



T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PASLANMAZ ÇELİKLERDE  
A-TIG UYGULAMALARI**

---

YASEMİN SAĞKOL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı  
Metal Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**  
Prof. Dr. A. İrfan YÜKLER

**İSTANBUL, 2013**



T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PASLANMAZ ÇELİKLERDE  
A-TIG UYGULAMALARI**

---

YASEMİN SAĞKOL  
(522610006)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı  
Metal Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**  
Prof. Dr. A. İrfan YÜKLER

**İSTANBUL, 2013**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, imalat yöntemlerinden biri olarak bilinen kaynak proseslerinden tungsten asal gaz ( TIG ) kaynağının, ülkemizde pek uygulanmayan, dünya çapında ise hala üzerinde çalışılan ve nadir kullanılan bir yan işleme olan A-TIG aktifleştirilmiş tungsten asal gaz kaynak yönteminin, uygulamalarda sonuçlarını ve farklarını ortaya koyabilmek amacıyla yapılmıştır.

Lisans eğitimim ve Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, öğrencisi olmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabrından dolayı Teknik Eğitim Fakültesi dekanı değerli hocam, sayın Prof. Dr. Ahmet İrfan Yükler'e, Tez çalışmamın deney aşamalarında benden her türlü teknik ve pratik bilgi desteklerini esirgemeyen hocalarım sayın Yrd. Doç Dr. Memduh Kurtulmuş'a ve sayın Arş. Gör. Onur Fidaner'e,

Eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım hocalarıma,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yasemin Sağkol

08/2013

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
<b>ÖNSÖZ</b>	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>SEMBOLLER</b>	<b>vi</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>1.1. TIG Kaynağı</b>	<b>1</b>
1.1.1 TIG kaynağı tanımı ve genel özellikleri	1
1.1.2 TIG kaynağında kullanılabilen koruyucu gazlar	3
1.1.2.1. Kökün korunması için gazlar	5
1.1.3. TIG Kaynağında Kullanılan Ekipmanlar	6
1.1.3.1. TIG kaynak Torcu	6
1.1.3.2. Kaynak elektrotları	8
1.1.3.3. TIG kaynağında kullanılan kaynak üreteçleri	11
1.1.3.4. Krater doldurma tertibatı	12
1.1.3.5. Akım türü ve kutuplama şekli	13
1.1.4. Kaynak ağızlarının hazırlanması	16
1.1.5. TIG Kaynak yönteminin uygulama alanları	17
1.1.5.1. TIG kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları	18
1.1.6. TIG kaynağındaki hatalar	19
1.1.6.1. Tungsten kalıntılarının nedenleri	20
1.1.6.2. Oksit kalıntılarının nedenleri	20
1.1.6.3. Gözenek oluşumunun nedenleri	21
1.1.6.4. Krater çatlaklarının nedenleri	23
1.1.6.5. Birleşme hatalarının nedenleri	23

1.2. A-TIG Kaynağı Tanımı, Genel Özellikler	24
1.2.1 A-TIG kaynağında mikroyapının incelenmesi	24
1.2.2. Korozyon testleri	25
1.2.3. Paslanmaz çeliklerde A-TIG ve TIG kaynaklarının karşılaştırılması	26
1.3. A-TIG Kaynak Tozları ve Tozların Uygulanması	30
1.4. A-TIG Kaynak Dikişinde Etkin Olan Mekanizmalar	34
1.4.1. Marangoni yüzey gerilim kuvvetleri	34
1.4.2 Lorentz kuvveti	39
1.4.3. Arkın daralması	40
1.5. Kaynak Parametrelerinin A-TIG Kaynağına Etkileri	41
1.5.1. Kaynak akımı	41
1.5.2 Kaynak ilerleme hızının etkisi	42
1.5.3 Ark uzunluğu etkisi	43
1.5.4. Ark enerjisinin etkisi	43
1.6. A-TIG Kaynağının Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması	45
1.7. Çeliklerde A-TIG Kaynak Uygulamaları	46
1.7.1 Alaşimsız çeliklerde A-TIG uygulamaları	46
1.7.2 Ostenitik paslanmaz çeliklerde A-TIG uygulamaları	48
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>55</b>
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>57</b>
<b>4. SONUÇ</b>	<b>60</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>65</b>

## ÖZET

### PASLANMAZ ÇELİKLERDE A-TIG UYGULAMALARI

Aktifleştirilmiş tungsten asal gaz kaynağı (A-TIG) yönteminde standart tungsten asal gaz (TIG) kaynak makinası kullanılmaktadır. Normal TIG kaynak yönteminde, kaynak akım şiddeti düşük olduğu için elde edilen dikişin kesit alanı ufak olmaktadır. Kalın malzemelerin kaynağında tam nüfuziyetli dikiş elde etmek için uygulanacak paso sayısının çok fazla olması gerekmektedir. Ancak bu durum da kaynak imalat süresini ve maliyetleri arttırmaktadır. TIG kaynak yönteminde, dikiş derinliğini arttırmak amacıyla yapılan araştırmalardan bir tanesi de A-TIG kaynak yöntemidir.

A-TIG kaynağında, iş parçası üzerine ince bir toz örtüsü oluşturulduktan sonra klasik TIG kaynak şartlarında kaynak yapılmaktadır. Parça yüzeyindeki bu ince toz tabakası dikiş nüfuziyet derinliğini tek seferde %300 oranına kadar arttırmaktadır. İlk olarak titanyum alaşımları için geliştirilen bu yöntem daha sonra ostenitik paslanmaz çelikler başta olmak üzere, alaşımlı çeliklerin kaynatılabilmesi için geliştirilmiştir.

Hazırlanan tezde, metallerin A-TIG kaynak parametreleri incelenerek toz cinsinin ve kaynak enerjisinin etkileri ortaya çıkarılmaya gayret edilmiştir. Ayrıca paslanmaz çeliklere A-TIG kaynak uygulaması yapılmış ve bu sonuçlar incelenmiştir.

A-TIG kaynak yöntemi kullanılarak yapılmış olan deneylerde, parçalar üzerine CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> gibi çeşitli tozlar sürülerek kaynak dikiş genişliği ve derinlik miktarları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlarda, kaynak dikişi nüfuziyet derinliğinin arttığı ve dikişin genişlediği bulgusuna ulaşılmıştır.

## **ABSTRACT**

### **A-TIG WELDING APPLICATIONS OF STAINLESS STEELS**

A-TIG welding process is a version of the classic TIG welding process. In TIG welding low arc energy is obtained, so the weld bead size is very small. In order to obtain a big penetration depth the A-TIG welding was invented.

In the A-TIG welding operation a certain flux is painted on the joining surface of the joining work piece. Then welding is done with a standart TIG welding machine. The flux on the work piece causes a deep penetration depth. This welding process is named as activated tungsten inert gas welding or A-TIG welding.

In this thesis A-TIG welding properties of mild steels were studied. CaO, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders were used. These powders were mixed with ethanol to obtained the necessary flux. The flux was brushed on the mild steel parts. Then classic TIG welding operation were aplied the steel parts. Then the welds were cut and metallographinally examined. The weld penetration depth and width were measured. The results showed that Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was the most effective powder in mild steel A-TIG operations.

## SEMBOLLER

<b>A</b>	: Amper
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>Ar</b>	: Argon
<b>B</b>	: Bor
<b>C</b>	: Karbon
<b>Ca</b>	: Kalsiyum
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>°C</b>	: Derece
<b>F</b>	: Flor
<b>Fe</b>	: Demir
<b>H</b>	: Hidrojen
<b>Lorentz Kuvveti</b>	: E
<b>N</b>	: Azot
<b>O</b>	: Oksijen
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>Sr</b>	: Stronsiyum
<b>Ti</b>	: Titanyum
<b>V</b>	: Volt
<b>Zr</b>	: Zirkonyum
<b><math>\Delta y</math></b>	: Yüzey Gerilimi Katsayısı
<b><math>\Delta t</math></b>	: Yüzey Sıcaklığı Katsayısı
<b>%</b>	: Yüzde

## **KISALTMALAR**

<b>A-TIG</b>	: Aktif Tungsten Inert Gaz Kaynağı
<b>TIG</b>	: Tungsten Inert Gaz Kaynağı
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>Sn</b>	: Saniye
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>Gr</b>	: Gram
<b>DK</b>	: Dakika
<b>LT</b>	: Litre
<b>MEK</b>	: Metil Etil Keton
<b>ITAB</b>	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
<b>BKZ</b>	: Bakınız
<b>D</b>	: Derinlik
<b>W</b>	: Genişlik
<b>GTAW</b>	: Gaz Tungsten Ark Kaynağı

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
Şekil 1.1 TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi	2
Şekil 1.2. Kökün korunması için kullanılabilecek düzenekler	5
Şekil 1.3. Su soğutmalı TIG kaynak ekipmanları şeması	6
Şekil 1.4. Bir TIG kaynak torcunun temel elemanları	7
Şekil 1.5. Elektrodun parçaya teması ile tutuşturma	10
Şekil 1.6. Krater doldurma tertibatının şeması	13
Şekil 1.7. Akım türü, kutup türü ve elektrot formuna bağlı olarak nüfuziyet formları	14
Şekil 1.8. TIG kaynağında meydana gelen hatalar	19
Şekil 1.9. A-TIG kaynağı şematik uygulaması	24
Şekil 1.10. TIG ve A-TIG kaynağında mikroyapısı	25
Şekil 1.11. Korozyon testinden sonra TIG ve A-TIG kaynaklarının üst tarafları	25
Şekil 1.12. TIG kaynağında elde edilen kaynak dikişi	26
Şekil 1.13. A-TIG kaynağında elde edilen kaynak dikişi	26
Şekil 1.14. A-TIG ve TIG kaynağı ile kaynatılan 304LN paslanmaz çeliğin kesitleri	27
Şekil 1.15. A-TIG ve TIG kaynağı ile kaynatılan 316LN paslanmaz çeliğin kesitleri	28
Şekil 1.16. A-TIG ve TIG kaynaklarının ön ve arka yüzleri	29
Şekil 1.17. A-TIG kaynağında kök delinmesi	29
Şekil 1.18. TIG ve A-TIG kaynağında makrografik yapı	30
Şekil 1.19. A-TIG kaynağında toz karışımının fırça ve spreyle yapılan uygulaması	32
Şekil 1.20. Toz tabakası yoğunluğunun, dikiş nüfuziyet oranına etkisi	32
Şekil 1.21. Kullanılan tozların yoğunluklarına göre kaynak dikişine etkisi	33
Şekil 1.22. Kullanılan tozun tane büyüklüğünün kaynak dikişine etkisi	33
Şekil 1.23. TIG ve A-TIG kaynağında karışım hareketi ve dikiş genişlikleri	34
Şekil 1.24. Marangoni kuvveti tesiri ile kaynak metalinde metal hareketi	35
Şekil 1.25. Farklı CO <sub>2</sub> içeriklerindeki kaynak metali içinde bulunan oksijen miktarı	35
Şekil 1.26. Farklı CO <sub>2</sub> ilavesine göre kaynak dikişinin D/W oranının değişimi	36
Şekil 1.27. Lucas ve Howse' un A-TIG prosesiyle ilgili ön gördükleri mekanizma	37
Şekil 1.28. TIG ve A-TIG kaynaklarında sıvı metal yüzey sıcaklık dağılımı	38

<b>Şekil 1.29.</b> TIG ve A-TIG kaynaklarında sıvı metal üzerindeki Marangoni karıştırma hızının gösterimi, A-TIG sol, TIG sağ.	38
<b>Şekil 1.30.</b> Toz kaplama kalınlığının kaynak dikiş derinliğine etkisi	39
<b>Şekil 1.31.</b> Lorentz Kuvvetinin şematik gösterimi	40
<b>Şekil 1.32.</b> TIG (a) ve A-TIG (b) kaynağında karakteristik ark yapısı	41
<b>Şekil 1.33.</b> TIG (a) ve A-TIG (b) kaynağında karakteristik ark yapısı	42
<b>Şekil 1.34.</b> Kaynak hızının ve ilave oksijen miktarının D/W oranına etkisi	42
<b>Şekil 1.35.</b> Kaynak ark uzunluğunun ve ilave oksijen miktarının D/W oranına etkisi	43
<b>Şekil 1.36.</b> TIG ve A-TIG’te kaynak havuzu derinliği – ark enerjisi etkileşimi	44
<b>Şekil 1.37.</b> TIG ve A-TIG’te kaynak havuzu genişliği–ark enerjisi etkileşimi	44
<b>Şekil 1.38.</b> TIG ve A-TIG’te kaynak kesit alanının ark enerjisine göre etkileşimi	45
<b>Şekil 1.39.</b> A-TIG kaynağında toz cinsinin nüfuziyete etkisi	46
<b>Şekil 1.40.</b> Tozda NaCl oranının nüfuziyete etkisi	46
<b>Şekil 1.41.</b> Tozda CaF <sub>2</sub> oranının nüfuziyete etkisi	47
<b>Şekil 1.42.</b> A-TIG kaynağında ark boyunun nüfuziyete etkisi	47
<b>Şekil 1.43.</b> A-TIG kaynağında toz kalınlığının nüfuziyete etkisi	48
<b>Şekil 1.44.</b> A-TIG kaynağında toz kalınlığının nüfuziyete etkisi	49
<b>Şekil 1.45.</b> Ark gerilimi üzerinde toz etkisi	49
<b>Şekil 1.46.</b> Tozun açısal çarpılma üzerindeki etkisi	50
<b>Şekil 1.47.</b> Nüfuziyet ve kaynak kesit alanına azot ilavesinin etkisi	51
<b>Şekil 1.48.</b> Koruma gazında CO <sub>2</sub> miktarına göre kaynak geometrisi değişimi	51
<b>Şekil 1.49.</b> %75 He-%25 Ar koruyucu gaz karışımının nüfuziyet derinliğindeki etkisi	52
<b>Şekil 1.50.</b> Azot gazının kaynakta çarpılmaya etkisi	52
<b>Şekil 1.51.</b> Ar gazı içindeki H oranının nüfuziyet derinliği ve kaynak alanına etkisi	53
<b>Şekil 1.52.</b> Argon koruyucu gazı içindeki Hidrojen oranının açısal çarpılmaya etkisi	53
<b>Şekil 1.53.</b> Kaynak geometrisi üzerine koruyucu gaz ve aktif toz etkisi	54
<b>Şekil 3.1.</b> Kaynak yüzeylerinin son görünümü	57

## TABLO LİSTESİ

### SAYFA

<b>Tablo 1.1.</b> Argon ve helyum gazlarının davranışlarının karşılaştırılması	4
<b>Tablo 1.2.</b> TIG yönteminde kullanılan koruyucu gazlar ve uygulamaları	5
<b>Tablo 1.3.</b> Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodları	9
<b>Tablo 1.4.</b> TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi	15
<b>Tablo 1.5.</b> TIG kaynağında meydana gelen tungsten kalıntılarının nedenleri	20
<b>Tablo 1.6.</b> TIG kaynağında meydana gelen oksit kalıntılarının nedenleri	21
<b>Tablo 1.7.</b> TIG kaynağında meydana gelen gözenek olumunun nedenleri	22
<b>Tablo 1.8.</b> TIG kaynağında meydana gelen krater çatlaklarının nedenleri	23
<b>Tablo 1.9.</b> TIG kaynağında meydana gelen birleşme hatalarının nedenleri	23
<b>Tablo 1.10.</b> 314 LN ve 316 LN paslanmaz çeliklerinin proses parametreleri	27
<b>Tablo 1.11.</b> 304 LN paslanmaz çeliğinin kaynağındaki test sonuçları	28
<b>Tablo 1.12.</b> 316 LN paslanmaz çeliğinin kaynağındaki test sonuçları	28
<b>Tablo.1.13.</b> A-TIG kaynağında farklı metallerde kullanılan tozlar	31
<b>Tablo 2.1.</b> Tozların karışım miktarları	55

# 1. GİRİŞ

## 1.1. TIG Kaynağı

Kaynak; iki metalin birleştirilmesi için kullanılan, şekil sürekliliği gösteren bir birleştirme yöntemidir. Birleştirilecek olan metallerin cinslerine, istenen birleşme şekline, yapılan kaynaktan istenen ve beklenen mekanik özelliklere vb. koşullara bağlı olarak birden fazla kaynak yöntemi bulunmaktadır.

Bu tezde bahsedilecek kaynak yöntemi olan TIG kaynağı; 1940'lı yıllardan itibaren geliştirilmeye başlanmış, erimeyen elektrot ile asal bir korucu gaz örtüsü altında yapılan bir ark kaynağı yöntemidir. Bu yöntemde elde edilen dikişin kesidi ve nüfuziyet derinliği bütün elektrik ark yöntemlerinden daha küçüktür. Dikiş kalitesi yüksek olmasına rağmen, maliyeti yüksektir. A-TIG kaynak yöntemi, TIG kaynak yönteminin ekonomikliğini arttırmak için geliştirilmiştir. Kaynak bölgesinde uygun bir toz tabakası oluşturularak dikiş derinliği arttırılmıştır.

Hazırlanan tezde, metallerin A-TIG kaynak parametreleri incelenerek toz cinsinin ve kaynak enerjisinin etkileri ortaya çıkarılmaya gayret edilmiştir. Ayrıca paslanmaz çeliklere A-TIG kaynak uygulaması yapılmış ve bu sonuçlar incelenmiştir.

### 1.1.1 TIG kaynağı tanımı ve genel özellikleri

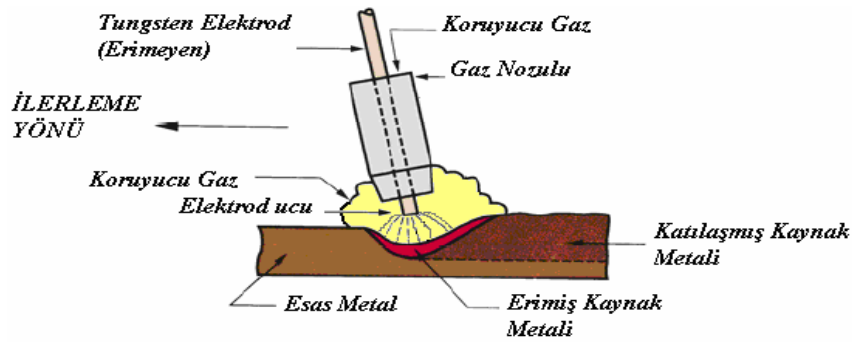
TIG kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenmeyen bir elektrot (tungsten elektrot) ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı ve asal bir koruyucu gaz örtüsü altında yapılan bir ark kaynak yöntemidir. Kaynak yöntemi, elle veya tam otomatik hareket eden ve tel süren makineler ile uygulanabilmektedir. Günümüzde önemli bir kaynak yöntemi olarak uygulanmaktadır [1-11]

Yöntemin adı olan TIG, Tungsten Inert Gas kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Almanca da tungsten metaline Wolfram denildiği için, bu kaynak yöntemi WIG olarak da anılmaktadır. TIG kaynağı esasen elektrik ark kaynak yöntemlerinden biridir. Kullanılan Tungsten kelimesi, arka elektrik akımını iletmeyi

sağlayan erimeyen elektrodu, Inert kelimesi, diğer elementlerle kimyasal olarak birleşmeyen bir gazı ve gaz kelimesi de, koruyucu atmosferi simgeler.

Elle yapılan uygulamalarda sadece düşük kaynak hızları ve eritme güçlerine ulaşılabilir. Yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilmesi için kaynakçının iyi eğitilmiş olması gereklidir. Kaynak yönteminin uygulanmasında ark için gerekli olan elektrik akımı, soğutma için gerekli olan su ve de koruyucu atmosfer için gerekli olan gazın kaynak işlemi sırasında her an kullanılabilir şekilde hazır ve de kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Bu nedenle bu kaynak yönteminin uygulanmasında kullanılan ekipman ve diğer yardımcı malzemeler hem karmaşık yapıdadır hem de maliyetleri diğer ark kaynağı yöntemlerindeki gibi yüksektir.

Elektrot, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya karışım gazlar tarafından korunur. Koruyucu gaz, argon, helyum veya bunların karışımından oluşur. Gaz, kaynak bölgesini tam olarak koruyabilmelidir, aksi takdirde çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde hataya neden olur. TIG kaynağında ark, tungsten elektrot ile iş parça arasında serbestçe yanar. TIG yöntemiyle, genellikle diğer kaynak yöntemlerine göre daha iyi kalite de kaynak dikişleri elde edilir. Şekil 1.1' de TIG kaynağının sistem yapısına ait şeması bulunmaktadır. Enerji üreticinin bir kutbu iş parçasına bir kutbu da tungsten elektroda bağlıdır. Oluşan ark, tungsten elektrot ile iş parçası arasında yanmaktadır. Bu esnada, gaz memesinden elektrotla eş eksenli olarak püskürtülen koruyucu gaz sayesinde ark banyosu, korunmuş olur [1]



Şekil 1.1 TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [3]

### 1.1.2 TIG kaynağında kullanılabilen koruyucu gazlar

Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim, metal nitritleri oluşturulmak üzere de azotla birleşmeye daha düşük ölçüde bir eğilim gösterirler. Oksijen, ergimiş çelikteki karbon ile karbonmonoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu reaksiyon ürünlerinin tümü aşağıdaki kaynak hatalarının oluşumuna neden olur:

- a) Oksitler nedeniyle erime hataları,
- b) Gözenek, oksit ve nitritler nedeniyle mukavemet kaybı,
- c) Oksitler ve nitritler nedeniyle kaynak metalinin gevrekleşmesi.

Atmosfer yaklaşık %80 azot, %20 oksijenden oluştuğu için kaynak sırasında bu reaksiyonların ürünleri kolaylıkla oluşur. Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrotlardaki örtünün görevini yapar.

TIG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar argon ve helyum soygazlarıdır. Bu gazlar ve bunların karışımı demir dışı metallerin kaynağında mutlak bir şekilde kullanılırlar. Kimyasal bakımdan nötr karakterde, kokusuz ve renksiz mono atomik gazlardır. Bunlar kimyasal olarak nötr bir karakter taşır ve diğer elemanlarla birleşmez, her ikisi de renksiz ve kokusuz birer gaz olup, yanmazlar. Bu gazlar paslanmaz çeliklerin ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında da kullanılmaktadır. Oksijen ve azotu az olan argon temiz ve parlak bir kaynak dikiş yüzeyi verir. Eğer azot ve oksijen miktarı sınır üzerinde bulunursa, yapılan kaynakta dikişin yüzeyi ve geçiş bölgeleri gri, kahverengi veya mat bir durum alır.

