Welding Society, April, 20: 45-51.
- 21- Lalor,L.J., 1987. Tubular cored welding wires- The state of the art, Part I, FWP Journal, May, 21-32.
- 22- Lathabai,S. and Stout,R.D., 1985. Shielding gas and heat input effects on flux cored weld metal properties, Welding Research Supplement, November, 303-313.
- 23- Linden,G. and Nordberg,Y., 1989. Welding with cored wire- Technical and economical experience from a number of companies, Särtryck ur Svetsen, 6: 1-4.

- 24- Nippon Steel Corporation, 1991. Development of welding materials for low temperature service, Present Status in the Use of Cored Wires for Arc Welding Worldwide, I.I.W. Commission XII Project, 2:37-41.
- 25- Stenbacka,N., 1990. Shielding gas and cored wire welding characteristics- Weld metal mechanical properties, Present Status in the Use of Cored Wires for Arc Welding Worldwide, I.I.W. Commission XII Project, 3:80-83.
- 26- Pargeter,R.J. and Dolby,R.E., 1984. Identification and quantitative description of ferritic weld metal microstructures- Interim Report, IIW Doc.IX-1323-84.
- 27- Pisaraski,H.G., Jones,R.L. and Harrison,P.L., 1991. Influence of welding procedure variables on the as-welded fracture toughness of heavy section welds made with self shielded flux cored wire, Present Status in the Use of Cored Wires for Arc Welding Worldwide, I.I.W. Commission XII Project, 3: 87-110.
- 28- Sacks,R.J., 1976. Welding: Principles and Practices, Chas. A. Bennett Co., Inc. Peoria, Illinois, 61614, 991p.
- 29- Sakai,Y., 1992. Flux cored wires are on the grow in Japan, Welding Design and Fabrication, November, 40-44.
- 30- Savage,G.L., 1983, Advances in gas shielded flux cored wire welding, Metal Construction, August, 448-450.
- 31- Shultz,B.L. and Jackson,C.E., 1973. Influence of weld bead area on weld metal mechanical properties, Welding Journal, January, 62-68.
- 32- Sis,L.B., 1977. Welding flux cored electrodes in $N_2 - CO_2$ and $N_2 - Ar$ atmospheres, Welding Research Supplement, July, 211-216.
- 33- Stearns,J.B. and McAuster,A.E., 1982. Automation and advances in flux cored arc welding, Welding Technology'82 Proceedings, 30th Annual IWI Convention, Hobart, Tasmania, 103-113.
- 34- TS 5618, 1988. Elektrodlar ve teller- Alaşimsız ve düşük alaşımlı çeliklerin gazaltı ark kaynağı için, Türk Standardları, Mart ,28s.
- 35- Tülbentçi,K. ve Kaluç,E., 1994. Alaşimsız çeliklerin kaynağında kullanılan özlü tel elektrodların ANSI / AWS A5.20 standardına göre sınıflandırılması. Metal ve Kaynak, 6 - 58: 35-40.

- 36- Vaidya,V.V., 1989. Flux cored arc welding wires - Factors affecting selection, Canadian Welder and Fabricator, November, 19-24.
- 37- Vines, M.J., 1985. Effects of shielding gas composition on operating characteristics and weld metal properties of flux-cored wires, Australian Welding Research, December, 21-40.
- 38- Voropai,N.M., 1986. The composition of the metal and slag in the droplet and pool stages during CO₂ welding with activated wire, Avt. Swarka, 5:41-43.
- 39- Voropai,N.M. and Alimov,A.N., 1986. Interaction between the molten metal and gases and slag during CO₂ welding with activated wire, Avt. Swarka, 6:19-23.
- 40- Watanabe,I. and Kojima,T., 1980. Study on notch toughness of weld metal in large current MIG arc welding, Journal of Japan Welding Society, 49 - 11: 772- 780.
- 41- Widgery,D.J., 1986. Welding - The key to better productivity, Welding and Metal Fabrication, March, 58-70.
- 42- Widgery,D.J., 1988. Flux-cored wire: an update, Welding and Metal Fabrication, April, 118-124.
- 43- Witzenburg,G.V., 1981. Europeans shield welds with gas mixtures. Welding Design and Fabrication, June, 76-79.
- 44- Yed,B.G., 1992. Electrode extension,electrical stick-out, ESO- The neglected factor in use of self shielded cored electrode wires, Lincoln WeldRo Limited, 8p.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	21 Aralık 1957
Doğum yeri	Samsun
1976 - 1980	Y.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimi
1980 - 1984	Fırat Petrol ve Kimya Endüstrisi A.Ş.'de işletme müdürü
1982 - 1984	İ.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimi
1984 - 1987	Böhler Kaynak Çubukları, Elektrodları Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de kalite kontrol şefi
1987 - 1989	Gedik Holding A.Ş.'de eğitim müdürü
1989 - devam ediyor	Z.K.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi
1991 - 1997	Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında doktora eğitimi