

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

**TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BORU-FLANŞ  
KAYNAĞINDA AÇISAL DİSTORSİYONA KAYNAK  
AKIMI ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Fatih SERDAROĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADENİZ**

**Ocak 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

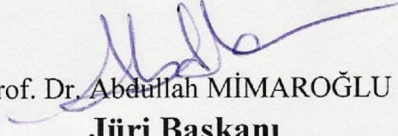
**TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE BORU-FLANŞ  
KAYNAĞINDA AÇISAL DİSTORSİYONA KAYNAK  
AKIMI ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

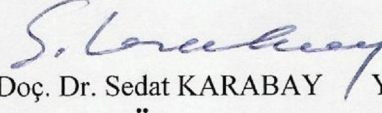
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

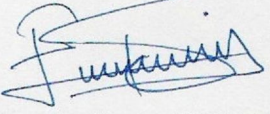
**Mak. Müh. Fatih SERDAROĞLU**

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Bu tez 11/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Abdulllah MİMAROĞLU  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr. Sedat KARABAY  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADENİZ  
Üye

## TEŞEKKÜR

Bu çalıŐmayı, bugünkü eğitim seviyesine gelmeme vesile olan, bu gŸnlerimi çok gŸrmek isteyip gŸremeyen, babam, merhum Recep Ali SERDAROğLU'na atfediyorum.

Bununla beraber bugŸne kadar bana maddi, manevi desteklerini esirgemeyen baŐta ailem olmak Ÿzere akrabalarıma ve tez sŸresince desteğini hep yanımda hissettiğim Selma AKGŸL'e teŐekkŸrlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca tezin oluŐturulması aŐamasında her tŸrlŸ desteği veren hocam, tez danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADENİZ'e teŐekkŸr ederim.

Tezimi bitirebilmem için elindeki tŸm imkânları kullanmama izin veren iŐyerim elik Kardeşler Petrol Zahirecilik Turizm İnş. Taah. ve Tic. San. Ltd. Şti.'ne, yapılan deney çalıŐmaları boyunca tecrŸbelerinden sŸrekli yararlandığım ve aynı zamanda deneyleri gerçekleŐtiren Mesut DOğRU'ya, bŸnyesinde bulunan makine ve teçhizatını kullanmamıza izin veren eski iŐyerim Ant Group Teknoloji, MŸhendislik, İmalat, TaahhŸt Ltd. Şti'ne teŐekkŸr ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	4
2.1. Genel Tanımlar .....	4
2.1.1. Paslanmaz çelik türleri.....	6
2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	6
2.2.1. Genel özellikler.....	7
2.2.2. Fiziksel özellikler.....	8
2.2.3. Korozyon dayanımları.....	10
2.2.4. Kaynak kabiliyetleri.....	11
BÖLÜM 3.	
TIG (GTAW) KAYNAK YÖNTEMİ.....	14
3.1. Giriş.....	14
3.2. TIG Kaynağında Kaynak Ağız Şekilleri ve Ağız Hazırlığı.....	17
3.3. TIG Kaynağında Çalışma Tekniği.....	19

3.3.1. Puntalama.....	20
3.3.2. Arkın tutuşturulması.....	21
3.3.3. Torcun tutuluşu ve ilerletilişi.....	21
3.4. Kaynak Parametrelerinin Etkileri.....	22
3.4.1. Koruyucu gaz ve akış debisi.....	22
3.4.2. Kaynak dolgu telleri ve görevleri.....	25
3.4.3. Elektrodun durumu.....	27
3.4.4. Akım türü ve kutuplamanın etkisi.....	28
3.4.5. Akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızının etkisi.....	29
BÖLÜM 4.	
KAYNAKLI PARÇALARDA DİSTORSİYONLAR.....	30
4.1. Gerilmelerin ve Distorsiyonların Meydana Gelmesine Etki Eden Faktörler.....	30
4.1.1. Kaynak gerilmeleri.....	30
4.1.1.1. Enlemesine gerilmeler.....	31
4.1.1.2. Boylamasına gerilmeler.....	32
4.1.1.3. İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri.....	32
4.1.2. Kalıntı gerilmeleri.....	33
4.2. Distorsiyon çeşitleri.....	35
4.3. Distorsiyonu Azaltmak İçin Yapılması Gerekenler.....	36
4.3.1. Konstrüktif önlemler.....	37
4.3.2. Teknolojik önlemler.....	38
4.3.3. İşletmeyle ilgili tedbirler.....	41
4.3.4. Kaynaktan sonra alınması gereken tedbirler.....	41
4.3.5. Çekiçleme.....	41
4.3.6. Titreşimle gerilim giderme.....	42
4.3.7. Alevle ısıtarak düzeltme.....	42
4.3.8. Geçici ısııl gerilmelendirme yöntemi.....	43
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
5.1. Malzeme ve Dolgu Teli.....	44