Argonun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 1,4 katı iken (daha ağır) helyumun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 0.14 katıdır (daha hafif). Koruyucu gaz ne kadar ağır ise verilen uygun bir debi ile arkı koruma ve kaynak alanını örtme o kadar etkili olur. Bu nedenle, helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için, argonla korumada kullanılan gaz debisinin iki veya üç katı yüksekliğinde gaz debisi gerekir.

Helyum, argondan daha yüksek ısı iletkenliğine sahiptir ve aynı zamanda içinde ark enerjisinin daha düzenli şekilde dağıldığı bir ark plazması oluşturur.

Saf argonla koruma, demir dışı metallerin birçok uygulamasında kullanılır. Saf helyum kullanımı, sınırlı bir ark kararlılığı sağlaması nedeniyle çok özel alanlarla sınırlanmıştır. Ancak helyum arkıyla derin, geniş ve parabolik kaynak profili elde edilmesi nedeniyle, argon-helyum gaz karışımı koruyucu gaz olarak daha fazla kullanılmaktadır. Sonuçta kaynak dikişi profilinde iyileşme sağlandığı gibi, argonun aksel spreysel metal iletimi oluşturma özelliğinden de yararlanır. Paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelikler gibi bazı metaller için daha yüksek ısı girdisi elde etmek amacıyla karışıma helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikişin mekanik özelliklerini artırıcı reaksiyonları oluşturmasıdır.

**Tablo 1.1.** Argon ve helyum gazlarının davranışlarının karşılaştırılması [2]

<b>Argon</b>	<b>Helyum</b>
Düşük ark gerilimi sonucu ısı girdisinin azalması, 1,5 mm.'den ince parçaların el ile kaynağında büyük bir üstünlük sağlar.	Yüksek ark gerilimi sonucu oluşan daha sıcak ark, ısı iletkenliği yüksek malzemeler ile kalın parçaların kaynağında daha üstün sonuçlar verir.
Alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyleri refrakter bir oksit tabakası ile kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha şiddetlidir.	Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı daha dar bir ITAB oluşturur ve bunun sonucu kaynak bağlantısının mekanik özellikleri iyileşir ve çarpılması ve kendini çekmeleri azalır.
Arkın tutuşması daha kolaydır. Ark daha sakin ve daha stabil yanar.	Havadan çok daha hafif olması sonucu koruyucu gaz sarfiyatı yüksektir ve torcun memesinden çıkan gaz akımı hava hareketlerine hassastır.
Havadan ağır olması nedeni ile daha az koruyucu gaz ile daha etkin bir koruma sağlar.	Otomatik kaynak işlemlerinde ve yüksek kaynak hızlarında karşılaşılan gözenek ve yanma çentikleri oluşumu kontrol altına alınabilir.
Otomatik kaynak işlemlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur.	
Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır.	

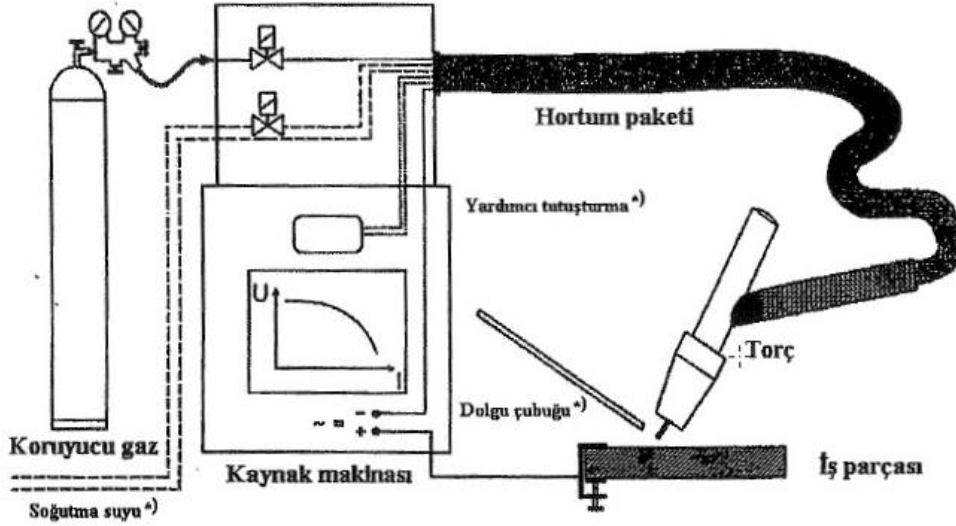


a) Sıkıştırma düzeneği; oluklu bakır altlık, kök koruma olukta gaz birikmesiyle gerçekleşir. Çelikteki renklenmeleri engellemek için güvenli koruma sağlamaz.

b) Sıkıştırma düzeneği ile oluklu bakır altlık ve alttan ok yönünde koruyucu gaz girişi.

### 1.1.3. TIG Kaynağında Kullanılan Ekipmanlar

TIG kaynağı için gerekli donanım ve malzeme, içinden gaz geçen ve koruyucu gazı ark çevresine yönlendiren bir meme ile erimeyen bir tungsten elektrot içeren bir elektrot tutucusu veya torç, bir koruyucu gaz tüpü, bir basınç düşürme manometresi (basınç regülatörü) ve akış ölçer (debimetre), bir elektrik akımı üretici ve bazı makinelerde bir soğutma suyu devresinden oluşur [1]. Şekil 1.3' te TIG kaynak ekipmanları görülmektedir [11].

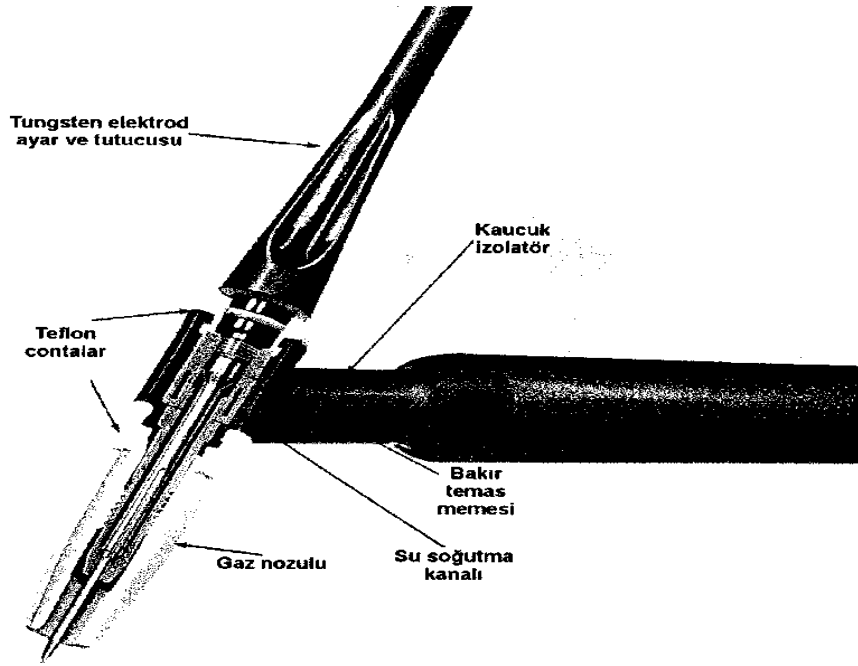


Şekil 1.3. Su soğutmalı TIG kaynak ekipmanları şeması [11]

#### 1.1.3.1. TIG kaynak Torcu

TIG kaynak yönteminde torç özel olarak tasarlanmış olup, iş parçası ile ucundaki tungsten elektrot arasında kaynak için gerekli olan elektrik arkını oluşturabilmek için, akım kablосundan aldığı akımı elektroda iletmek, koruyucu gaz ile kaynak banyosunun üzerini örtecek biçimde görevleri yerine getirmek için dizayn edilmiş bir elemandır.

Kaynak torçları, çeşitli boyutlarda tungsten elektrotları kolaylıkla kullanabilecek tarzda ve uygulama koşulları göz önünde bulundurularak çeşitli tür ve boyutlar da üretilmektedirler. El ile yapılan TIG kaynağında kullanılan torçlar hafif, küçük ve elektrik akımı kaçaklarına karşı etkin bir biçimde yalıtımlı olarak tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Torç ile akım üretici, gaz tüpü ve soğutma suyu bağlantıları değişik kalınlıklardaki kablolar ve hortumlarla sağlanır. Bunların tümü torç bağlantı paketi adı verilen çelik spiral takviyeli bir kalın hortum içine yerleştirilmişlerdir. (Şekil 1.4)



Şekil 1.4. Bir TIG kaynak torcunun temel elemanları [8]

Torçlar uygulamada kullanılabilecekleri en yüksek akım şiddetine göre sınıflandırılırlar. Her büyüklükteki torca belirli sınırlar içinde kalmak koşulu ile çeşitli çap ve türlerde elektrot ve gaz nozulu takılabilir. Torçları sınıflandırmada en önemli kriter yüklenebilecekleri akım şiddeti olduğundan ve bu konu da torcun soğutma sistemini belirlediğinden, genelde torçlar hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki ana gruba ayrılırlar.

Hava soğutmalı torçlarda, soğutma torcun dış kısmından hava yardımı ile iç kısmından ise akan koruyucu gaz tarafından gerçekleştirilir, bu neden ile bunlar gaz soğutmalı torçlar adı ile de anılırlar. [1]

Su soğutmalı TIG kaynak torcu bir tutamaç, bir elektrot tutucusu, koruyucu gazı arka ileten bir ortam, elektrik akımını arka ileten bir iletken ve soğutma suyunu torç kafasına ileten bir hortumdan oluşur. Bu torçta su, torç kafasını, kontak borusunu, elektrodu ve kaynak akım kablosunu soğutmakla görevlidir. [1]

TIG kaynak torçlarına takılan gaz nozulları, torcun biçimine, türüne, kapasitesine, hava veya su soğutmalı olmasına, kullanılan gaz debisine ve kaynak yerine göre değişik boyut ve türde olabileceği gibi değişik malzemelerden de üretilmiş olabilirler. Günümüzde endüstride kullanılan gaz nozullarını malzemeleri açısından 4 gruba ayırılır. Bunlar, seramik gaz nozulları, metal gaz nozulları, saydam gaz nozulları, çift gaz akışlı gaz nozulları olarak adlandırılırlar.

### **1.1.3.2. Kaynak elektrotları**

TIG kaynak yöntemini diğer kaynak yöntemlerinden ayıran en önemli fark, bu yöntemde kullanılan elektrodun görevinin sadece ark oluşturmasına rağmen erimediğinden, ek kaynak metali görevi yapmamasıdır. Erime sıcaklığı 3500°C civarında olan tungsten, yüksek erime sıcaklığı ve de kuvvetli bir elektron yayıcısı olduğundan dolayı elektrot malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yayınan elektronlar ark sütunu içinde kuvvetli bir elektron akımı oluşturarak arkın kararlılığını sağlarlar.

Doğru akımla TIG kaynağında toryum oksit, zirkonyum oksit, lantan oksit, seryum oksit ve bu oksitlerin karışımlarını içeren tungsten elektrotlar kullanılır. Koruyucu gaza %1-5 arası oksijen ilavesi, arkın tutuşmasını iyileştirmekte olup elektrodun akım yüklenebilirliğini arttırmaktadır. Alternatif akımla TIG kaynağında ise çoğunlukla %100 tungsten elektrotlar kullanılmaktadır.

Günümüz endüstrisinde ticari saflıktaki tungsten (% 99.5 W) ile toryum, zirkonyum ve lantanyum ile alaşımlandırılmış elektrotlar kullanılmaktadır. Uygulamada karşılaşılan TIG kaynak elektrotlarını, saf tungsten elektrotlar, alaşımlı elektrotlar ve çizgili elektrotlar olmak üzere üç grup altında toplamak mümkündür. TIG kaynak elektrotları, AWS A5.12 ile DIN 32528 de bileşimlerine göre sınıflandırılmış ve bunları birbirlerinden kolaylıkla ayırt edebilmek için de renk kodları kullanılmıştır. Tablo 1.3' te tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodları gösterilmektedir.

**Tablo 1.3.** Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri ve renk kodları [5]

İşareti	Malzeme No	Oksit İçeriği	Katışkılar, %	Renk Kodu
W	2,6005	-	≤0,20	Yeşil
WT 10	2,6022	0,90...1,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Sarı
WT 20	2,6026	1,80...2,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Kırmızı
WT 30	2,6030	2,80...3,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Leylak
WT 40	2,6036	3,80...4,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Portakal
WZ 4	2,6050	0,30...0,50 ZrO <sub>2</sub>	≤0,20	Kahverengi
WZ 8	2,6062	0,70...0,90 ZrO <sub>2</sub>	≤0,20	Beyaz
WL 10	2,6010	0,90...1,20 LaO <sub>2</sub>	≤0,20	Siyah

DIN 32528' de TIG kaynak elektrotlarının çapları (0,5), (1,0), (1,6), (2,0), (2,4), (3,0), (3,2), (4,0), (5,0), (6,0), (6,4) ve (8,0) mm; boyları ise 50, 75, 150, 175 mm olarak belirlenmiştir. AWS A5.12' de ise elektrotların çapları (0,01), (0,02), (0,04), (1/16), (3/32), (1/8), (5/32), (3/16), (1/4) inç; boyları ise 3, 6, 7, 12, 18 ve 24 inç olarak saptanmıştır. 7 inçten daha uzun olanlar sadece mekanize ve otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılırlar. Uygulamada elektrot çapı, elektrotun maksimum akım yüklenebilme kapasitesi göz önüne alınarak seçilmelidir, bu değere yaklaşıldığında arkın ısı yoğunluğu artmakta, daha stabil bir ark ile nüfuziyeti fazla, dikiş yüksekliği az bir kaynak dikişi elde edilebilmektedir [5].

### **Saf tungsten elektrotlar**

Saf tungsten elektrotlar alternatif akımda alüminyumun kaynağında tercih edilirler. Bu elektrotlar iyi bir elektron emisyon özelliğine sahip olmalarına karşın, toryum alaşımlılara nazaran daha düşük akımda yüklenme kapasitesine sahiptirler, kirlenmeye ve oksitlenmeye daha yatkındırlar. Akım şiddetinin çok yükselmesi arkın stabilizesinin bozulmasına neden olur ve bu durumda tungsten kaynak metaline zerrecikler veya buhar halinde değil, oldukça iri damlalar halinde geçmeye başlar. İdeal akım şiddetinde elektrotun uç kısmında erimiş tungsten bir yarım küre şeklinde görülür.

### **Alaşımlı tungsten elektrotlar**

Bileşiminde % 1 – 4 toryum oksit (ThO<sub>2</sub>) içeren tungsten elektrotlarda, Toryum - Oksit oranı yükseldikçe, elektron çıkışında açığa çıkan iş enerjisi azalmaktadır. Bu

sayede, tutuşma özellikleri, dayanma süresi ve akım yüklenebilirliği artmaktadır. Yüksek alternatif akım değerlerinde, pürüzlü veya elektrot ekseninden kaçmış uç kısım, ark kararlılığını azaltır. [11]

Toryum - Oksit elektrotlardan daha iyi özelliklere sahip olan, seryum oksit ( $CeO_2$ ) içeren elektrotlar çizgili tungsten elektrotlar diye bilinirler. Gövdeleri saf tungstenden yapılmış ve gövde üzerinde bulunan çizgi şeklindeki kanalcıkları ise toryum oksit ile doldurulmuştur. Saf tungsten elektrotun alternatif akım ile kullanma halindeki ark stabilizesi ile toryum oksit alaşımlı elektrotların akım yüklenme kapasitesini ve arkın kolay tutuşma özeliğini bir arada sağlamaktadırlar. Seryum elektrotun tüm kesitinde üniform olarak dağılmamış, elektrot üzerinde çizgi gibi görünen açılmış kanalcıklar içine doldurulmuştur [5].

%0.8 miktarına kadar Zirkonyum – oksit içeren elektrotlar da kullanılmakta olup, bu elektrotlarda kaynak banyosu elektrot tarafından daha az kirletilmektedir [11].

### **TIG Kaynak yönteminde arkın tutuşturulması**

TIG kaynağında ark tutuşturması tungsten elektrot ile parça arasında olur. Elektrot ile parça arasındaki aralığın elektriksel bakımdan iletken hale getirilmesi gerekir. Güç kaynağının türüne bağlı olarak koruyucu gazın iyonlaşması ile koruyucu gaz elektriksel bakımdan iletken hale gelir. Tungsten elektrodun parçaya 1.5-3 mm'ye kadar yaklaştırılması ile kaynak arkı tutuşur, daha sonra ark boyu, uygun şekilde ayarlanır. Kaynak bölgesinin dış sınırı, torca dairesel hareket verilerek genişletilebilir [10].



**Şekil 1.5.** Elektrodun parçaya teması ile tutuşturma [7]

Bu şekilde tutuşturmanın dezavantajı tungsten parçacıklarının elektrottan koparak kaynak banyosuna girmesi ihtimalinin yüksek olması ve kaynak metalinde tungsten kalıntılarının oluşmasıdır.

En çok kullanılan ark oluşturma metodu, arkın yüksek gerilim impulslarıyla yani yüksek frekans ile tutuşturulmasıdır. Kaynak akım üretici devreye girdiği zaman elektrot iş parçası aralığındaki koruyucu gazı iyonize ederek arkın temassız tutuşması sağlanır. Doğru akımla kaynakta ark tutuştuktan sonra, tutuşturma tertibatı devresi kapatılır.

### **1.1.3.3. TIG kaynağında kullanılan kaynak reteleri**

Tüm ark yöntemlerinde, kaliteli bir kaynak dikişi eldesi ancak kararlı bir ark ile gerekleşebildiğinden, akım kararlılığı, kutuplama ve akım türü diğer ark kaynak yöntemlerinden daha etkin bir biçimde kaynak dikişi kalitesini etkilediğinden, bu konuda daha büyük zen gereklidir.

TIG kaynağı için geliştirilmiş çeşitli tür ve büyüklüklerde akım reteleri piyasada bulunmaktadır. Bunların şantiyelerde kullanılan türleri bir içten yanmalı motor ile tahrik edilirler. Jeneratör tipi kaynak makineleri genellikle elektrik ark kaynağı için kullanılır. Bu makinelerden genel olarak doğru akım elde edilse de, yapılacak değişiklikler ile alternatif akım elde edilmesi de mümkündür.

TIG kaynağında, malzemelerin tamamına yakını (Al, Mg hariç) için elektrot negatif kutba bağlanarak doğru akım kullanılır. Akım reteleri, düşen tipte bir akım gerilim karakteristiğine sahiptirler. Gerilimdeki büyük değişiklikler (ark boyu değişimleri) akım şiddetini sadece önemsiz miktarda değişirmektedir. Kaynak akım şiddeti kademesiz olarak ayarlanabilmektedir. Bu işlem eski cihazlarda açık göbekli transformatör veya transdktrl transformatör ile yapılmaktadır. Modern tristörlü veya transistörlü akım reteleri, kademesiz kaynak akım şiddeti ayarının yanı sıra, dikiş başlangıcı, darbeli akım ve bitiş krateri doldurulma programları da içerirler. Doğru akım kaynak cihazları, çoğunlukla trifaze alternatif akımla beslenmektedir. Bu sayede şebeke, düşük akım değerleri altında düzenli yüklenmektedir.

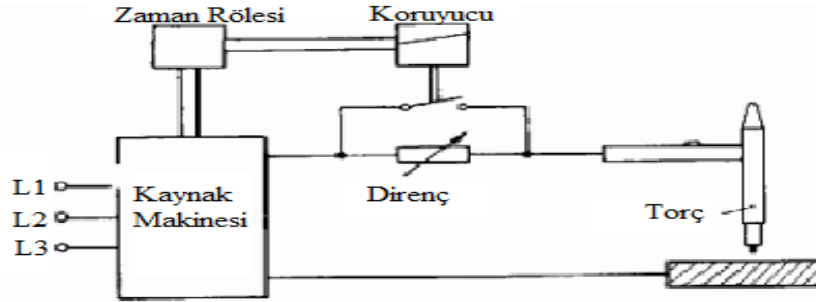
Yüzeyinde, yüksek sıcaklıkta eriyen bir oksit tabakası bulunan malzemelerin (Al gibi) kaynağı için, alternatif akım gerekmektedir. Bu akım üreteçleri, genellikle doğru/alternatif akım üreteçleri şeklinde imal edilirler. Transistörlü modern cihazlar primer çevrimlidir, burada da trifaze bağlantı mümkündür. Avantajlarından biri de daha küçük transformatör ve daha küçük indüktans bobini sayesinde ağırlıktan tasarruf elde edilmesidir.

Fabrikalarda ve atölyelerde kullanılan bu türler en çok uygulamada karşılaşılan türler olup, normal elektrik devresinden beslenirler. Transformatör-redresör tipi kaynak makineleri motor-jeneratör tipi kaynak makinelerine nazaran çok daha fazla ve yaygın olarak kullanılan makinelerdir. Giriş gerilimi normal elektriğin geriliminde olabildiği gibi özel durumlar için değişik giriş geriliminde üretilmiş akım üreteçleri de bulunmaktadır. Hem alternatif hem de doğru akım alınabildiğinden kaynak akımını sabit tutabilmeli ve ayrıca doğru akımda tutuşmayı alternatif akımda ise arkın sürekliliğini sağlamak için bir yüksek frekans jeneratörüne sahip olmalıdır. TIG kaynağında bu tip kaynak makineleriyle değişik cins metallerin kaynağı mümkün olmaktadır. Ayrıca bu makinelerin programlanabilir tipleri çok daha fazla ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine üzerindeki bir kol ile veya düğme ile ya redresör devreye sokularak doğru akım alınır ya da transformatör devreye sokularak alternatif akım alınır. Bu seçimi kaynakçının kendisi, yapılacak kaynağın cinsine göre yapar. Bunlar statik tip (döner parçaları olmadığından) kaynak makineleri diye de isimlendirilebilir. Transformatör-redresör tipi kaynak makinelerinin motor-jeneratör tipi kaynak makinelerine göre sessiz çalışma, boşta çalışma, sarfiyat değerinin ve işlem maliyetinin düşüklüğü, bakım masraflarının azlığı gibi üstünlükleri bulunmaktadır.

#### **1.1.3.4. Krater doldurma tertibatı**

Ark altında en son katılaştan sıvı haldeki banyo, dikişin diğer kısımları gibi tatminkâr bir şekilde ilave malzeme ile doldurulamayabilir. Dikiş ucunda arkın banyo üzerine etkileyen statik basıncından dolayı bir derinleşme meydana gelir. Dolayısıyla sıvı malzeme kenarlardan çekilir. Ayrıca sıvı metalin soğuması sırasında hacminin küçülmesi nedeniyle uç kraterde büzülme sonucu bir lunke oluşur. Ayrıca bir uç krater lunkerinde çoğu kez karşılaşılan katılma çatlaklarına da dikkat edilmelidir. Uç

kraterindeki hata bölgeleri, eritilerek giderilemeyecek derecede derinse, kaynağa tekrar başlamadan önce taşlanması gerekir. Bu durumda modern TIG kaynak makinelerinde kaynağın sonunda, istenen bir krater şekli sağlanmak için krater doldurma tertibatı devreye girerek, TIG kaynağı için tipik bir durum olan, akımın kademesiz şekilde yavaş yavaş azalması sağlanır. Bu tür bir akım azalması için basit bir prensip şeması Şekil 1.6' da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Krater doldurma tertibatının şeması [9]

Kaynak işleminin sonunda, torçtaki düğmeye basılmasıyla ilk önce kaynak akım devresindeki bir direnç devreye kademeye girerek kaynak akımını düşürür. Belirli bir süre sonra bir zaman rölesi kaynak akımını keser. Bu kesilme iki veya daha fazla kademe de gerçekleşebilir ancak, modern makinelerde kademesizdir. Kaynak işleminin sonunda akımın kesilmesi, banyonun derinliğinin azalmasına yol açar, yani önden arkaya doğru kademeli bir katılma başlar. Aynı anda ark basıncı da, banyo üzerine biraz daha ilave metal ulaşmasını sağlayacak şekilde devam eder. Bu şekilde pasonun ucu (krater) dolar ve yüzeyde daha sonradan bir taşlama veya tekrar eritmeyi gerektiren muhtemel hata bölgeleri oluşmamış olur [1].

#### 1.1.3.5. Akım türü ve kutuplama şekli

Akım türü ve kutuplama, her şeyden önce nüfuziyet formunu etkiler [6]. Şekil 1.7' de bu durumu şematik olarak gösterilmektedir.

- a- Doğru akım (negatif kutup)
- b- Doğru akım (pozitif kutup)
- c- Alternatif akım

- d- Sivri uçlu elektrot
- e- Küt uçlu elektrot

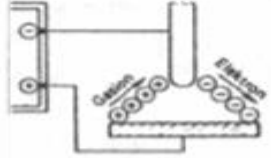
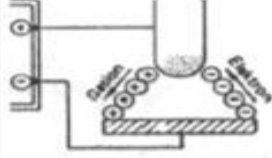
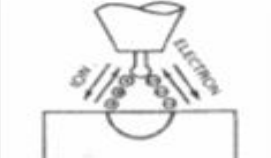





Şekil 1.7. Akım türü, kutup türü ve elektrot formuna bağlı olarak nüfuziyet formları [9]

Kural olarak TIG kaynağında doğru akımla kaynak yapılır. Bunun bir istisnası alüminyum, magnezyum ve bunların alaşımları gibi hafif metaller ve ayrıca pirinç ve berilyum bakırı gibi bakır alaşımları alternatif akımla kaynak yapılır. Negatif kutup soğuk kutuptur; bu nedenle kaynak sırasında tungsten elektrodun akım yüklenebilirliği ve dayanıklılığı pozitif kutuplanmasına göre negatif kutuplanması halinde çok daha yüksektir. Alternatif akımda kullanım halinde tungsten elektrodun akım yüklenebilirliği, doğru akımda negatif kutuplanmadaki değerine erişemez ancak pozitif kutuplanmaya göre birkaç kat daha yüksektir [6]. Alternatif akımla kaynakta elektrodun yüklenebilirliği, filtre kondansatörün kullanılıp kullanılmadığından da etkilenir. Akım devresindeki filtre kondansatörün görevi, daha sonra açıklanacaktır. Aşağıdaki ipuçlarında farklı kutup türlerinde tungsten elektrodun akım yüklenebilirliği verilmiştir. Yüksek sıcaklıkta eriyen oksit tabakası içeren malzemelerde katı oksit tabakası, kaynak banyosunun akmasını ve damlaların üzerine düştüğü pas ile birleşmesini engeller. Yaklaşık 2050°C'lik erime sıcaklığıyla alüminyum oksit, eritme kaynağında çok zor parçalanabilen bu oksitlerden biridir. Gaz eritme kaynağında veya lehimlemede kullanılan dekapanlarla bu oksit tabakası uzaklaştırılmaktadır ancak, ilave bir masraf yapılmasını gerektirir. TIG kaynağında bu tabakanın uzaklaştırılması, arktaki yük taşıyıcılarla sağlanır. Yük taşıyıcılar, elektronlardan ve elektronların ayrılmasıyla oluşan pozitif yüklü gaz iyonlarından oluşur. Elektronlar büyük hızlarda hareket eder ancak, kütlelerinin küçüklüğü nedeniyle kinetik enerjileri azdır. Bu nedenle sadece iyonlar, esas malzeme yüzeyine çarptıklarında yüzeydeki oksit tabakasını parçalamak için yeterli enerjiye sahiptir. Tablo 1.4' te arktaki yük taşıyıcıların hareketleri şematik olarak gösterilmektedir. Elektronlar katottan anoda doğru yer değiştirir ve burada çarpma

sonucu ısı üretir. İyonlar ise ters yönde hareket eder. Ancak iyonların kinetik enerjisi, sadece elektrot anod ve parça da katod olduğunda kaynak banyosunun yüzeyi üzerine uygulanabilir. Fakat bu şekilde temizleme etkisi önemli oranda düşük olur çünkü, pozitif kutuplanmış elektrodun kuvvetli şekilde ısınması, akım şiddetini zayıflatır.

**Tablo 1.4.** TIG kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi [9]

Akım Türü ve Kutuplama	Doğru Akım Elektrot Negatif	Doğru Akım Elektrot Pozitif	Alternatif Akım
Elektronların ve İyonların Akış Yönü			
Dikişin İllufuziyet Biçimi			
Oksit Temizleme Etkisi	Yok	Var Kuvvetli	% 50 İş parçası % 50 Elektrot ucu
İllufuziyet	Derin ve dar	Az ve geniş	Orta
Elektrot Akım Kapasitesi	Fevkalade 3,2 mm çapta 400 A	Kötü 6,4 mm çapta 120 A	İyi 3,2 mm çapta 225 A
Isı Dağılımı	% 70 İş parçasına % 30 Elektrot ucuna	% 30 İş parçasına % 70 Elektrot ucuna	% 50 İş parçasına % 50 Elektrot ucuna

Alternatif akımın kullanılması ile bu durumun iyi bir ortalaması elde edilir. Kutbun değişmesi, sırasıyla elektrot pozitif kutup olduğunda oksit tabakasının parçalanmasına (katodik temizleme) ve elektrot negatif kutup olduğunda da tekrar soğumasına imkân sağlar. Bu nedenle iki yarı dalga, temizleme yarı dalgası ve soğutma yarı dalgası olarak adlandırılır. Bu bağlamda banyo yüzeyinin oksitten yeterli şekilde temizlenmesi ve elektrodun dayanma süresinde önemli bir artış sağlanır. Başka bir teori, temizleme etkisini şöyle açıklamaktadır: Elektrot pozitif kutup olduğunda erimiş banyodan çıkan elektronlar, oksit tabakasını parçalar. Ancak bu teoriye karşı, elektronların çıkış enerjisinin düşüklüğü nedeniyle, bunların alttaki metalden değil, mevcut oksit tabakasından çıktığı söylenmektedir [5]. Alüminyumun kaynağında alternatif akımın kullanımı, başka bir problem daha çıkarır. Alüminyumun (erime sıcaklığı 658°C, buharlaşma sıcaklığı 2270°C) tungsten (erime sıcaklığı 3350°C, buharlaşma sıcaklığı 4800°C) ile ark içinde birleşik olarak iletim oluşturması, bir doğrultma etkisi doğurur. Daha önce de açıklandığı gibi elektronlar ya termik emisyon veya alan emisyonu yoluyla yayının izafi olarak düşük akım şiddeti ve gerilimde yapılan TIG kaynağında

alan emisyonu nispeten zayıftır ve termik emisyon daha güçlü olup metallerde artan sıcaklıkla yükselir ve 3500 °C 'nin üzerinde sıçrama gösterir. Bu sıcaklıklara sadece tungsten elektrot halinde ulaşılabilir; ancak buharlaşma sıcaklığı 3500 °C 'nin altında olan alüminyum halinde ulaşamaz. Dolayısıyla parçanın negatif kutuplanması sırasında soğuk erimiş banyoya oranla elektrot negatif kutuplandığında sıcak elektrotta önemli oranda elektron çıkışı meydana gelir. Bu nedenle pozitif yarı dalganın küçülmesi durumu veya başka bir ifadeyle negatif bir doğru akım bileşeni oluşur. Bu doğrultma etkisi, TIG kaynağında sadece alüminyumda değil, daha küçük kütleli olmak üzere çeliklerin kaynağında da meydana gelir. Burada daha yüksek sıcaklığa ulaşan elektrot, daha fazla elektron yayar.

Doğru akım bileşeni çoğu kez zararlı yönde etkir. Temizleme etkisi zayıflar ancak, aynı zamanda ark daha keskin ve kararsız yanar; bu nedenle koruyucu gaz debisinin artırılması gerekir. Doğru akım kısmı, bir ön manyetikleşmeye yol açarak kaynak makinesinin ısınmasına neden olduğundan, trafo sarımlarına da zarar verir. Doğrultma etkisinin olumsuzluğu akım devresinin uygun bir yerinde, doğru akım bileşenini filtreleyen bir kondansatörün (filtre kondansatör) kullanılmasıyla engellenebilir. Özellikle alüminyum malzeme halinde, elektrot çap seçiminde, daima ayarlanan kaynak akımının göz önünde bulundurulması gerekir. Bu, özellikle alternatif akımda önemlidir. Doğru akımla kaynakla (elektrot negatif kutupta) bazen daha kalın elektrotlar da kullanılabilir, bu durumda her şeyden önce tekrar tutuşma emniyeti kötüleşebilir.

#### **1.1.4. Kaynak ağızlarının hazırlanması**

TIG kaynak yöntemi bir ergitme kaynak yöntemi olduğundan, kaynak işlemi öncesi kesinlikle bir kaynak ağızı hazırlanması gereklidir. Bu yöntemde uygulanan kaynak ağızları diğer ergitme kaynak yöntemleri için hazırlanan ağızlardan biçim olarak farklılık göstermese de boyut olarak bazı farklılıklar gösterir.

Krom-nikel çelikleri ve alaşımsız çelikler kötü ısı iletkenlikleri nedeniyle alüminyuma göre daha dar ağız açılımlarına ihtiyaç duyarlar. İnce levhalarda belirli ağız geometrileriyle, dolgu malzemesi olmadan kaynak yapmak mümkündür. Bu durum özellikle kaynak

dolgu tellerinin kaynak bölgesine sevk edilmesi ve yönlendirilmesine gerek kalmadığından, tam otomatik uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.

Isı iletkenliği iyi olan alüminyum, çeliğe göre daha değişik ağız hazırlığı gerektirmektedir. Ağız açısı daha büyüktür. (90° veya daha üzeri) Birleştirme kaynağında, kaynak yerindeki oksidin sadece arka bölgesinden uzaklaştırılmasına dikkat edilmelidir. Aralık bırakılmadan hazırlanmış kaynak ağızlarında, ağız yüzeyindeki oksitler dağıtılamaz ve kök tarafında çentik şeklinde ortaya çıkarlar. Ağız alt kenarları açıldırılıp, köke kuvvetlice bastırılarak bundan kaçınılabılır [11].

Kaynak ağızları, kaynatılan parçaların kalınlığı ve dikişten beklenen özellikler göz önüne alınarak biçimlendirilir. Genel olarak 4mm kalınlığa kadar olan parçalar küt alın şeklinde birleştirilir, iki taraftan kaynak yapma imkânı mevcut olduğu hallerde bu kalınlık arada aralık bırakmak koşulu ile 8 mm' ye kadar çıkabilir. Daha kalın parçalar için 60 ila 90° lik V veya U kaynak ağızı açılır.

Bilhassa kalın parçalar kaynatılırken, bir altlık kullanılmadığı zaman kök kısmında 1–2 mm'lik bir kısım küt alın olarak bırakılırsa, bu şekilde kök kısmında dikişte akmalar olması önlenmiş olur. Parçanın her iki tarafından da kaynak yapılabilme imkânına sahip olunan hallerde, kalın parçalara X veya U kaynak ağızları açılır.

### **1.1.5. TIG Kaynak yönteminin uygulama alanları**

Bu yöntem genellikle hafif metallerin birleştirilmesinde kullanılır. Çeşitli büyüklükteki torçlarla 15 mm' ye kadar kalınlıktaki parçaları kaynatmak mümkündür. Bu yöntemde yukarıdan aşağıya doğru dikey ve tavan kaynaklarının da uygulanması mümkündür. Yüksek miktarda çinko ihtiva eden bronzlar, titanyum alaşımları, zirkonyum, uranyum gibi kaynak kabiliyetleri zayıf metaller de bu yöntemle gözeneksiz olarak kaynak yapılabilir [4]. TIG kaynak yönteminin kullanıldığı önemli başlıca alanlar;

- 1- Her çeşit alüminyum konstrüksiyonlar; mutfak takımları, boru tesisatları, tanklar, taşıt imalatı, teleferik kabinleri, gemi inşaatı v.s.
- 2- Paslanmaz çelikler; kimya ve gıda sanayinde kullanılan cihazlar, buzdolabı, boru tesisatı, tıbbi aletler, ısı eşanjörleri, tanklar, gaz ve buhar türbinleri, meme donanımları, uçak motorları, kaynatma kazanları, çamaşır makineleri.

- 3- Dezokside edilmiş bakır ve alaşımları; kimya endüstrisinde ve elektro- teknikte kullanılan bakır donanımlar v.s.
- 4- Sert tabaka dolgu kaynağı; subapların oturma yüzeyleri, aşınan parçaların doldurulması v.s.
- 5- DKP çelik saclar; karoseri işleri, çok ince saclarla yapılan konstrüksiyonlar, uçak inşaatı v.s.
- 6- Özel işler; transformatör sacları, çinko kaplı saclar, atom reaktörlerini inşasında kullanılan çeşitli parçaların imalatı v.s.

#### **1.1.5.1. TIG kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları**

Avantajları şunlardır;

- 1- Bütün metal ve alaşımları kaynatılabilir. Paslanmaz çelikler, ısıya mukavim çelikler dökme demir ve çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları, titanyum, nikel, molibden, niyobyum, tungsten gibi.
- 2- Bu yöntemle yapılan kaynaklarda mukavemet ve kalite bakımından mükemmel dikişler elde edilir.
- 3- Dekapana ihtiyaç yoktur.
- 4- Kaynak dikişleri genellikle kaynaktan sonra olduğu gibi kullanılır.
- 5- Çok küçük alanın ısıtılması ve ısının sürekli transferi dolayısıyla diğer yöntemlere göre çarpılmalar daha azdır.
- 6- Tungsten elektrotla dikişte çok az bir karbür ayrışması meydana gelir.
- 7- Her çeşit birleştirme şekli uygulanabilir; yatay, dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapılabilir.
- 8- Kaynak torcu hafiftir ve dolayısıyla rahat bir çalışma olanağı sağlar.
- 9- Bu yöntem sayesinde ayrı cins metalleri ve alaşımları birbirleriyle kaynatmak mümkündür.
- 10- TIG kaynak yönteminde genellikle koruyucu gaz olarak argon kullanılır.
- 11- Kaynak dikişi üzerinde cüruf yoktur [4].

TIG kaynak yönteminin dezavantajları ise şunlardır:

- 1- TIG kaynağının metal yığıma hızı, diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- 2- Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir.

- 3- Koruyucu gaz gerekir.
- 4- Kirliliğe hassastır, bu yüzden yüzey temizliği gerektirir.
- 5- Açık havada zor kullanılır.
- 6- Kimyasal yapı düzeltilemez.

### 1.1.6. TIG kaynağındaki hatalar

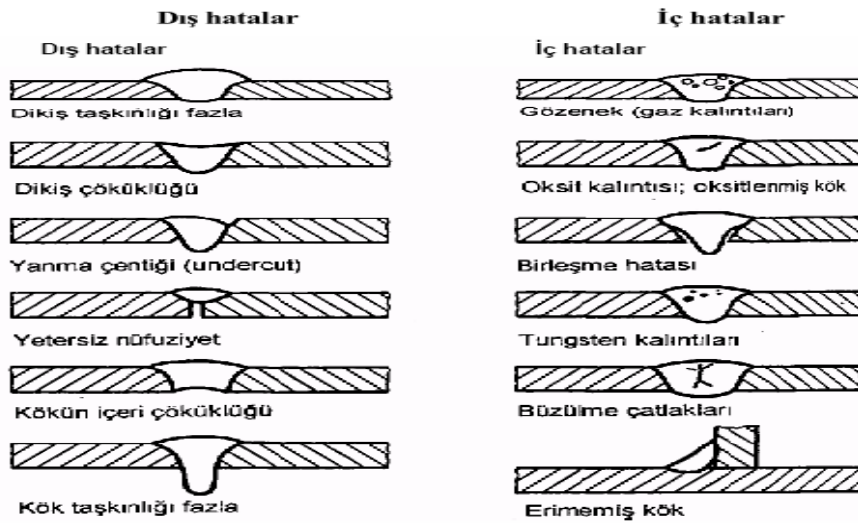
TIG kaynağında diğer kaynak yöntemlerinde rastlanan sertleşme çatlakları, dikiş altı çatlakları vs. gibi malzemeye bağlı hatalar değil, yöntemin uygulanması sırasında kaynakçının etkileyebildiği hatalar görülür. Kaynak dikişlerindeki hataların oluşumunu etkileyen faktörler;

**Dikiş hazırlığı:** Ağız formu, Ağız ölçüleri, Kaynak bölgesinin temizliği

**Cihaz ayarları:** Gerilim / akım şiddeti, Cihazın karakteristiği, Koruyucu gaz miktarı

**Kaynak torcunun sevk ve idaresi:** Kaynak hızı, Pasoların birbirine binme mesafesi ve zigzag hareketleri, kaynak torcunun ayarları (torç eğimi), Elektrot ile parça arasındaki mesafe (torç mesafesi).

Şekil 1.8'de de görüldüğü gibi kaynak öncesinde ve kaynak sırasında gerekli önlemlerin alınmamasıyla birçok kaynak hatası meydana gelmektedir. Meydana gelen bu hatalar kaynak yüzeyinde ya da kaynak içerisinde meydana gelebilir. Eğer alınan tüm önlemlere karşı herhangi bir sebepten dolayı yineden kaynakta hata meydana geliyorsa uygun bir yöntemle bu hatalar kaynak bölgesinden temizlenir.


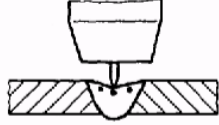
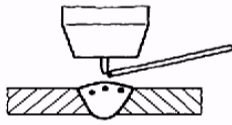

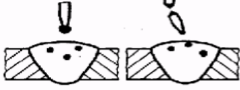


Şekil 1.8. TIG kaynağında meydana gelen hatalar [1]

### 1.1.6.1. Tungsten kalıntılarının nedenleri

TIG kaynağında en çok karşılaşılan hatalardan biri de tungsten kalıntılaridir. Bu hata genellikle elektrodun kaynak banyosuna teması ile meydana gelmektedir. Tablo 1.5' te TIG kaynağında meydana gelen tungsten kalıntılarının nedenleri gösterilmektedir [1].

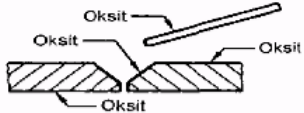


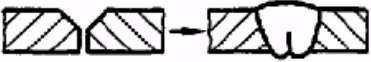

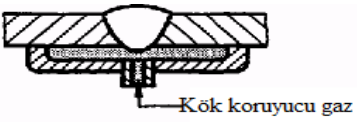
**Tablo 1.5.** TIG kaynağında meydana gelen tungsten kalıntılarının nedenleri [1]

	Tungsten kalıntıları kaynak dikiş bölgesinde çentik olarak etki eder. Yüzey bölgesinde ise korozyona neden olur.
	Sıcak tungsten elektrodun kaynak banyosuna değmesi.
	Sıcak tungsten elektrodun kaynak teline Değmesi.
	Alternatif akımda tungsten elektrodun aşırı yüklenmesi.
	Tungsten elektrodun doğru akımda aşırı yüklenmesi (Elektrot negatif kutupta).

### 1.1.6.2. Oksit kalıntılarının nedenleri

TIG kaynağında oksit kalıntıları genellikle kullanılan ilave telden ya da malzeme yüzeyinde bulunan kir, pas vb. maddelerden dolayı kaynak bölgesinde bulunmaktadır. Kaynak öncesi gerekli önlemlerin alınmasıyla bu hataların oluşması ortadan kaldırılır. Tablo 1.6' da TIG kaynağında meydana gelen oksit kalıntılarının nedenleri gösterilmektedir [1].

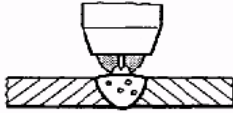





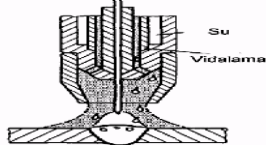
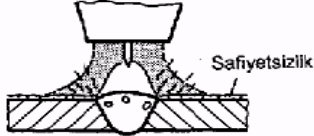

**Tablo 1.6.** TIG kaynağında meydana gelen oksit kalıntılarının nedenleri [1]

	Kaynaktan önce oksitlerin fırça ya da taşlama ile uzaklaştırılmaları gerekir.
	Ağız metalsel saflıkta değil. Oksit taşıyan kaynak teli. Her pasodan sonra yetersiz fırçalama.
	Sıcak kaynak telinin hareketleri sırasında koruyucu gaz akış bölgesinin dışına çıkartılması.
	Kök alını çok yüksek olan yetersiz veya uygun olmayan kaynak ağzı.
	Kök bölgesinde oksidasyon.
	Özellikle düşük ve yüksek alaşımlı çeliklerde kök koruyucu gazla koruma.

### 1.6.3. Gözenek oluşumunun nedenleri

TIG kaynağında gözenek en çok karşılaşılan hatalardan biridir. Bu hatalar genellikle kullanılan gazlardan ya da dış atmosferin etkisiyle meydana gelmektedir. Gaz korumasının yetersiz olması ya da açık ortamda kaynak yapılması gözenek oluşumunun başlıca sebepleridir. Tablo 1.7' de TIG kaynağında meydana gelen gözeneklerin nedenleri gösterilmektedir [1].