5.2. Boru-flanş TIG Metot İç Köşe Kaynağı.....	45
5.3. Sabit ve Değişken Parametreler.....	47
5.4. İncelenen Parametreler.....	49
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	53
6.1. Dolgu Telsiz TIG Metod Kaynağı Deney Sonuçları.....	53
6.1.1. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısal distorsiyon ilişkisi.....	54
6.1.2. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi.....	56
6.1.3. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısal distorsiyon ilişkisi.....	58
6.2. Dolgu Telli TIG Metod Kaynağı Deney Sonuçları.....	60
6.2.1. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısal distorsiyon ilişkisi.....	61
6.2.2. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi.....	63
6.2.3. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısal distorsiyon ilişkisi.....	65
6.3. Tartışma.....	67
6.3.1. Dolgu telsiz TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısal distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi.....	67
6.3.2. Dolgu telli TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısal distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi.....	69
6.3.3. Sonuç.....	70
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
7.1. Sonuçlar.....	72
7.2. Öneriler.....	72
KAYNAKLAR.....	73

ÖZGEÇMİŞ.....	76
---------------	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	Amper
AC	Alternatif Akım
AISI	American Iron and Steel Institute
Ar	Argon
AWS	American Welding Society
DC	Doğru Akım
DIN	Deuchland international norms
EN	European Norms
eV	Elektrovolt
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
I	Akım
Inertgas	Soygaz
ISO	International Standard Organization
J	Joul
K	Kelvin
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
Q	Isı
TiC	Tungsten karbür
TIG	Tungsten inert gas
TS	Türk Standardı
W	Watt
$\Omega$	Ohm



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Paslanmaz çeliği korozif etkilerden koruyan krom oksit tabakası.	4
Şekil 2.2.	Östenitik paslanmaz çelik ailesi.....	8
Şekil 3.1.	Kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 3.2.	Su soğutmalı bir TIG kaynak ekipmanının temel elemanları.....	17
Şekil 3.3.	TIG kaynağında torç ve dolgu telinin tutuluşu.....	22
Şekil 3.4.	Parça kalınlığına ve gaz memesinin çapına bağlı olarak argon tüketimi.....	25
Şekil 3.5.	Akım türü ile elektrod ucunun aldığı şekiller.....	28
Şekil 3.6.	Akım türü, kutupluluk ve elektrod formuna bağlı olarak nüfuziyet formları.....	28
Şekil 4.1.	Kaynak sonrası oluşan gerilmeler.....	31
Şekil 4.2.	Farklı paso sayılarında oluşan farklı açısal distorsyonlar.....	31
Şekil 4.3.	İç köşe kaynağında oluşan gerilmeler.....	32
Şekil 4.4.	Kaynaklı yapılarda ısının etkisiyle distorsiyona sebep olan genleşme ve büzölmeler.....	36
Şekil 4.5.	Muhtelif kaynak distorsiyon türleri.....	36
Şekil 4.6.	Yığılmış kep.....	37
Şekil 4.7.	Metod kaynak.....	37
Şekil 4.8.	Ağırlık merkezinde atılan dikişlerin görüntüsü.....	38
Şekil 4.9.	Büyük tanklarda kaynak dikişi sırası.....	39
Şekil 4.10.	Simetrik dikişler.....	39
Şekil 4.11.	Kaynak öncesi ters sehim vermek.....	40
Şekil 4.12.	Geri adım tekniği.....	40
Şekil 4.13.	Kaynakta kullanılan bazı sabitleme elemanları.....	41
Şekil 4.14.	Stifnerli bir panelin alevle doğrultulacak olan dış bükey kısımları.....	42