**Tablo 1.7.** TIG kaynağında meydana gelen gözenek olumunun nedenleri [1]

	Yetersiz miktarda koruyucu gaz
	Aşırı miktarda koruyucu gaz nedeniyle koruyucu gaz örtüsünün girdaplı olması
	Koruyucu gaz örtüsünün 1 m/s' nin üzerinde rüzgâr hızı nedeniyle bozulması
	Çok küçük gaz memesi Gaz memesi çapı = Kaynak banyosunun genişliğinin 1.5 katı
	Çok büyük torç mesafesi
	Torcun çok düşük tutulması nedeniyle havanın emilmesi
	Su ile soğutulan torçlarda sızdırmazlıkların kötü olması sonucu koruyucu gaz içine su girmesi
	Kaynak dikişi bölgesinde toz, kir, yağ, koruyucu tabaka veya boya tabakası olması
	Koruyucu gaz akışının girdaplı olması ve bozulmuş gaz memesi nedeniyle havanın emilmesi

#### 1.1.6.4. Krater çatlaklarının nedenleri

Tablo 1.8’ de TIG kaynağında meydana gelen krater çatlaklarının nedenleri gösterilmektedir [1].

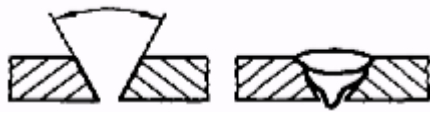
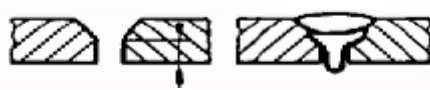

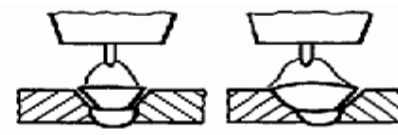
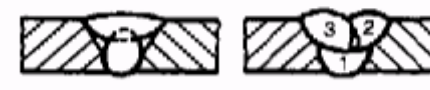
**Tablo 1.8.** TIG kaynağında meydana gelen krater çatlaklarının nedenleri [1]

	Kaynak akım şiddetinin çok yüksek olması Kaynak hızının çok düşük olması Kaynak bölgesinin ilave metalle yeteri oranda beslenememesi
---	--

#### 1.1.6.5. Birleşme hatalarının nedenleri

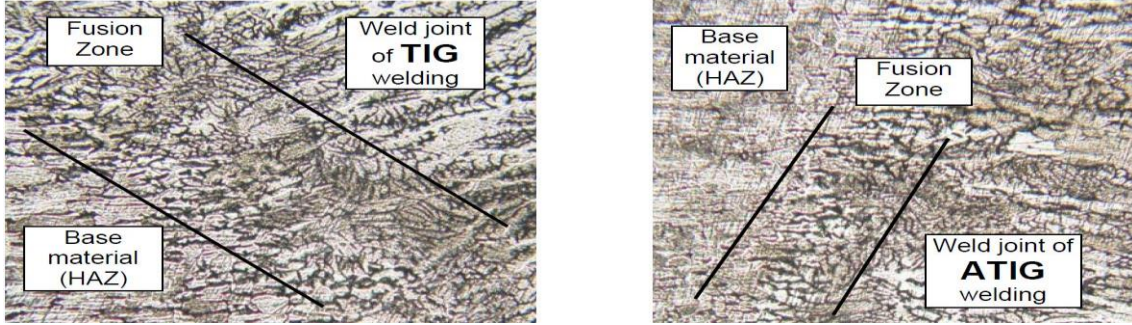
Tablo 1.9’da TIG kaynağında meydana gelen birleşme hatalarının nedenleri gösterilmektedir [1].

**Tablo 1.9.** TIG kaynağında meydana gelen birleşme hatalarının nedenleri [1]

	Yanlış ağız hazırlığı Çok küçük ağız açısı
	Kök alın yüksekliğinin fazla olması
	Kök aralığının kök yüksekliğine oranı çok küçük
	Kaynak hızının yüksek olması ve torcun merkezden kaçık tutulması nedeniyle meydana gelen yetersiz ergimeler
	Uygun olmayan kaynak paso düzeni



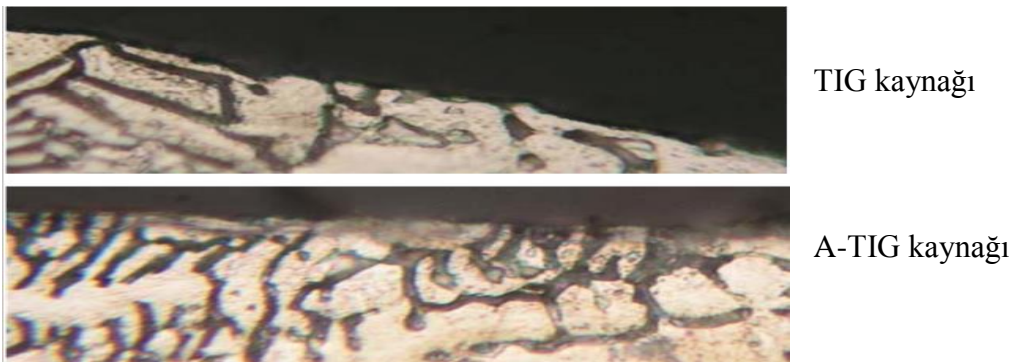
A-TIG kaynak yönteminde ITAB a yakın kısmi ergimiş bölgelerde sıvı çatlakları oluşma riski, TIG kaynağına nazaran çok daha azdır. Şekil 1.10'da TIG ve A-TIG kaynak metalleri gösterilmiştir [25].



Şekil 1.10. TIG ve A-TIG kaynağında mikroyapısı [25]

### 1.2.2. Korozyon testleri

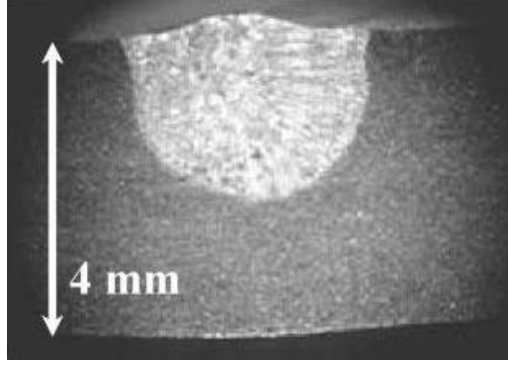
Paslanmaz çeliklerin kaynağında dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, korozyon direncidir [25,31]. Korozyon direncinin düşük olması durumunda, kaynağın çok iyi olması kabul edilebilir bir ölçüt değildir. Yapılan 15 saatlik korozyon testleri sonucu, kullanılan tozun direkt olarak korozyon direncine faydasının olmadığı ancak; bu kaynak yönteminin, ısı girdisinin düşük olması ve ITAB ın dar olması sebebiyle korozyon oluşma potansiyelini düşürdüğü belirlenmiştir. (Şekil 1.11) [25].



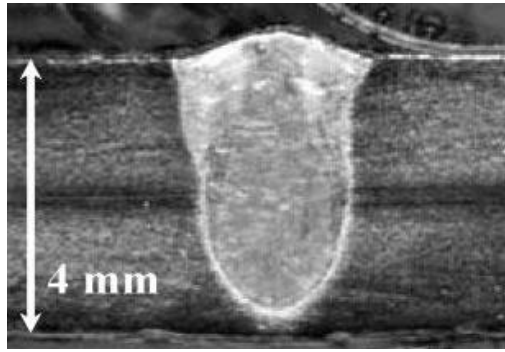
Şekil 1.11. Korozyon testinden sonra TIG ve A-TIG kaynaklarının üst tarafları [25]

### 1.2.3. Paslanmaz çeliklerde A-TIG ve TIG kaynaklarının karşılaştırılması

Klasik TIG kaynak uygulaması sonucunda elde edilen tipik dikiş kesidi, Şekil 1.12’ de görülmektedir [15]. Aynı malzemeye, sabit kaynak parametreleri ile TIG kaynağının toz altında uygulanmasında elde edilen dikiş (A-TIG) kaynağı, Şekil 1.13’ te görülmektedir [15]. Her iki kaynak yönteminde kaynak edilen iş parçası, kaynak elektrod geometrisi ve diğer bütün kaynak parametleri sabittir. TIG kaynağında geniş ve nüfuziyet derinliği daha dar dikiş elde edilir. A-TIG kaynağında ise daha dar ama nüfuziyet derinliği daha fazla olan bir dikiş elde edilmektedir. Her iki dikişteki bu fark, iş parçasının üzerine sürülen tozdan kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.12. TIG kaynağında elde edilen kaynak dikişi [15]



Şekil 1.13. A-TIG kaynağında elde edilen kaynak dikişi [15]

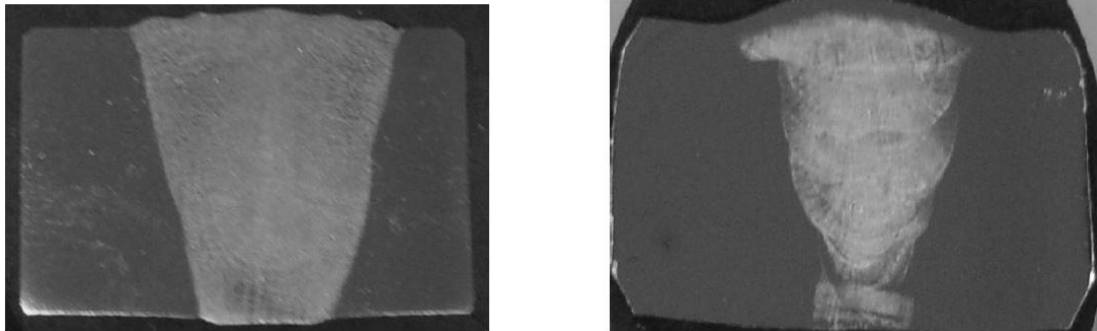
304 LN ve 316 LN paslanmaz çeliklerinin laboratuvarında yapılan kaynağında, tek pasoda 10-12 mm arası nüfuziyet elde edilmiştir [20]. Bu işlemde istenen nüfuziyet derinliğinin ve kaynak havuz geometrisinin elde edilmesi için proses parametrelerinin doğru seçilmesi çok önemlidir. Ancak bu durum çok fazla deney yapmayı gerektirmekte ve prosesin deneysel optimizasyonu yüksek maliyetli olmasının yanında zaman almaktadır.

Yapılan deneyde 304 LN ve 316 LN kalite paslanmaz çeliklerden 10 ve 12 mm kalınlığında plakalar yapılmıştır. Bu plakaların üzerine toz sürülmüştür. Tablo 1.10' da deneylerde kullanılan farklı proses parametreleri gösterilmiştir.

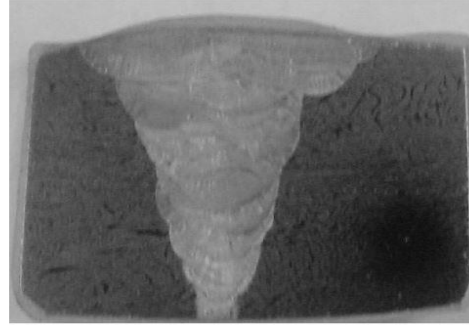
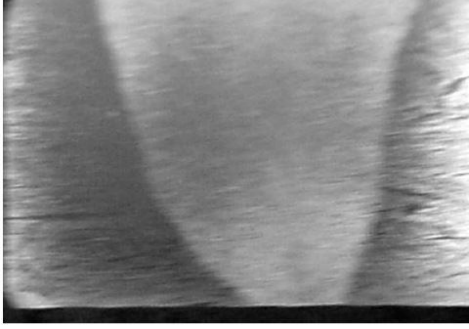
**Tablo 1.10.** 314 LN ve 316 LN paslanmaz çeliklerinin proses parametreleri [20]

Kaynak Parametreleri	Seçenekler
Akım	80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 280 A
Torç hızı	1, 1.33, 1.67, 2, 2.67 ve 3.33 mm/sn.
Ark boşluğu	0.75 ve 1.5 mm
Koruyucu gaz	Argon; debi=10 l/min
Elektrot	Tungsten, 3mm çap
Elektrot ucu açısı	45 °C
Toz cinsi	Çok bileşenli

Şekil 1.14'te, 10 mm kalınlığındaki 304 LN paslanmaz çeliğinin A-TIG ve çok pasolu TIG kaynağından sonraki kesit alanı gösterilmektedir [20]. 10 mm kalınlığındaki 304 LN paslanmaz parça, V kaynak ağızı açılarak 308 L kalitesindeki kaynak teliyle çok pasolu olarak geleneksel TIG kaynağıyla kaynatılmıştır. Komple kaynak dikişi için 10 paso gerekmektedir. A-TIG ve TIG kaynak yöntemleriyle kaynatılan 316 LN paslanmaz çeliğinin kesiti ise, Şekil 1.15' te gösterilmiştir. A-TIG kaynak yöntemi ile kaynatılan malzemede 12 mm derinliğinde nüfuziyet görülmektedir. TIG kaynak yöntemi ise, 316 L kaynak teli kullanılarak 12 pasoda yapılmıştır. A-TIG ile yapılan kaynaklı bağlantılar, radyografik muayenelerden ve eğme testinden hatasız olarak geçmiştir. A-TIG kaynağının kaynak bölgesinin üzerinde ise toz bir katman oluşmuştur. Bu katman, fırçayla temizlenerek çıkarılmaktadır.



**Şekil 1.14.** A-TIG ve TIG kaynağı ile kaynatılan 304 LN paslanmaz çeliğinin kesitleri [20]



**Şekil 1.15.** A-TIG ve TIG kaynağı ile kaynatılan 316 LN paslanmaz çeliğinin kesitleri [20]

Kaynaktan sonra numuneler kaynak yerlerinden kesilmiştir. Makro yapının görülmesi için de, taşlanıp zımparalanmıştır. Kaynak bölgesinin genişliği, derinliği mikroskop altında incelenmiştir. Tablo 1.11’ de de 304 LN paslanmaz çeliğinin kaynağındaki test sonuçları, Tablo 1.12’ de ise 316 LN paslanmaz çeliğinin elde edilen test sonuçları, gösterilmiştir.

**Tablo 1.11.** 304 LN paslanmaz çeliğinin kaynağındaki test sonuçları [20]

Kaynak-Dikiş Parametreleri ve kaynak prosesi değişkenleri	Deney 1	Deney 2
Dikiş genişliği (mm)	6.158	11.017
Kaynak dikiş yüksekliği (mm)	0.326	0.620
Nüfuziyet Derinliği (mm)	3.833	8.092
Kaynak akımı (A)	140	280
Kaynak Voltajı (V)	13.6	20
Kaynak ( Torç hareketi ) hızı (mm/sn)	1.33	1.33
Ark boşluğu (mm)	1.5	0.75

**Tablo 1.12** 316 LN paslanmaz çeliğinin kaynağındaki test sonuçları [20]

Kaynak-Dikiş Parametreleri ve kaynak prosesi değişkenleri	Deney 1	Deney 2
Dikiş genişliği (mm)	9.939	8.834
Kaynak dikiş yüksekliği (mm)	0.825	0.722
Nüfuziyet Derinliği (mm)	7.0	8.138
Kaynak akımı (A)	280	246
Kaynak Voltajı (V)	19.8	14
Kaynak ( Torç hareketi ) hızı, S (mm/sn)	2	1
Ark boşluğu (mm)	1.5	0.75

3 mm lik plakalarda yapılan testlerde, TIG ve A-TIG kaynaklarının plakanın altından ve üstünden görüntüsü Şekil 1.16' deki gibidir. Bu kaynaklar 220 A ve 8 cm/dk hızla uygulanmıştır. Bu kaynak yöntemlerinde plakaların 3 mm' lik kalınlıklarda seçilmesinin sebebi, tek pasoda TIG kaynağıyla 3 mm' nin kaynatılabiliyor olmasıdır. Bu sayede iki kaynak yönteminin deneyi için de eşit şartlar oluşturulmuştur.



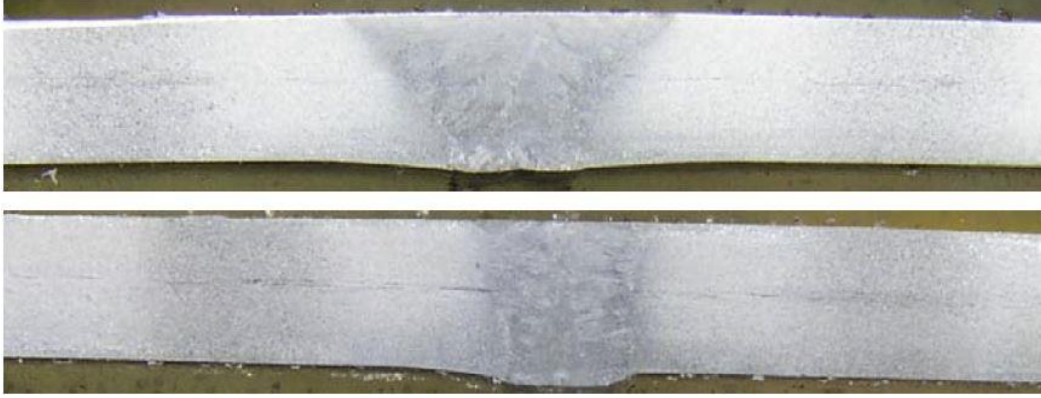
Şekil 1.16. A-TIG ve TIG kaynaklarının ön ve arka yüzleri [25]

Şekil 1.17' de A-TIG kaynağında, kaynak yüzeyinin düzgün olmadığı görülmektedir. Bu durum A-TIG kaynağının, normalden daha kalın parçalar ve et kalınlığı fazla olan borular için uygun olduğunun göstergesidir.



Şekil 1.17. A-TIG kaynağında kök delinmesi [25]

Şekil 1.18’ de, tek pasonun aynı hızda (13,5 cm/dk) iki farklı amper değeriyle yapılmış görüntüsü bulunmaktadır. A-TIG kaynak yöntemiyle (84 A) yapılan kaynakta, TIG kaynak yöntemine (110 A) nazaran, daha düşük amperle daha fazla nüfuziyet elde edilmiştir. Aynı zamanda A-TIG kaynağında ITAB ın daha dar bir kesitinin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1.18. TIG ve A-TIG kaynağında makrografik yapı [25]

### 1.3. A-TIG Kaynak Tozları ve Tozların Uygulanması

1965’lerde yayınlanan, TIG kaynağıyla aktif toz kullanımının belirtildiği ilk referans makale titanyum alaşımlarında oksijenden arındırılmış toz ile kaynağı anlatmaktadır [27]. Yapılan işlemin etkisi ve fiziksel karakteristiği, kaynak akımının düşmesi ve de tozdan kaynaklı olarak voltajın arttığı gözlemlenmektedir. Titanyum alaşımları ve paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında kullanılan tozların etkisi hakkında denemeler yapılmıştır. Kaynak havuzunun yüzey gerilimini olumlu yönde etkilediği görülmüştür [35].

Tablo 1.13’te araştırmacıların farklı metaller için kullandıkları toz cinsleri görülmektedir. Bu tozların hepsi 1 mikrondan daha ince olan tozlardır. Bu tozlar esas olarak oksitler, florlar, florürler, ve klorürlerden ibarettir. Bazı araştırmalarda da tek tip toz kullanılmasına rağmen, genelde bu tozların karışımları kullanılır. Belirtilen bu karışımların da endüstriyel olarak ticareti yapılmaktadır.

**Tablo.1.13.** A-TIG kaynağında farklı metallerde kullanılan tozlar [13]

Alaşımsız Çelikler	SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NaF, Ti
Paslanmaz Çelikler	SiO <sub>2</sub> , CaF <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , AlF <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO, ZrO <sub>2</sub>
Aluminyum alaşımları	SiO <sub>2</sub> , AlF <sub>3</sub> , TiF <sub>3</sub> , CaF <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , MgF <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub>
Bakır Alaşımları	SiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, MgF <sub>2</sub> , AlF <sub>3</sub> , CaO
Titanyum Alaşımları	CaF <sub>2</sub> , MgF <sub>2</sub> , SrF <sub>2</sub> , AlF <sub>3</sub> , NaF, CaCl <sub>2</sub> , NaCl
Magnezyum Alaşımları	LiCl, CaCl <sub>2</sub> , CdCl <sub>2</sub> , PbCl <sub>2</sub> , CeCl <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub>
Nikel Alaşımları	SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Kobalt alaşımları	SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , WO <sub>3</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

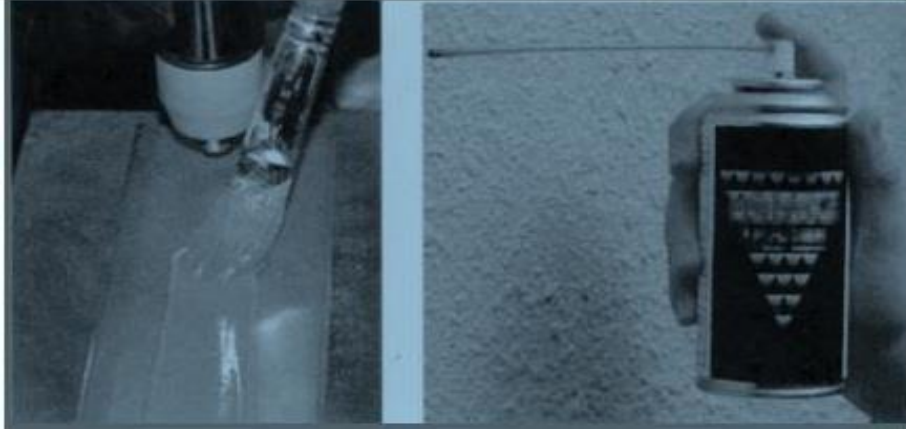
C-Mn çeliklerinin kaynağı için kullanılabilir olan karışım tozunun bileşimi şu şekilde de verilebilir; SiO<sub>2</sub> %57,3 , NaF %6,4 , TiO<sub>2</sub> %13,6 , Ti %13,6 , Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %9,1 [12].

A-TIG kaynağında kullanılacak tozların bileşimi, kaynak edilecek malzemenin cinsine göre ayarlanır. C-Mn çelikleri, az alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel bazlı alaşımlar ve titanyum alaşımları için İngiltere, Japonya ve ABD’de farklı tozlar geliştirilmiştir [33].

Kaynak bölgesinin kimyasal yapısı ile ana metalin kimyasal yapıları karşılaştırıldığında, kullanılan toz cinsinden kaynaklanan kimyasal bir değişim gözlenmemiştir. A-TIG kaynak yöntemi ile kaynatılan malzemenin mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelendiğinde, TIG kaynak yöntemine nazaran herhangi bir dezavantaj söz konusu değildir. 316 LN paslanmaz çeliğinin A-TIG kaynağıyla yapılan kaynağında sürünme kopması ömrü, TIG kaynağına nazaran % 75 arttığı görülmüştür. Bu çok kayda değer bir gelişme olup, 314 LN ve 316 LN paslanmaz çeliklerinin kaynağında toz kullanımının çok büyük potansiyeli olduğu görülmektedir.

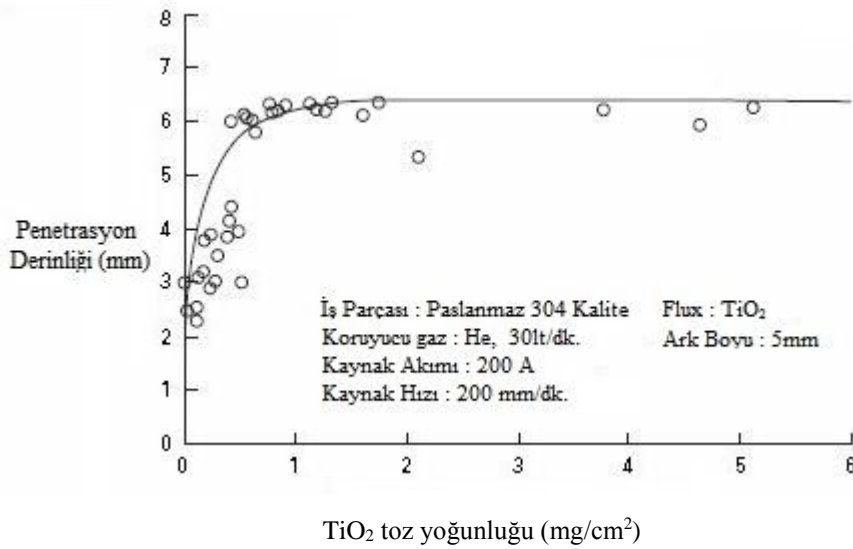
Bu tozlar aseton veya MEK (Metil etil keton) ile iyice karıştırılıp macun haline getirilmektedir [12]. Bu karışım hamur kıvamına geldikten sonra ya fırçayla parça üzerine sürülür ya da spreyle sıkılmaktadır. Uygulama Şekil 1.19’ da görülmektedir.

Kaynak yapılacak olan parçanın üstüne sürülen pasta kıvamındaki tozdan, bir müddet sonra buharlaşma ile aseton çıkarak uçmaktadır ve geride kalan kısım parçaya yapışmış olarak kalmaktadır.



Şekil 1.19. A-TIG kaynağında toz karışımının fırça ve spreyle yapılan uygulaması [12]

Parça üzerinde oluşan toz yoğunluğu, uygulamaya bağlıdır. Yüzeydeki tabaka kalınlığı ya da yoğunluğu, dikiş nüfuziyet oranı üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 1.20' de toz tabakasının yoğunluğunun, elde edilen dikiş nüfuziyet oranına etkisi görülmektedir [16].



Şekil 1.20. Toz tabakası yoğunluğunun, dikiş nüfuziyet oranına etkisi [16]

Bu durumda Şekil 1.20' yi dikkatle incelediğimizde, 1mg/cm<sup>2</sup>'den daha yoğun bir toz tabakası uygulandığında, kaynak dikiş nüfuziyetinin daha fazla artmadığı görülmektedir.

Şekil 1.21' de ise farklı oksitler içeren tozların farklı yoğunluklar ile kullanımıyla yapılmış olan kaynak dikişlerine ait kesit fotoğrafları bulunmaktadır [17]. Görüldüğü üzere aynı tozlarda, farklı yoğunluklarda olarak kaynak nüfuziyet derinlikleri de değişim göstermektedir.

FLUX	FLUX MİKTARI ( $\times 10^{-5}$ mol)					
	1.0	16	40	80	120	480
Cu <sub>2</sub> O						
NiO						
SiO <sub>2</sub>						
CaO						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						
FLUX YOK						2mm

Şekil 1.21. Kullanılan tozların yoğunluklarına göre kaynak dikişine etkisi [17]

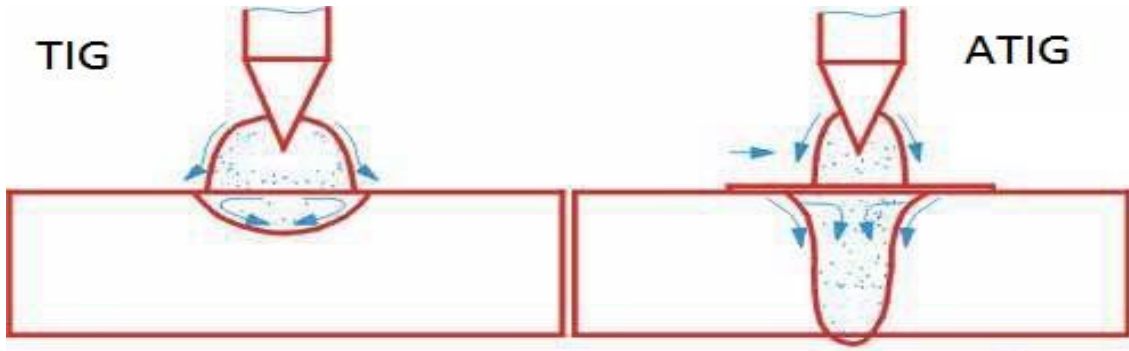
A-TIG yönteminde kullanılan tozun boyutu kaynak kalitesine direkt olarak etki etmektedir [18]. Şekil 1.22' de farklı tane büyüklüğündeki ve farklı yoğunluklardaki tozla yapılan kaynak işlemi sonrasında elde edilen kaynak dikişlerinin kesit resimleri görülmektedir. Ayrıca toz cinsinin etkinliği, kaynak edilen metale göre de değişmektedir.

Tane boyutu $\mu$ m	Flux Miktarı $\times 10^{-5}$ mol					
	1.0	16.0	40.0	80.0	120.0	480.0
0.8						
4.0						
25.0						
						2mm

Şekil 1.22. Kullanılan tozun tane büyüklüğünün kaynak dikişine etkisi [18]

#### 1.4. A-TIG Kaynak Dikişinde Etkin Olan Mekanizmalar

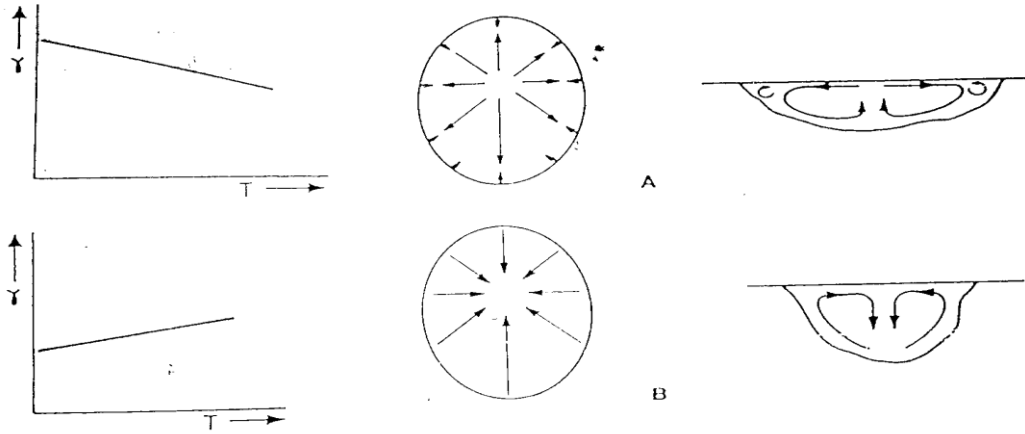
A-TIG kaynağı ile klasik TIG kaynağının uygulanması esnasında oluşan sıvı metal havuzundaki karıştırma hareketi ve dikiş genişliği arasındaki farklar Şekil 1.24’ de şematik olarak görülmektedir. A-TIG kaynağında kullanılan tozlar bu farkı oluşturmaktadır. A-TIG kaynağında, ark genişliği azalmakta olup, sıvı metal, dikiş derinliği doğrultusunda hareket etmektedir. Bu temel iki fark A-TIG kaynağında kaynak nüfuziyetini arttırırken, dikiş genişliğini de azaltmaktadır. A-TIG kaynağında etkin olan mekanizmalar aşağıda açıklanmıştır (Şekil 1.23). [20,38]



Şekil 1.23. TIG ve A-TIG kaynağında karıştırma hareketi ve dikiş genişlikleri [20]

##### 1.4.1. Marangoni yüzey gerilim kuvvetleri

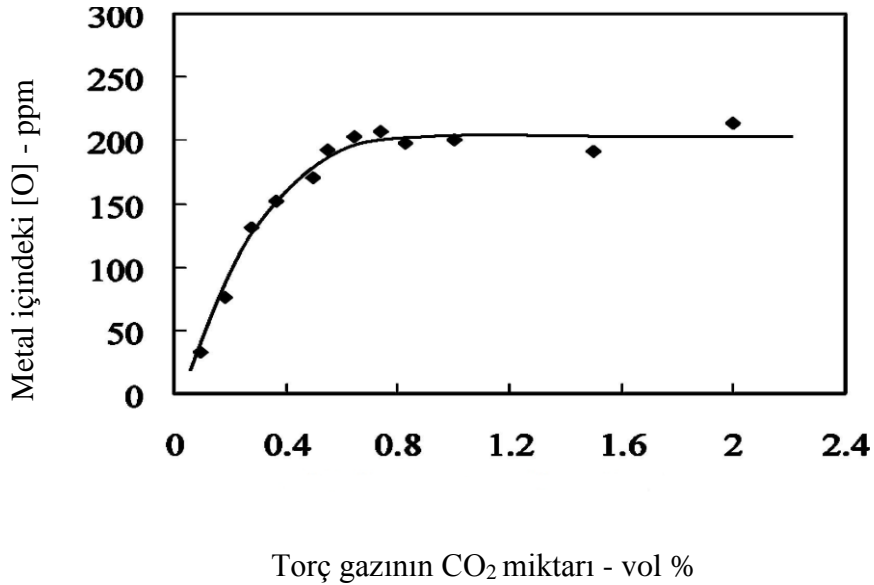
Bu kuvvet kısaca M harfi ile gösterilir. Kaynak bölgesindeki sıvı havuzun merkez ve kenarlarındaki sıcaklık farkı ve sıvı metalde çözülmüş yüzey aktif element miktarına bağlı olarak iki ayrı karıştırma hareketinden biri oluşmaktadır. Yüzey gerilimine bağlı olan karıştırma hareketi yüzey enerjisi yüksek olan noktadan yüzey enerjisi düşük olan noktaya sıvı metal hareketini sağlar. Hareketin yönünü sıvı yüzey geriliminin sıcaklık katsayısı tayin eder ( $\delta\gamma/\delta T$ ). Sıcaklık (T) arttıkça yüzey gerilimi ( $\gamma$ ) azalırsa  $\delta\gamma/\delta T$  negatif aksi durumda ise pozitif olur. Sıvı metal havuzunu ele alırsak kenarlar soğuk, merkez ise sıcaktır.  $\delta\gamma/\delta T$  negatif ise yani sıvı metal havuzunda yüzey gerilimi merkezde yüksek ve kenarlarda düşük ise merkezden kenara doğru metal hareketi meydana gelir. Bkz. Şekil 1.24 [39,40]



Şekil 1.24. Marangoni kuvveti tesiri ile kaynak metalinde metal hareketi [40]

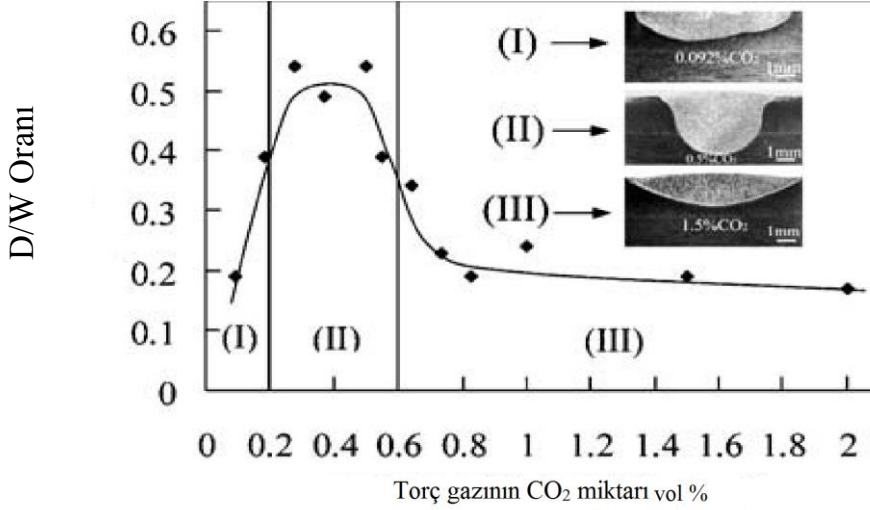
- A)  $\delta y/\delta T$  negatif, yüzey aktif elementi az olan kaynak metali  
 B)  $\delta y/\delta T$  pozitif, yüzey aktif elementi fazla olan kaynak metali

Japonyada yapılan çalışmalarda, klasik TIG kaynağında koruyucu gaz olan argon içine  $\text{CO}_2$  veya  $\text{O}_2$  ilave edilmiştir, yani karışım gazı kullanılmıştır. Bu nedenle kaynak metalinin oksijen içeriğinde değişiklik olmuştur. Torç gazının içeriğindeki  $\text{CO}_2$  miktarı %0,8' e kadar arttıkça kaynak metali oksijen miktarı artmıştır, daha sonra kaynak metali oksijeni sabit kalmaktadır. Bkz. Şekil 1.25 [39]



Şekil 1.25. Farklı  $\text{CO}_2$  içeriklerindeki kaynak metali içinde bulunan oksijen miktarı [39]

Koruyucu gazdaki CO<sub>2</sub> nedeniyle kaynak metalinde çözünen oksijenin dikiş boyutu üzerindeki etkisi Şekil 1.26' da gösterilmiştir. Torç gazında CO<sub>2</sub> miktarı % 0,3-0,5 arasındayken maksimum dikiş derinliği elde edilmektedir. CO<sub>2</sub> miktarı arttıkça dikiş derinliği azalır ve genişlik büyümektedir.

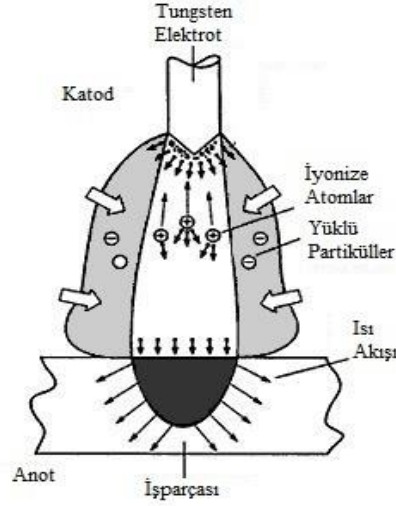


**Şekil 1.26.** Farklı CO<sub>2</sub> ilavesine göre kaynak dikişinin derinlik/genişlik oranının değişimi [38]

A-TIG kaynağında, torç gazına ilave edilen oksijen miktarının rolünü toz içindeki toz oksitler belirler. Kaynak esnasında bu oksitler parçalanıp, kaynak metaline oksijen geçişi olmaktadır[22,33].

Kaynak nüfuziyetini değiştirmek için oksit kaplamaların kullanılması, mekanizmaları değiştirmektedir. AG Simonic; CaF<sub>2</sub> ve AlF<sub>3</sub> tozlarıyla yaptığı A-TIG kaynaklarındaki toz bazlı kaynağın ark oluşum mekanizmasındaki etkilerini incelemiştir [24]. Simonic ayrıca, toz kullanarak oluşan arkin etkisinin ark içindeki yüksek sıcaklıklardan kaynaklı molekül diziliminden olduğunu deneylerinde ispatlamıştır. Simonic'in teorisi deneysel sonuçlara göre uygun görünüyorsa bile, TIG arki için bu teoriyle önerilen model, nötr atomlardan ziyade, merkezden iyonize olmuş plazma sütunu ile oluşmaktadır.

Lucas ve Howse, Simonic'in gözlemlediği ark içindeki elektron absorbe olayını incelemiştir. Bunun kaynak nüfuziyetini arttırdığını gözlemlemiştir ve TIG arkının bu mekanizmasını dört bölgeye ayırmışlardır. ( Şekil 1.27 ) [19]



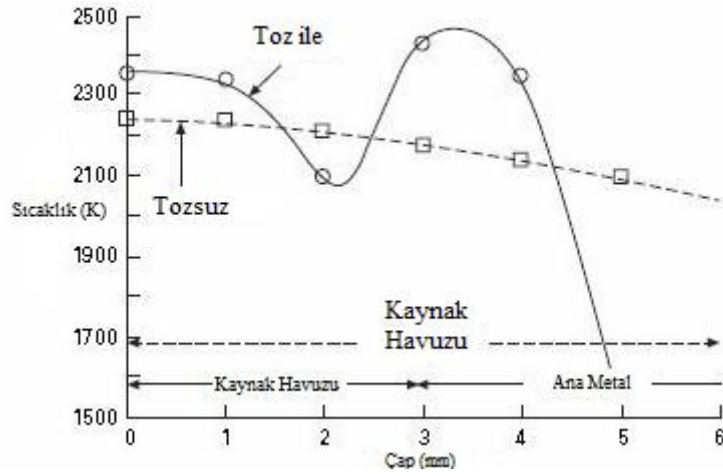
**Şekil 1.27.** Lucas ve Howse' un A-TIG prosesiyle ilgili ön gördükleri mekanizma [19]

**Plazma kolonu:** Koruyucu gazın termal iyonlaşması ile elektronlar ve iyonlar akımı taşımaktadır. Katot pozitif iyonların bombardımanı altındadır. Yüksek sıcaklık elektronların termal emisyonunu oluşturmaktadır. Anodun potansiyel azalmasının etkisinde olarak, elektronlar hızlanmakta, ama kinetik enerjileri anoda geçmektedir.

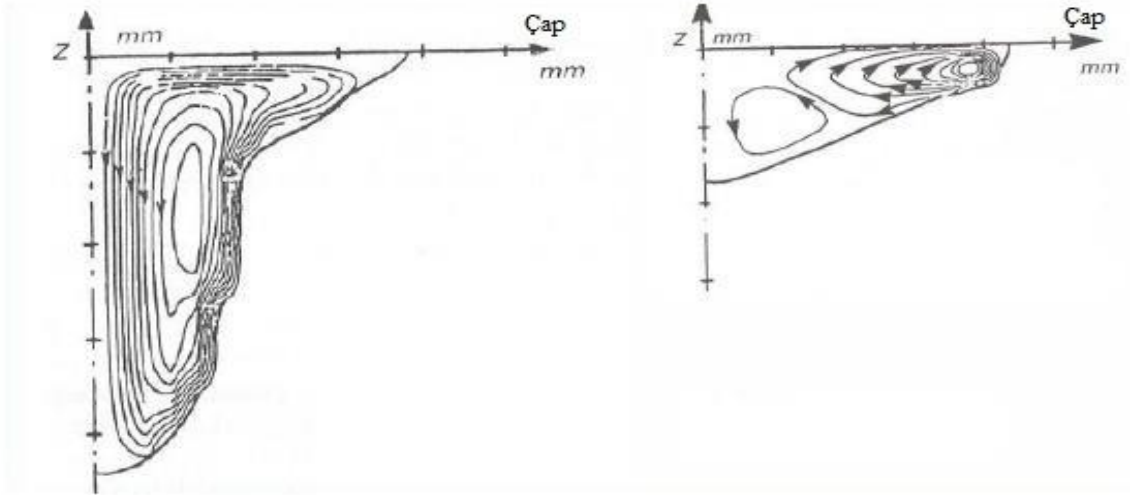
Bu şekilde prensip olarak, kaynak havuzunu oluşturacak gerekli ısı enerjisi, yüzey tarafından emilen elektronlar sayesinde olmaktadır. Yüzeyde oluşan ısının miktarı, anot tarafındaki açığa çıkan enerjiye bağlıdır. Ark oluşumundaki akım yoğunluğu ve yüksek ark voltajının artışı, anot tarafındaki sıcaklığı da arttırmaktadır.

Buharlaşan toz, arkın dış bölgelerindeki elektronları yakalamaktadır. Bu elektron abzorbe olayı, buharlaşan moleküllerin ve serbest dolaşan atomların negatif yüklenmesiyle olmaktadır. Elektron birleşmesi, düşük elektrik alanındaki ve soğuk bölgelerde olmaktadır. Arkın merkezinde, yüksek elektrik akımının, yüksek sıcaklıkların, yüksek enerjili atomların arkın merkezinde bulunmasından dolayı, iyonlaşma olmaktadır. Arkın orta bölgesinde akım hareketinin yoğunluğu plazma bölgesinde artmaktadır. Bu da anotta daha geniş ve de derin kaynak havuzu oluşturmaktadır. Belirtilen bu mekanizma, Simonic'in gözlemleriyle de uygunluk göstermektedir. Yukarıda yazılanlara uygun olarak, farklı ark plazma teknikleriyle yapılan A-TIG kaynaklarında koruyucu gazın iyonlaşma kabiliyeti artırılarak ve de yüksek akımlar kullanılarak, kaynak nüfuziyetinin arttığı görülmüştür.

Şekil 1.28’de ise TIG ve A-TIG kaynağında, sıvı metal yüzey sıcaklığının dağılımını görmekteyiz. Şekil üzerinde toz içeren A-TIG, toz olmayan ise TIG kaynağına ait olarak gösterilmektedir. A-TIG kaynağında 100°C kadar daha fazla sıcaklık bulunmaktadır. Klasik TIG kaynağında kaynak havuzu yarıçapı 6 mm iken A-TIG’de kaynak havuzu yarıçapı sadece 3 mm olmaktadır. A-TIG’ de kaynak havuzu daha dar olduğundan ve de sıcaklık daha yüksek olduğundan sıcaklık gradyeni daha büyük olmaktadır. Bu nedenle de karıştırma hızı çok daha yüksek olmaktadır. (Bkz. Şekil 1.29)

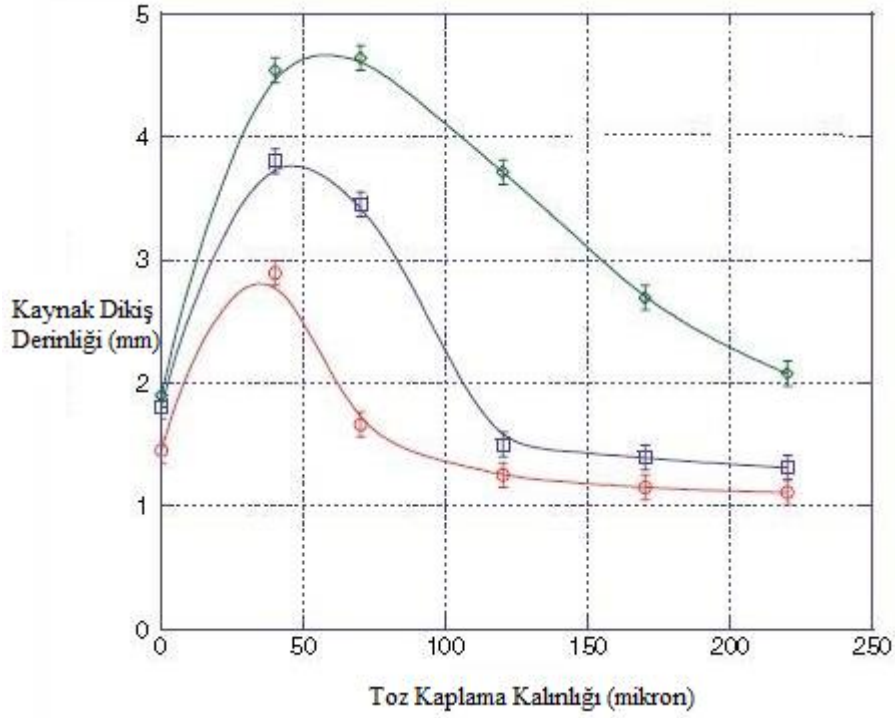


Şekil 1.28. TIG ve A-TIG kaynaklarında sıvı metal yüzey sıcaklık dağılımı [16]



Şekil 1.29. TIG ve A-TIG kaynaklarında sıvı metal üzerindeki Marangoni karıştırma hızının gösterimi, A-TIG sol, TIG sağ. [14]

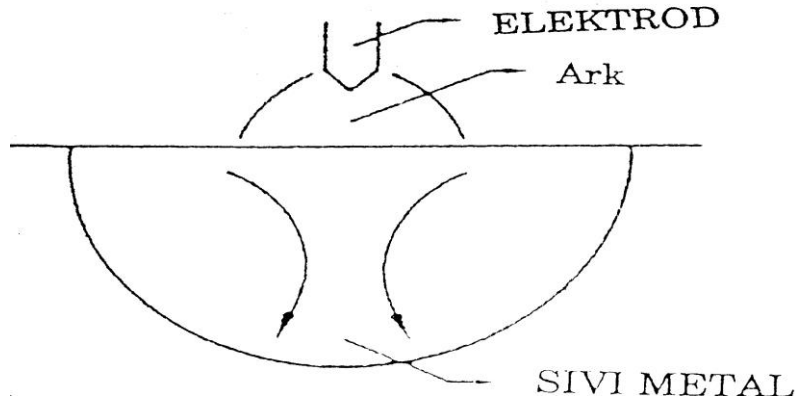
Şekil 1.30' da, A-TIG kaynağında kullanılan tozların kaplama kalınlıklarına göre, farklı kaynak akım şiddetleri neticesinde oluşan kaynak havuzu derinlikleri gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, elde edilen maksimum kaynak derinlikleri hep belirli bir kaplama kalınlığı değerlerine tekabül etmektedir. Bu rakam 50 mikron civarında bulunmuştur.



Şekil 1.30. Toz kaplama kalınlığının kaynak dikiş derinliğine etkisi. [13]

#### 1.4.2 Lorentz kuvveti

Kaynak işlemlerinde sıvı kaynak metalinden akım geçtiği için bir manyetik alan oluşmaktadır. Bu manyetik alan ile geçen akımın karşılıklı etkileşmesi sonucunda oluşan kuvvete elektromagnetik kuvvet ya da Lorentz kuvveti (E) denir. Lorentz kuvvetinin şiddeti, akım yoğunluğu ile manyetik akımın yoğunluğuna bağlıdır. Lorentz kuvveti sıvı metalin merkezinden derinliğe doğru metal karıştırma hareketi yaptırır.



**Şekil 1.31.** Lorentz Kuvvetinin şematik gösterimi [40]

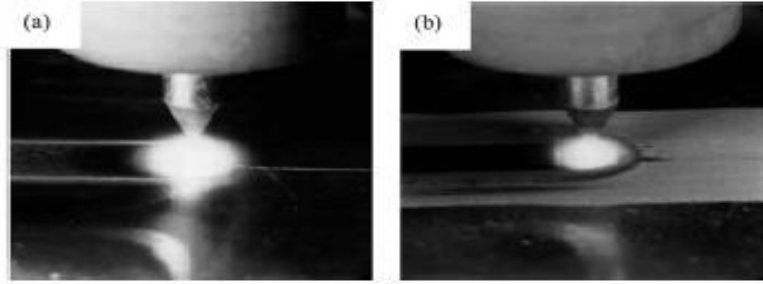
Yapılan çalışmalarda A-TIG kaynağında Lorentz kuvvetinin arttığı görülmüştür. Klasik TIG kaynağında kaynak kesiti daha geniştir. A-TIG de ise dardır. Her iki kaynak türüyle aynı akım ile yapılan kaynakta akım yoğunluğu alan ( $\text{Amper/mm}^2$ ) olarak A-TIG kaynağında daha yüksek olacaktır. Akım yoğunluğunun artışı nedeniyle bu de Lorentz kuvvetinde artış olmaktadır. Şekil 1.31’de Lorentz kuvvetinin artışı nedeniyle karışım görülmektedir [40].

### 1.4.3. Arkın daralması

Nüfuziyetin artmasında en etkili mekanizma, eriyik havuzunun yüzey gerilmesinden daha fazla ark yapısına bağlı olmaktadır. A-TIG kaynağıyla değişik deneyler yapılmıştır. Normal TIG kaynağından daha fazla nüfuziyet sağlayan plazma prosesi incelenmiştir. CO<sub>2</sub> lazer ve elektron ışın prosesleri de incelenmiştir. Makro kesitler alınarak, kullanılan tozun sadece ark veya plazma oluştuğunda etki gösterdiği makro kesitlerle gösterilmiştir. Ark veya plazma kullanılmadığında, tozun çok az etkisi olduğu gözlemlenmiştir. TIG kaynağının nüfuziyetinde aktif toz kullanımı 1950’lerin sonunda, ilk olarak eski Sovyetler Birliği’nde EO Paton Elektrik Kaynak Enstitüsü’nde kullanılmıştır. İlk olarak Titanyum alaşımlarının kaynağında kullanılmış ve bu hususta makale yayınlanmıştır. Bu makale, 1968’de çeliklerin kullanım teknolojisinde referans olarak kullanılmıştır. Toz, kaynak işleminde kullanılan paso sayısını azalttığı ve nüfuziyeti arttırdığı için kullanılmıştır. Tek pasoda 12 mm’ye kadar nüfuziyet elde edilmektedir. Yapılan araştırmalarda toz ile karışmış olan arkın konsantre enerjisi, arkın

veya kaynak havuzunun hareket mekanizmalarına göre daha fazla nüfuziyeti arttırdığı görülmüştür.

Şekil 1.32'ye bakıldığı zaman her iki kaynak türünde oluşan ark yapısı gösterilmektedir. A-TIG kaynağında ark normal TIG kaynağına göre daha dar olarak oluşmaktadır. Kaynak sırasında tozun parçalanması ile açığa çıkan iyonize atomların (artı yüklü olanlar), plazma sütununda mevcut elektronlar ile büyük kimyasal afiniteleri bulunmaktadır. Bu iyonize atomlar ile mevcut elektronların birleşmesi ile ark sütunu daralmaktadır, bu daralma nedeniyle de sıvı havuzunun çapı ufalmaktadır. (Bkz. Şekil 1.29) Arktaki daralma sıvı havuz çapını ufaltarak M ve E kuvvetlerini artırarak kaynak nüfuziyetini arttırmaktadır.



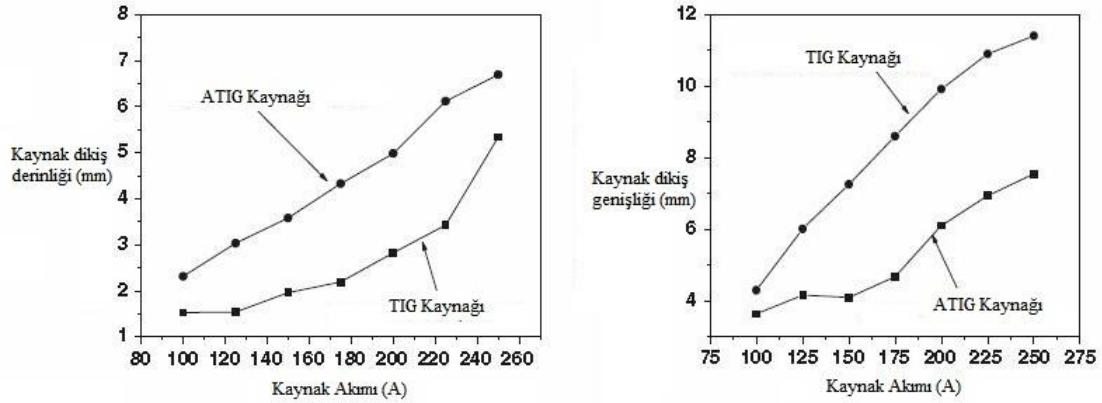
Şekil 1.32. TIG (a) ve A-TIG (b) kaynağında karakteristik ark yapısı [20]

## 1.5. Kaynak Parametrelerinin A-TIG Kaynağına Etkileri

### 1.5.1. Kaynak akımı

Kaynak akımı arttıkça kaynak havuzu derinliği artmaktadır. Bu durum Şekil 1.30' da görülmektedir. Ancak amper artırıldığında, derinlikle birlikte kaynak havuzu genişliği de artmaktadır. Şekil 1.33' ü incelediğimizde A-TIG ile klasik TIG kaynağı arasındaki fark daha detaylı olarak görülmektedir. Kaynak akımını arttırdığımızda A-TIG kaynağında kaynak havuzu derinliği düşük akımlarda da hızla artış göstermektedir. TIG kaynağında ise bu artışı ancak çok daha yüksek akım değerlerinde görebilmekte olmamıza rağmen yine de havuz derinlikleri A-TIG kaynağına göre daha küçük kalmaktadır. Kaynak havuzunun genişliği açısından incelediğimizde ise TIG kaynağında kaynak akımının artışı çok hızlı bir şekilde kaynak havuzunun genişliğini

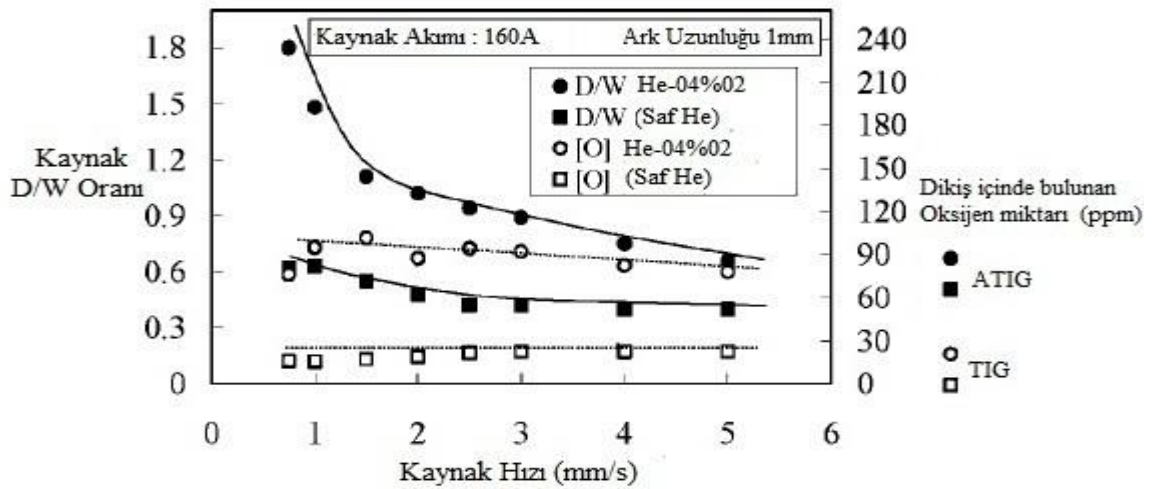
arttırmaktadır ancak A-TIG kaynağında ise, kaynak havuzunun genişliğinin artışı daha düşük olmaktadır. Sonuç olarak akım artışı A-TIG kaynağında az miktarda havuz genişliğini arttırmakta olup esas önemli artış kaynak havuzunun derinliğinde olup, yüksek kaynak nüfuziyeti elde edilmektedir. Bu da A-TIG kaynağının TIG kaynağına karşı en büyük avantajı olarak görünmektedir.



Şekil 1.33. TIG (a) ve A-TIG (b) kaynağında karakteristik ark yapısı [21]

### 1.5.2 Kaynak ilerleme hızının etkisi

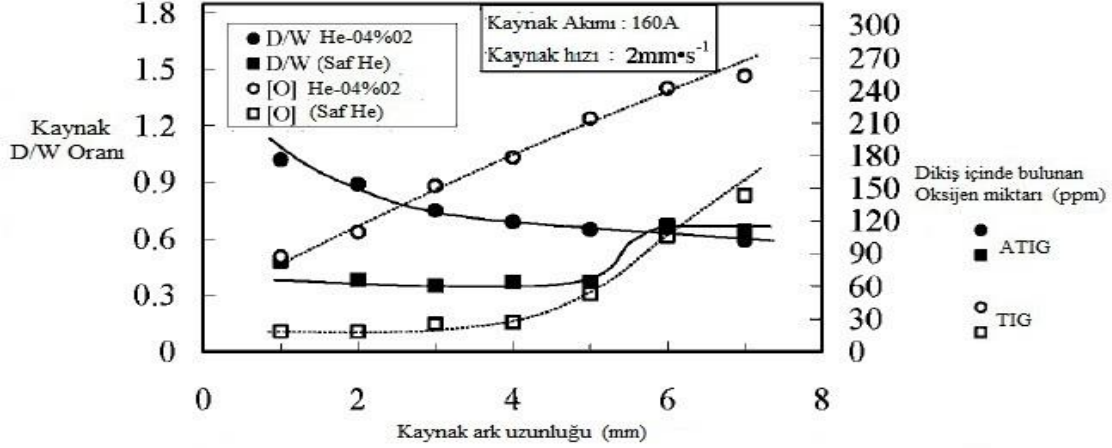
İlerleme hızı arttıkça, klasik TIG kaynağında kaynak dikişi nüfuziyetinin genişliğine oranı (D/W oranı) azalmaktadır. Torç gazına oksijen ilave edilen A-TIG kaynağında ise bahsedilen düşüş çok daha hızlı olmaktadır (Bkz. Şekil 1.34).



Şekil 1.34. Kaynak hızının ve ilave oksijen miktarının D/W oranına etkisi [22]

### 1.5.3 Ark uzunluğu etkisi

Ark uzunluęu arttıka, oksijen ilaveli kaynakta D/W oranı sürekli dűşmektedir (Bkz. 1.35).



Şekil 1.35. Kaynak ark uzunluğunun ve ilave oksijen miktarının D/W oranına etkisi [22]

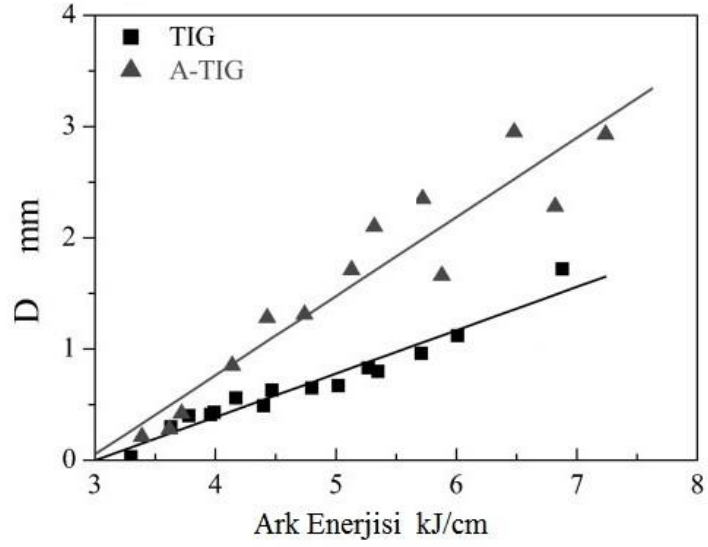
### 1.5.4. Ark enerjisinin etkisi

Ark enerjisi aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır.

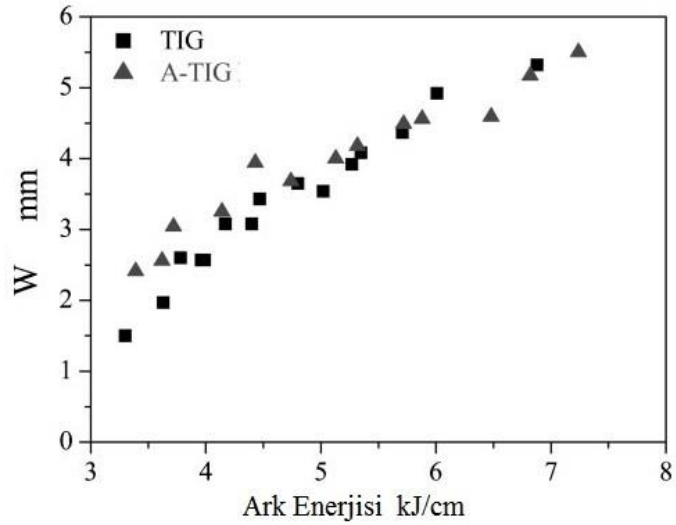
$$E = (U \times I / V) \times f \text{ [ J / cm]}$$

Bu bağıntıda, 'I' akım [A], 'U' ark gerilimi [Volt], 'V' kaynak ilerleme hızı [cm/dk] ve 'f' kaynağın ısıl verimini simgelemektedir. Aşağıdaki şekillerde ark enerjisinin, TIG kaynağı ve A-TIG kaynağında etkileşimleri gösterilmiştir. Ark enerjisi arttırıkça kaynak havuz derinliği artmaktadır, ancak A-TIG kaynağının kaynak havuz derinliği TIG kaynağının havuz derinliğine göre daha fazla olarak artmaktadır (Şekil 1.36). Ancak bu artışın sebebi kaynak havuz genişliğinin artmasından dolayı değildir (Şekil 1.37). Her iki kaynak da da ark enerjisi arttıka kaynak genişliklerinin artışı birbirine yakın olmaktadır. Ark enerjisinin artışı kaynak kesit alanını arttırmaktadır ve bu artış sabit kaynak parametreleri ile yapılan deneylerde TIG kaynağına göre A-TIG kaynağında daha fazla olmaktadır. (Şekil 1.38). Sonuç olarak kaynak ark enerjisi arttırıldığı durumlarda, kaynak havuzunun derinliği de arttığından dolayı nűfuziyet artışı elde

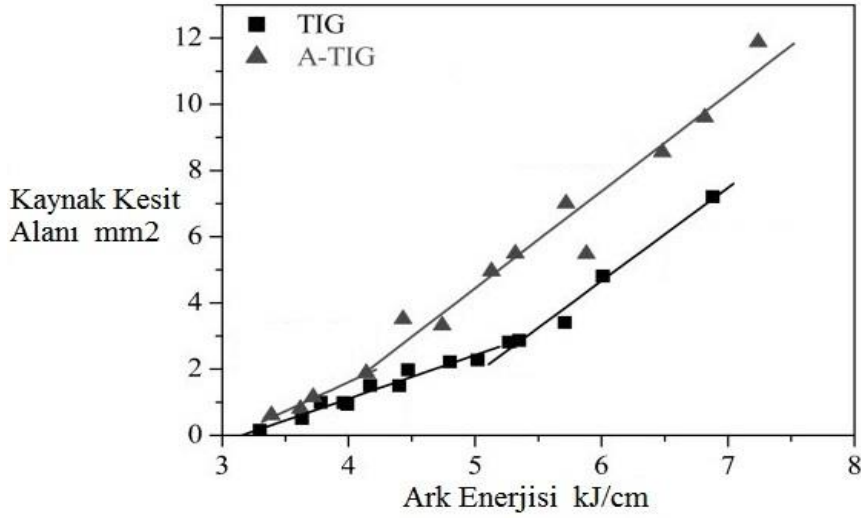
edilmekte olup, uygulanacak kaynak işlemlerinde kaynak paso sayısını azaltılması söz konusu olabilmektedir.



Şekil 1.36. TIG ve A-TIG’te kaynak havuzu derinliği – ark enerjisi etkileşimi [24]



Şekil 1.37. TIG ve A-TIG’te kaynak havuzu genişliği–ark enerjisi etkileşimi [24]



Şekil 1.38. TIG ve A-TIG’te kaynak kesit alanının ark enerjisine göre etkileşimi [24]

### 1.6. A-TIG Kaynağının Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Kaynaklara uygulanan gerilme ve bükme deneylerinde, A-TIG kaynağının en az TIG kaynağı kadar mükemmel olduğu görülmüştür.

A-TIG kaynağının avantajları aşağıda belirtilmiştir [21,32].

- 1- Bu yeni yöntem, tek pasoda daha kalın plakaların daha yüksek kaynak hızıyla ve daha az ısı girdisiyle kaynatılmasına imkan vermektedir.
- 2- Bu yöntemle üretilebilirliğin artmasının yanında, dolgu telinin daha az kullanımı sağlanmıştır.
- 3- A-TIG ile yapılan kaynak bağlantıları, TIG kaynak yöntemine göre daha az kalıntı gerilme içermektedir. (%70 ten daha az ) Aynı zamanda, kaynak bağlantıları çarpılmaya maruz kalmamaktadır.
- 4- Sürünme kopması ömrü oldukça fazla artmaktadır. ( % 75 ten fazla )
- 5- Üretim maliyetleri çok düşmektedir. ( %50 den fazla )
- 6- Bu kaynak yönteminde X kaynak ağzı hazırlanarak, parça 25 mm kalınlığa kadar çift taraflı kaynatılabilmektedir.

## 1.7. Çeliklerde A-TIG Kaynak Uygulamaları

### 1.7.1 Alaşimsız çeliklerde A-TIG uygulamaları

Alaşimsız çelikler ile ilgili mevcut tek bir yayın bulunmaktadır [26]. Bu yayından elde edilen bilgiler, grafikler halinde aşağıda verilmiştir.

Grafığın düşey eksenini ( $H/H_0$ ) nüfuziyet oranı olarak tespit edilmiştir.  $H_0$ , klasik TIG kaynağı sonucunda elde edilen nüfuziyet derinliğidir.  $H$  ise, A-TIG kaynağında elde edilen nüfuziyet derinliğidir.

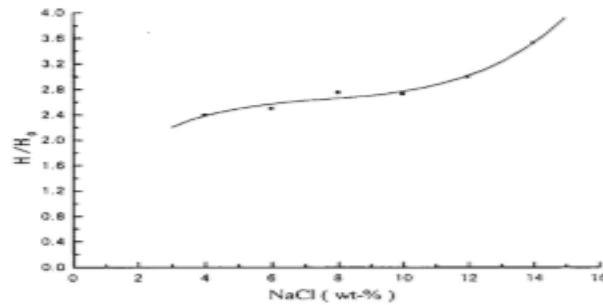


Şekil 1.39. A-TIG kaynağında toz cinsinin nüfuziyete etkisi [26]

(1)  $TiO_2$ , (2)  $SiO_2$ , (3)  $Cr_2O_3$ , (4)  $CaF_2$ , (5)  $NaCl$

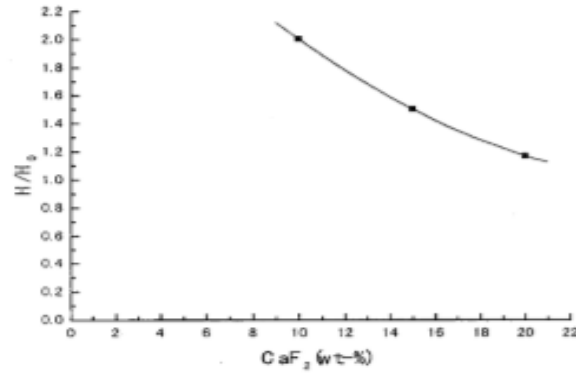
Şekil 1.39'da toz olarak kullanılan toz cinsinin nüfuziyet oranına etkisi görülmektedir. En büyük nüfuziyet  $Cr_2O_3$  tozu ile elde edilirken,  $NaCl$  en küçük değeri vermektedir.

Toza  $NaCl$  ilavesinin etkisi Şekil 1.40'da görülmektedir. Tozda  $NaCl$  oranı %3' ten %15' e çıkarıldıkça, nüfuziyet artmaktadır.



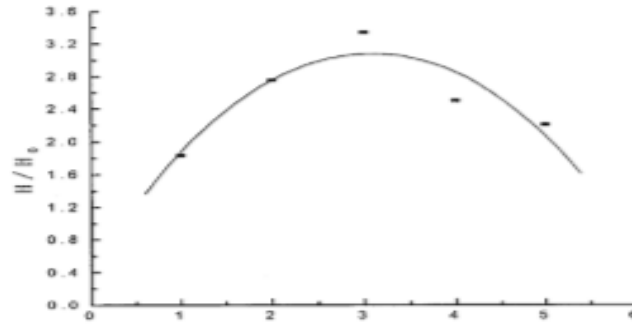
Şekil 1.40. Tozda  $NaCl$  oranının nüfuziyete etkisi [26]

Tozda CaF<sub>2</sub> oranının nüfuziyeti azalttığı ise, Şekil 1.41’de görülmektedir.



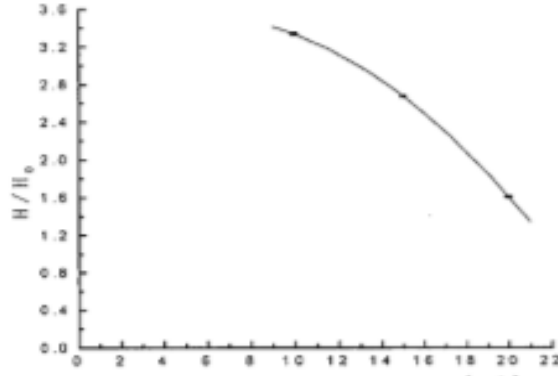
Şekil 1.41. Tozda CaF<sub>2</sub> oranının nüfuziyete etkisi [26]

Ark uzunluğunun nüfuziyet etkisi, Şekil 1.42’ de görülmektedir. Optimum nüfuziyet, 3mm ark uzunluğunda elde edilmiştir.



Şekil 1.42. A-TIG kaynağında ark boyunun nüfuziyete etkisi [26]

Toz kalınlığının etkisi ise, Şekil 1.43’ te görülmektedir. Toza karıştırılan aseton oranı arttıkça toz kalınlığı azalmakta ve dolayısıyla nüfuziyet de azalmaktadır.

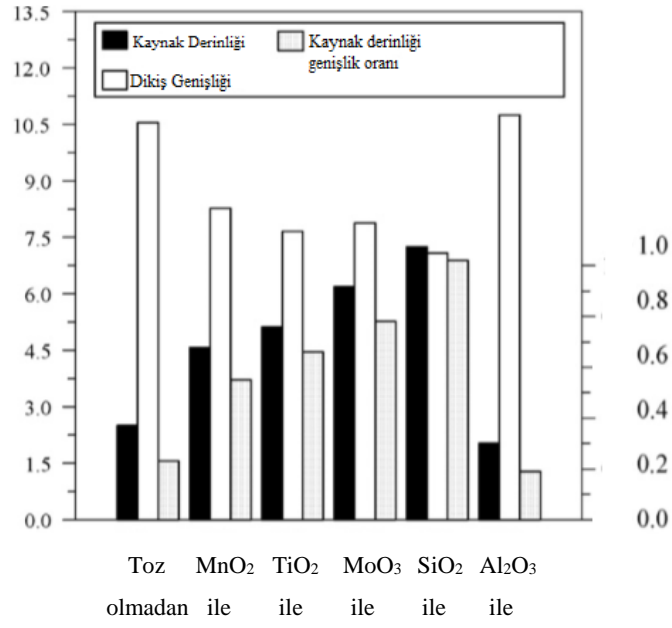


Şekil 1.43. A-TIG kaynağında toz kalınlığının nüfuziyete etkisi [26]

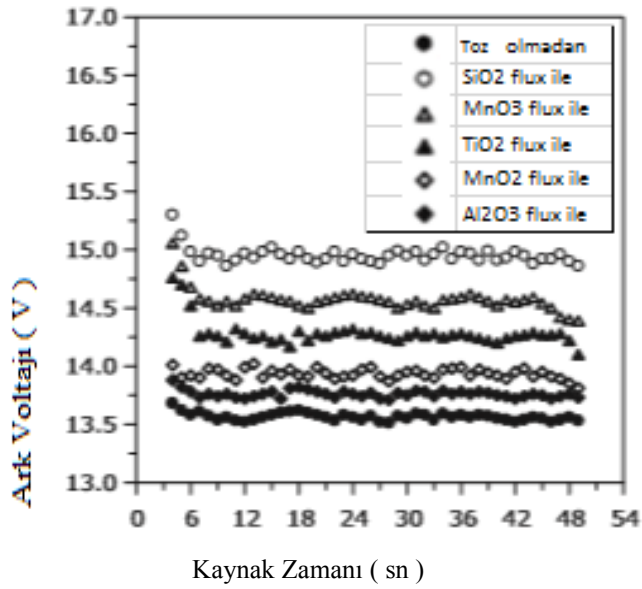
### 1.7.2 Ostenitik paslanmaz çeliklerde A-TIG uygulamaları

Tseng ve HSU'nun 316 L paslanmaz çeliklere yaptıkları TIG ve A-TIG kaynak deneylerinden elde ettikleri sonuçlar aşağıda açıklanmıştır [27].

Tek tip toz kullanılması halinde elde edilen dikişlerin boyutları Şekil 1.44' te özetlenmiştir. Klasik TIG ile A-TIG kaynak etkileri, bu grafikte açıkça özetlenmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu hariç bütün tozlar dikiş nüfuziyetini artırırken, dikiş genişliğini azaltmaktadır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozunun A-TIG kaynağında olumlu tesiri olmadığı, başka araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir [17-18] [31-32]. Toz çeşitlerinin A-TIG sonuçları üzerinde çok etkili olduğu, Şekil 1.44'te açıkça görülmektedir. Toz çeşitlerinin ark gerilimi üzerinde etkisi ise Şekil 1.45'te görülmektedir. Klasik TIG'de ark gerilimi toz cinsi ile artmaktadır. En büyük gerilim SiO<sub>2</sub> tozu ile elde edilirken, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozunda ise ark geriliminin sabit kaldığı görülmektedir.

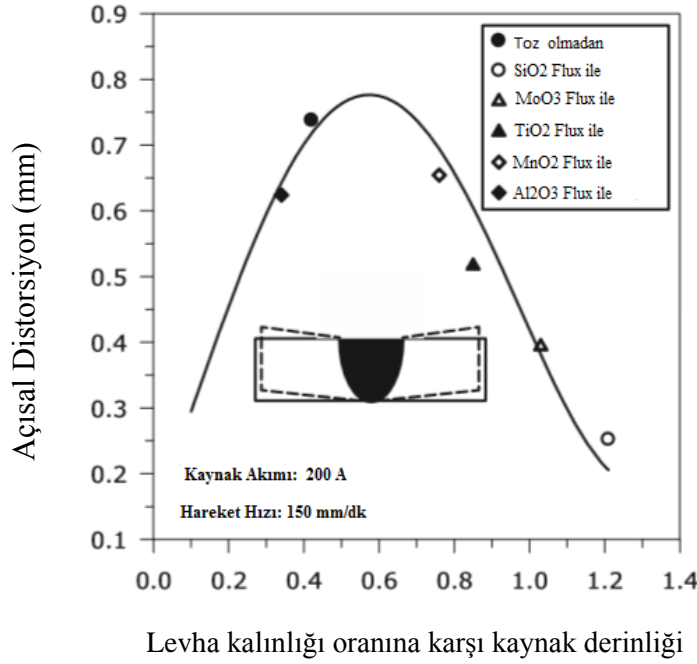


Şekil 1.44. A-TIG kaynağında toz kalınlığının nüfuziyete etkisi [27]



Şekil 1.45. Ark gerilimi üzerinde toz etkisi [28]

Alın kaynaklarında açılma çarpılma deney sonuçları Şekil 1.46'da görülmektedir.



Şekil 1.46. Tozun açısal çarpılma üzerindeki etkisi [27]

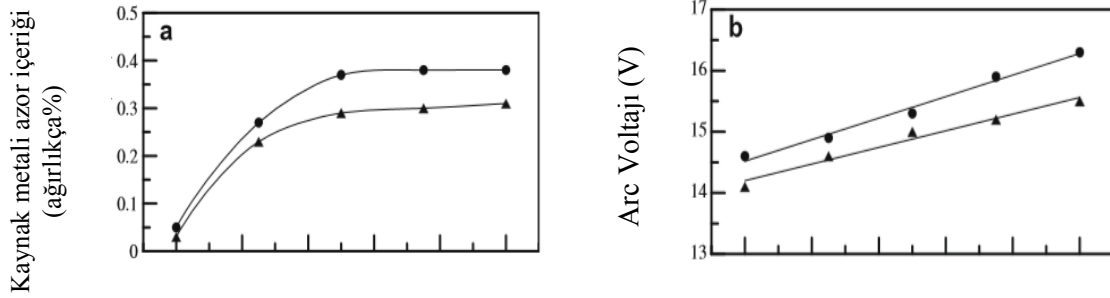
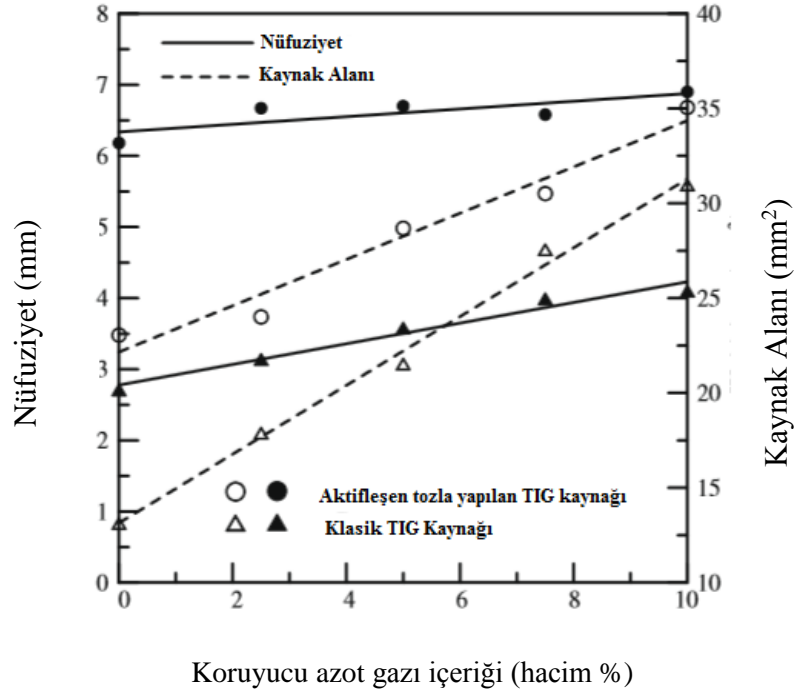
Klasik TIG’de en büyük çarpılma elde edilirken A-TIG kaynaklarında çarpılma daha az olmaktadır. A-TIG kaynaklarında kaynak genişliği ve büzülme gerilmeleri daha az olduğundan, çarpılma azalmaktadır [29]. Ostenitik paslanmaz çelikler ile yapılan deneylerde, A-TIG kaynağının klasik TIG’ e nazaran çarpılmayı azalttığı, diğer araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir [28] [30].

Lemonte ve arkadaşları [15] 304L ostenitik paslanmaz çelik saclara farklı metaloksit tozu kullanarak A-TIG uygulaması yapmışlardır. Tozun ergime sıcaklığını tozun parçalanmasında açığa çıkan oksijen miktarını, tozun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin A-TIG kaynak dikiş boyutunu tayin ettiğini tespit etmişlerdir.

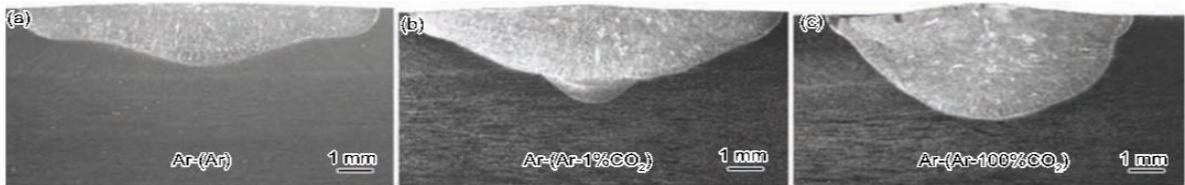
Lemonte ve arkadaşları [24] florür içeren tozların 304L ostenit paslanmaz çeliklerinin A-TIG kaynağındaki etkilerini araştırmışlardır. Florür tozların fiziksel özelliklerinin A-TIG kaynağında etkin olduğunu tespit etmişlerdir.

TIG kaynaklarının statik özelliklerini koruma, gaz cinsine bağlı olarak değişir (Şekil 1.47a). Bu diyagram yalnızca saf gazlar için geçerlidir. Ancak, kaynakta saf gaz yerine karışım gazı kullanılırsa, ark statik özelliği değişir (Şekil 1.47b). Argon gazına O<sub>2</sub> [39], CO<sub>2</sub> [38], H [36] ve N [37] gazı karıştırılarak yapılan deneylerde, sabit sıcaklıkta

gerilim düşmesinin saf gazdan farklı olduğu tespit edilmiştir. Gaz karışımına bağlı olarak TIG kaynak dikiş geometrisinde de değişiklik meydana geldiği tespit edilmiştir. Koruma gazında CO<sub>2</sub> oranına göre 304 TIG kaynak geometrisinin değişimi Şekil 1.48’de görülmektedir.

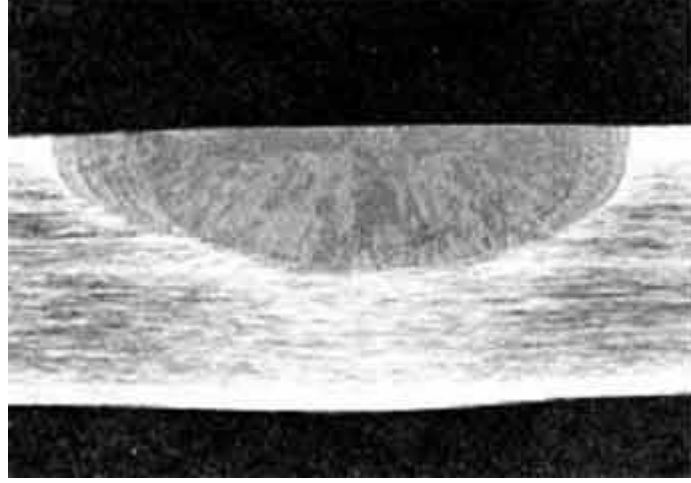


Şekil 1.47. Nüfuziyet ve kaynak kesit alanına azot ilavesinin etkisi [33]



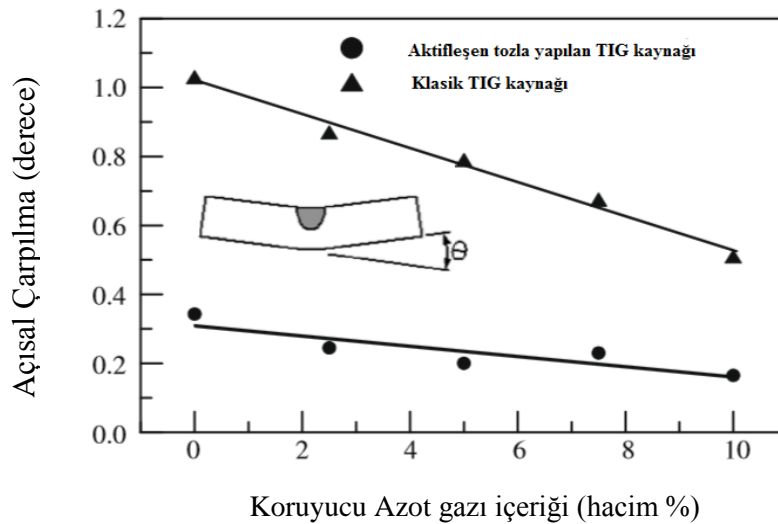
Şekil 1.48. Koruma gazında CO<sub>2</sub> miktarına göre kaynak geometrisi değişimi [38]

TIG ve A-TIG kaynaklarında He-Ar gaz karışım kompozisyonunun dikiş nüfuziyet derinliği üzerindeki etkisi, Şekil 1.49'da görülmektedir. %75 He-%25 Ar koruyucu gaz karışımı, hem A-TIG hem de TIG kaynağında en büyük nüfuziyeti sağlamaktadır.



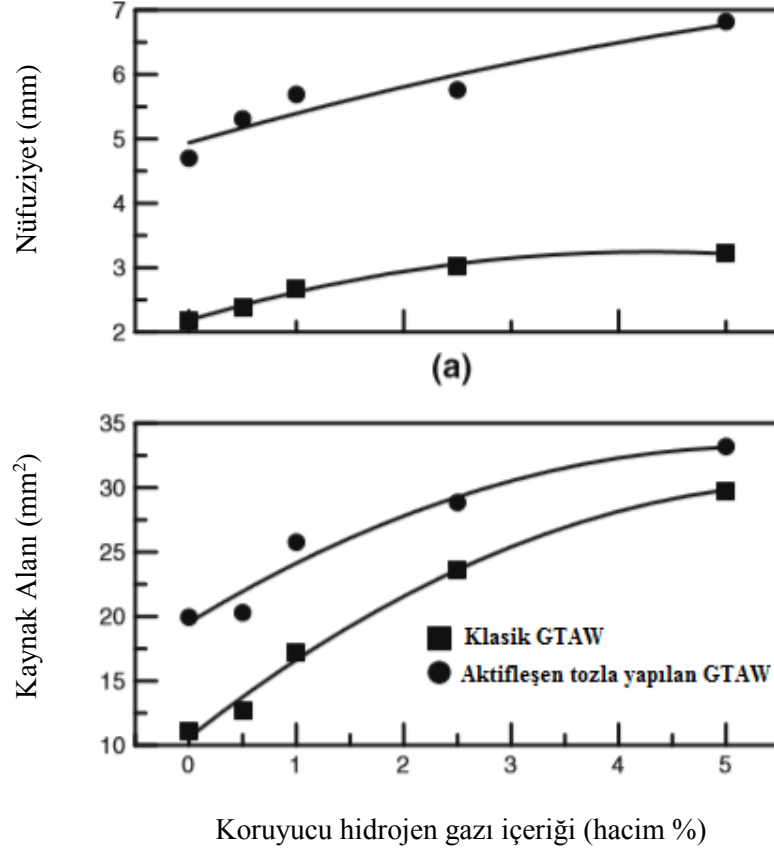
Şekil 1.49. %75 He-%25 Ar koruyucu gaz karışımının nüfuziyet derinliği üzerindeki etkisi [19]

Huang [33], 304 saclara uyguladığı TIG ve A-TIG kaynaklarında kullandığı Argon gazına azot ilavesi yapması halinde, kaynak kesit alanının ve dikiş nüfuziyetinin arttığını tespit etmiştir (Şekil 1.47). Argon içerisine ilave edilen azot gazının, kaynakta çarpılmayı azalttığını tespit etmiştir (Şekil 1.50).



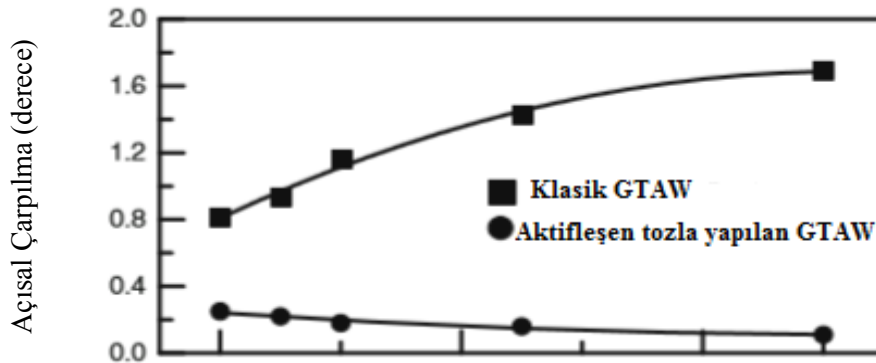
Şekil 1.50. Azot gazının kaynakta çarpılmaya etkisi [33]

Huang [34], yaptığı diğer bir çalışmada argona hidrojen karıştırmıştır. Gaz karışımında hidrojen oranı arttıkça, dikiş kesiti ve nüfuziyet derinliği artmıştır (Şekil 1.51).



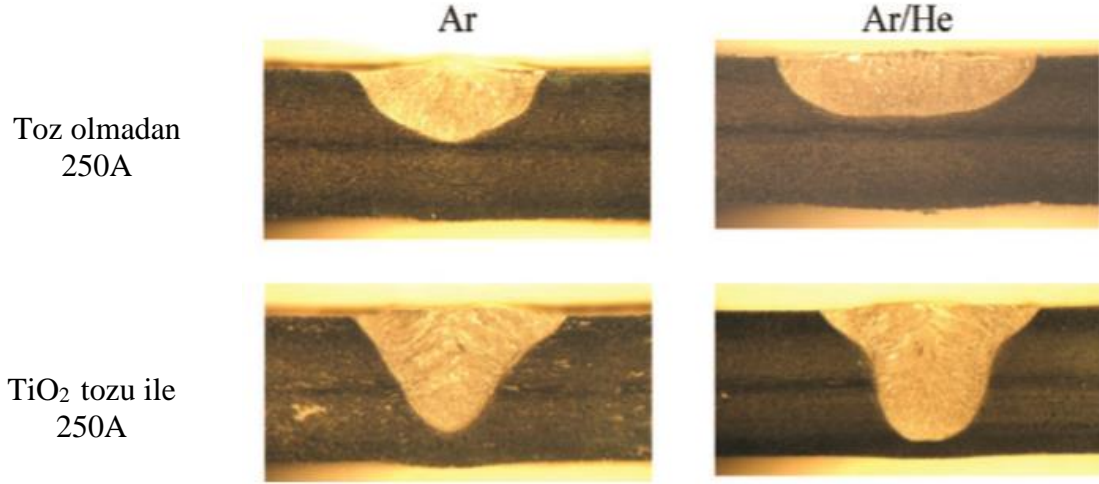
Şekil 1.51. Ar gazı içindeki H oranının nüfuziyet derinliği ve kaynak alanına etkisi [34]

Hidrojen oranı klasik TIG’te çarpılmayı artırırken, A-TIG kaynağında çarpılmayı azaltmıştır (Şekil 1.52).



Şekil 1.52. Argon koruyucu gazı içindeki Hidrojen oranının açısal çarpılmaya etkisi [34]

Loureiro ve arkadaşları, 316 çeliklerine %100 Ar ve %50 Ar-%50 He gazı ile TIG ve A-TIG kaynağı yapmıştır [35]. Deney sonuçları Şekil 1.53’ te görülmektedir.



**Şekil 1.53.** Kaynak geometrisi üzerine koruyucu gaz ve aktif toz etkisi [35]

Helyum gazı, kaynak metali kesitini büyütüştür. Klasik TIG’te kaynak genişliği önemli oranda artmıştır. A-TIG kaynağında nüfuziyet derinliği az miktarda artmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan deneylerde paslanmaz çelik saclar üzerine toz sürülmeden ve  $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$  ile  $Fe_2O_3$  tozları sürülerek, TIG kaynağı yapılmış ve bu tozların kaynak dikiş derinliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tozların karışım oranı Tablo 2.1’de görüldüğü gibidir. Tozlar etanol ile karıştırılarak fırça yardımıyla parça yüzeyine sürülmüştür.

**Tablo 2.1.** Tozların karışım miktarları

Toz Cinsi	Toz Miktarı (gr)	Etanol (ml)	Parça Numarası
$SiO_2$	4.5	100	14-19
$Fe_2O_3$	10	32	27-28
$CaO$	10	32	23-24
$TiO_2$	10	32	25-26

### Deney 1

Bu deneyde kullanılan kaynak parametreleri şu şekildedir.

Kaynak Akımı: 105 A

Ark yüksekliği: 2 mm

Ark hızı: 4 mm/sn

16 numaralı parça yüzeyine herhangi bir toz sürülmeden, çıplak numuneye A-TIG kaynağı yapılmıştır.

14 / 24 / 26 / 27 numaralı parçalara ise tabloda görülen tozlar eşit miktarlarda sürülerek, yeterli süre kurumaya bırakılmıştır.

Parça yüzeyindeki alkol buharlaşıp, parça kurduktan sonra, belirlenen kaynak parametreleri ayarlanarak parça yüzeylerine kaynak işlemi uygulanmıştır.

## Deney 2

Bu deneyde kullanılan kaynak parametreleri Şu Şekildedir.

Kaynak Akımı: 160 A

Ark yüksekliği: 2 mm

Ark hızı: 4 mm/sn

18 numaralı parça yüzeyine herhangi bir toz sürülmeden, çıplak yzeyeye A-TIG kaynağı yapılmıştır.

19 / 23 / 25 / 28 numaralı parçalara ise yukarıdaki Şekilde görülen tozlar eşit miktarlarda sürülerek, yeterli süre kurumaya bırakılmıştır.

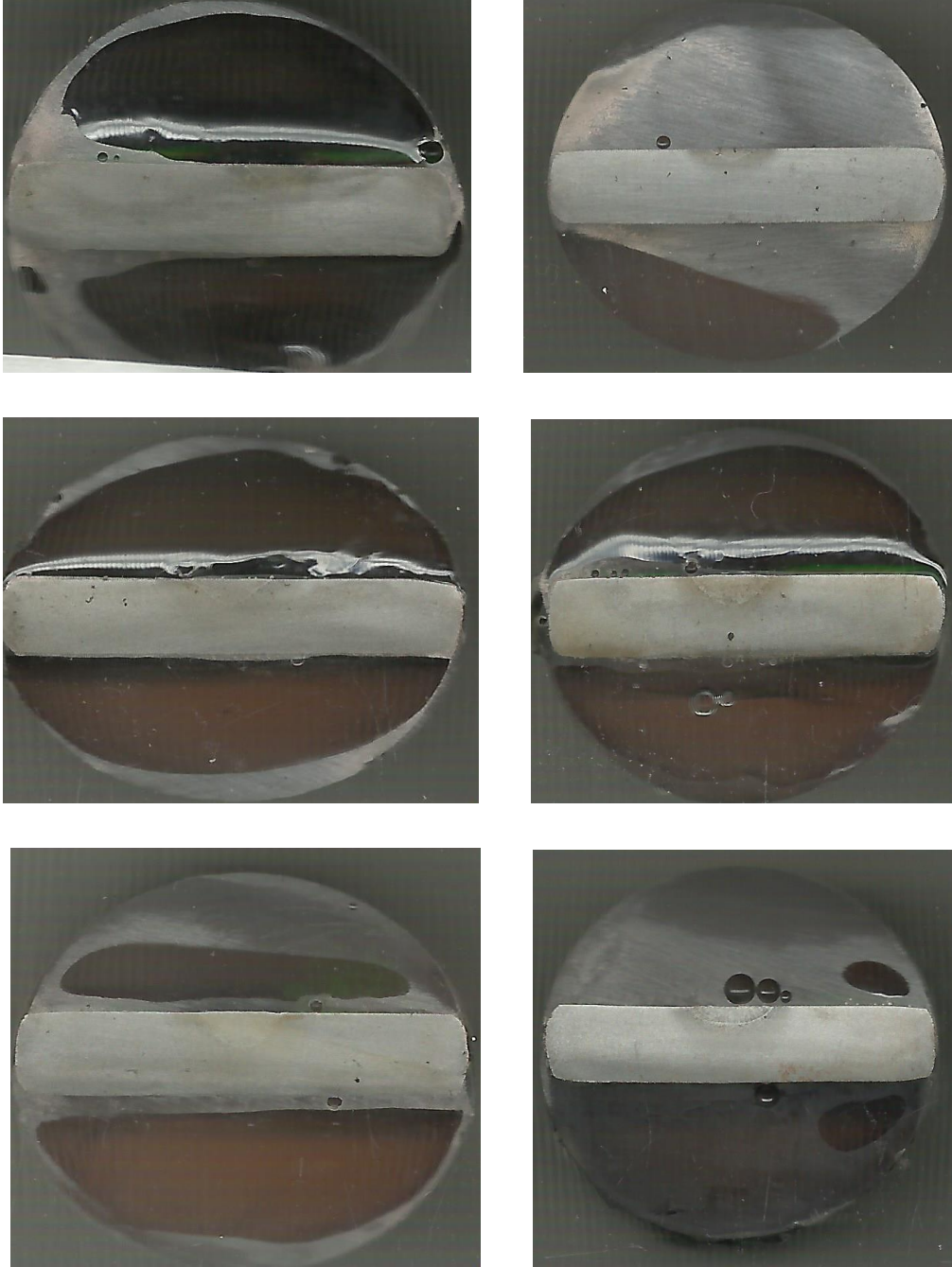
Parça yüzeyindeki alkol buharlaşıp, parça kuruduktan sonra, belirlenen kaynak parametreleri ayarlanarak parça yüzeylerine kaynak işlemi uygulanmıştır.

Her iki deney sonrasında, parçalardan ortasından eşit uzunlukta kesitler alınmıŐtır. Numune yan yüzeyleri yeterli miktarda zımparalandıktan sonra, parçalar bakalit ile kaplanmış ve kurumaya bırakılmıştır.

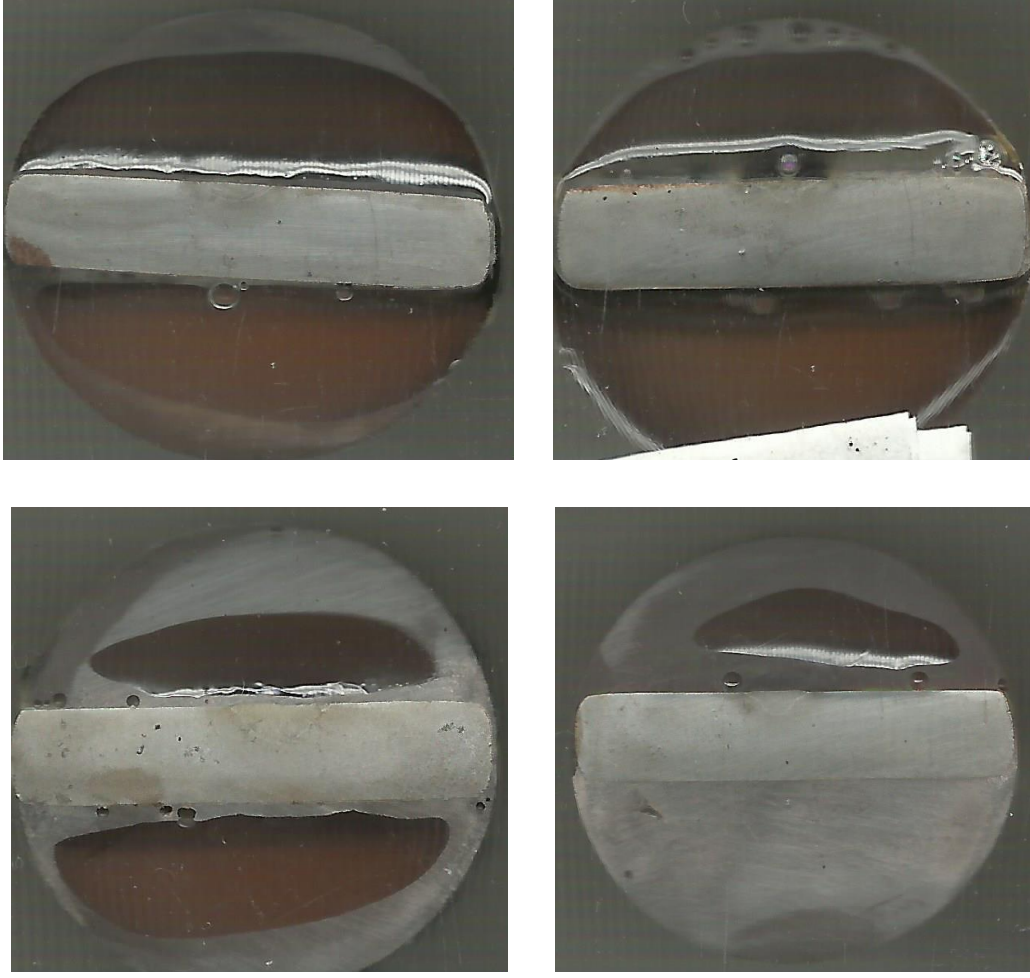
Daha sonra bakalite alınan numunelerin yüzeyleri sırasıyla 600, 800, 1000 ve 1200 kum zımpara ile zımparalanmıştır. Hazırlanan yüzeyler %8 nital ile dağlanarak makro görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntüler optik mikroskopta incelenmiştir. Dikiş yüzey görüntüsü yzerinden olmler yapılarak dikiş nüfuziyet derinliği ve dikiş genişliği ollmŐr.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üzerinde ölçüm yapılan yüzeylerin görüntüleri Şekil 3.1' deki gibidir.



Şekil 3.1. Kaynak yüzeylerinin son görünümü



**Şekil 3.1.** “devam” Kaynak yüzeylerinin son görünümü

Parçalara uygulanan zımparalama işlemi sonrasında kaynak yüzeyleri %10 nitelle yakılmıştır. Kantitatif metalürji yöntemleriyle dikiş genişliği ile dikiş derinliği ölçülmüş ve sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

**105 Amper kaynak deneylerinde dikiş derinlik değerleri ( D, mm )**

Tozsuz	SiO <sub>2</sub> tozu	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tozu	CaO tozu	TiO <sub>2</sub> tozu
0,9	1,2	1,3	1	0,9

**160 Amper kaynak deneylerinde dikiş derinlik değerleri ( D, mm )**

Tozsuz	SiO <sub>2</sub> tozu	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tozu	CaO tozu	TiO <sub>2</sub> tozu
1,7	1,8	2,1	1,1	1,9

### 105 Amper kaynak deneylerinde dikiş genişlik değerleri ( W, mm )

Tozsuz	SiO <sub>2</sub> tozu	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tozu	CaO tozu	TiO <sub>2</sub> tozu
2,8	3,5	3,5	3,8	3,8

### 160 Amper kaynak deneylerinde dikiş genişlik değerleri ( W, mm )

Tozsuz	SiO <sub>2</sub> tozu	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tozu	CaO tozu	TiO <sub>2</sub> tozu
4,4	5,1	4,7	5,1	5,2

Deney 1' de 105 Amper olan kaynak akımı, Deney 2' de 160 Ampere çıkartılınca ark enerjisi arttığından, tozlu ve tozsuz kaynakların dikiş kesidi büyümüştür. Buna bağlı olarak dikişlerin nüfuziyet derinliği ve genişliği artmıştır.

105 Amper deneylerinde TiO<sub>2</sub> ve CaO tozunun dikiş derinliğini arttırmadığı ama genişliği arttırdığı tespit edilmiştir. SiO<sub>2</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları ise hem derinliği hem de genişliği arttırmıştır. 160 Amper deneylerinde de benzer trendler saptanmıştır.

#### 4. SONUÇ

Literatürde kaynak dikişinin daraldığı söylene de, yapılan deneyler sonunda kaynak dikişinin genişlediği sonucuna ulaşılmıştır.

Deney sonuçlarında elde edilen değerler gözönünde bulundurulduğunda, kaynak dikişi derinliği üzerinde CaO tozunun etkisinin en az, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozunun etkisinin ise en fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Gedik Eğitim Vakfı,: “IIW Kaynak Mühendisliği Eğitim Notları”, İSTANBUL, (2009).
- [2] Kurt, H. İ.: “TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikro yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL, (2006),
- [3] Vural, M.: Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Kitabı, İ.T.Ü, (2003)
- [4] Gözütok, E.: “Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KARABÜK, (2007)
- [5] Ertürk, İ.: “Gazaltı Kaynak Yöntemleri” , İSTANBUL, (2004).
- [6] Serdaroğlu, F.: “TIG Kaynak Yöntemiyle Boru-Flanş Kaynağında Açısız Distorsiyona Kaynak Akımı Etkisinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2010)
- [7] *www.migatronic.com*, “TIG Kaynağı”
- [8] Kaluç, E., 2004, Kaynak Teknolojisi El Kitabı- Cilt 1- Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, MMO Yayını, Yayın No:356, Ankara
- [9] Anık, S.: Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Holding Yayınları, 220s. (1991)
- [10] Hasdemir, Ü.: “ Alüminyum ve Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemiyle Kaynatılarak Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” M.Ü.F.B.E Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, (2001)
- [11] Odtü, Kaynak teknoloji merkezi, 1.08 Tungsten Asal Gaz Kaynağı
- [12] Ahmet, N.: New developments in advanced welding, (2005)
- [13] Rückert, G.: “Etude de la contribution des flux activants en soudage A-TIG: application de la silice au soudage de differents metaux et alliages”, Doktora Tezi, Nantes Üniversitesi, NANTES (2005)
- [14] Tamas S.: “A-TIG Welding of Duplex Steel”, ESAB Hungary Ltd., Transtech Publications Switzerland, (2008)

- [15] Leconte, S., Paillard, P., Saindrenan, J.: “Effect of fluxes containing oxides on tungsten inert gas welding process”, Science and Technology of Welding and Joining (2006)
- [16] Tanaka, M., Shimizu, T., Teresaki, T., Ushio, M., Koshiishi, F., Yang, C.-L., : “Effect of activating flux on arc phenomena in gas tungsten arc welding” , Science and Technology of Welding and Joining, Volume5, Number 6. (2000)
- [17] Lu, S., Fujii, H., Sugiyama, H., Tanaka, M., Nogi, K., : “Marangoni convection and welding penetration in A-TIG welding.” Joining and Welding Research Institute of Osaka University, Ibaraki, Osaka. (2003)
- [18] Lu, S., Fujii, H., Sugiyama, H., Nogi, K., : “Mechanism and Optimization of Oxide Fluxes for deep penetration in Gas Tungsten Arc Welding” Metallurgical and Material Transactions A., Volume 34A September (2003)
- [19] Howse, D.S., Lucas, W., : “ An investigation into arc constriction by active fluxes for TIG (A-TIG) welding” Science and Technology of welding and joining, Vol. 5, No. 3. Pp 189-193, United Kingdom (2000)
- [20] Vasudevan, M., Bhaduri, A.K., Raj, B., Rao, P., : “Genetic-Algorithm-Based Computational Models for Optimizing the Process Parameters of A-TIG Welding to Achieve Target Bead Geometry in Type 304 L(N) and 316 L(N) Stainless Steels” Materials and Manufacturing Processes, 22:5, 641-649, Chennai, India (2007)
- [21] V. Maduraimuthu, M. Vasudevan, V. Muthupandi, A.K. Bhaduri and T. Jayakumar, : ‘ Effect of Activated Flux on the Microstructure, Mechanical Properties, and Residual Stresses of Modified 9Cr-1Mo Steel Weld Joints ‘ Metallurgical and Materials Transactions B, Volume 43B (2012)
- [22] Lu, S.P., Fujii, H., Nogi, K., Sato, T., : “Effect of oxygen content in He–O<sub>2</sub> shielding gas on weld shape in ultra deep penetration TIG” Science and Technology of welding and joining, Vol.12, No.8, Pp 659-665, United Kingdom (2007)
- [23] Dong, C., Zhu, Y., Chai, G., Zhang, H. : “Preliminary Study on the Mechanism of Arc Welding with Activating Flux” Joining and Welding Research Institute, Osaka University, Japan (2004)

- [24] Leconte, S., Paillard, P., Chapelle, P., Henrion, G., Saindrenan, J.: “Effect of flux containing fluorides on TIG welding process”, *Science and Technology of Welding and Joining*. Vol.12, No.2, Pp 120-126. (2007)
- [25] T. Sandor, Janos Dobranszky: “ The experiences of activated tungsten inert gas (ATIG) welding applied on 1.4301 type stainless steel plates” *Materials Science Forum Vols. 537-538*, Pp. 63-70 (2007)
- [26] Ding Fan, Ruihua Zhang, Yufen Gu, Masao Ushio : “ Effect of Flux on A-TIG Welding of Mild Steels” *Trans. JWRI*, Vol.30, No:1 (2001)
- [27] Kuang-Hung Tseng, Chih-Yu Hsu,: “ Performance of activated TIG process in austenitic stainless steel welds” *Journal of Materials Processing Technology* (2010)
- [28] Tsann-Shyi Chern, Kuang-Hung Tseng, Hsien-Lung Tsai : “Study of the characteristics of duplex stainless steel activated tungsten inert gas welds” *Materials and Design* (2010)
- [29] Tamas Sandor, Janos Dobranszky,: “ Comparison of penetration profiles of different TIG process variations”, *Research Group for Metals Technology of the Hungarian Academy of Sciences*
- [30] Her-Yueh Huang,: “Effects of activating flux on the welded joint characteristic in gas metal arc welding”, *Materials and Design* (2009)
- [31] S.W. Shyu, H.Y. Huang, K.H. Tseng, and C.P. Chou,: “Study of the Performance of Stainless Steel A-TIG Welds”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.17(2) (2008)
- [32] Paulo J. Modenesi, Eustaquio R. Apolinario, Iaci M. Pereira,: “TIG welding with single-component fluxes”, *Journal of Materials Processing Technology* 99, Pp 260-265 (2000)
- [33] Her-Yueh Huang: “ Effects of shielding gas composition and activating flux on GTAW weldments”, *Materials and Design* 30 Pp. 2404-2409 (2009)
- [34] Her-Yueh Huang: “ Argon-Hydrogen Shielding Gas Mixtures for Activating Flux-Assisted Gas Tungsten Arc Welding”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol.41A (2010)
- [35] A.R. Loureiro, B.F.O. Costa, A.C. Batista and A. Rodrigues: “ Effect of activating flux and shielding gas on microstructure of TIG welds in austenitic

- stainless steel” , Science and Technology of Welding and Joining, Vol.14, No:4 (2009)
- [36] Ahmet Durgutlu: “Experimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel”, Materials and Design 25, Pp.19-23 (2004)
- [37] K.H. Tseng, C.P. Chou: “The study of nitrogen in argon gas on the angular distortion of austenitic stainless steel weldment”, Journal of Materials Processing Technology 142, Pp. 139-144 (2003)
- [38] Lu S, Fuji H, Nogi K: ‘Weld Shape Variation and Electrode Oxidation Behavior under Ar-(Ar-CO<sub>2</sub>) Double Shielded GTA Welding’, Journal of Materials Science and Technology 26, Pp.170-176 (2010)
- [39] Lu S, Fuji H, Nogi K: ‘Marangoni convection and weld shape variations in Ar-O<sub>2</sub> and Ar-CO<sub>2</sub> shielded GTA welding’, Materials and Science and Engineering A 380, Pp.290-297, (2004)
- [40] Yükler A.İ, alış İ.: ‘Kaynak Dikişi Biçimi’, MTEF Yayını, İSTANBUL, (1999)

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Yasemin Sağkol  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : İstanbul – 04.05.1987  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-Posta** : yaseminsagkol@hotmail.com

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/ Program	Ünivesite /Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Fen-Matematik	Çamlıca Kız Lisesi	2004
Üniversite	Metal Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2010

### İş Deneyimi

Yıl	Firma / Kurum	Görevi
2010-2011	Nikken Kesici Takımlar	Satış Destek Elemanı
2011-2013	ANES Elektrik	Kalite Kontrol Sorumlusu