Şekil 4.15.	Alevle ısıtma teknikleri .....	43
Şekil 4.16.	Geçici ısı gerilmelendirme tekniği şeması.....	43
Şekil 5.1.	(a) Borunun teknik resmi (b) Flanşın teknik resmi.....	45
Şekil 5.2.	CAD Programı kullanarak oluşturulan model.....	46
Şekil 5.3.	Oluşturulan kaynak planı.....	47
Şekil 5.4.	Deney ölçme düzeneğinin şeması.....	49
Şekil 5.5.	Komparatör ile ölçüm yapılması.....	50
Şekil 5.6.	Ölçümün yapılışını gösteren çizim.....	50
Şekil 5.7.	Belirlenen geometri için standartlarda bildirilen nüfuziyet ölçüleri.....	51
Şekil 5.8.	Seçilen malzeme kalınlığına göre hedeflenen nüfuziyet durumu..	52
Şekil 6.1.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısall distorsiyon ilişkisi grafiğı.....	55
Şekil 6.2.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi grafiğı.....	57
Şekil 6.3.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısall distorsiyon ilişkisi grafiğı.....	59
Şekil 6.4.	Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısall distorsiyon ilişkisi grafiğı.....	62
Şekil 6.5.	Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi grafiğı.....	64
Şekil 6.6.	Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısall distorsiyon ilişkisi grafiğı.....	66
Şekil 6.7.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısall distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi grafiğı.....	68
Şekil 6.8.	Dolgu telli TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısall distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi grafiğı.....	69
Şekil 6.9.	Dolgu telsiz ve dolgu telli TIG metod boru flanş kaynaklı birleştirmelerde, kaynak akımı ile açısall distorsiyon ve kaynak hızı etkileri grafiğı.....	70

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Östenitik paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler.....	9
Tablo 2.2.	Östenitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri.....	10
Tablo 3.1.	TIG kaynağında en önemli kaynak ağız şekilleri.....	18
Tablo 3.2.	TIG kaynağında örnek parametreler.....	20
Tablo 3.3.	TIG kaynağında koruyucu gazın etkileri.....	24
Tablo 3.4.	TIG Kaynağında, paslanmaz çelik için kullanılan koruyucu gaz çeşitleri.....	24
Tablo 3.5.	TIG Kaynağında elektrod çapı ve ilave tel arasındaki ilişki.....	25
Tablo 3.6.	TIG Kaynak yönteminde östenitik paslanmaz çelikler için dolgu telleri.....	27
Tablo 5.1.	AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.....	44
Tablo 5.2.	ER 308 L dolgu telinin kimyasal bileşimi.....	45
Tablo 5.3.	ESAB Origo™ Arc 150i teknik özellikleri.....	46
Tablo 5.4.	Seçilen kaynak parametreleri.....	48
Tablo 6.1.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağı açısız distorsiyon, nüfuziyet genişliği ve kaynak hızı değerleri.....	53
Tablo 6.2.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı ve ortalama açısız distorsiyon değerleri.....	54
Tablo 6.3.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – ortalama kaynak hızı değerleri.....	56
Tablo 6.4.	Dolgu telsiz TIG metod kaynağı ortalama kaynak hızı – ortalama açısız distorsiyon değerleri.....	58
Tablo 6.5.	Dolgu telli TIG metod kaynağı açısız distorsiyon, nüfuziyet genişliği ve kaynak hızı değerleri.....	60
Tablo 6.6.	Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı ve ortalama açısız distorsiyon değerleri.....	61

Tablo 6.7.	Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – ortalama kaynak hızı değerleri.....	63
Tablo 6.8.	Dolgu telli TIG metod kaynağı ortalama kaynak hızı – ortalama açısal distorsiyon değerleri.....	65

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Östenitik paslanmaz çelik, AISI 304, TIG, Boru-flanş kaynağı, açısız distorsiyonlar

Gıda, ilaç ve diğer endüstriyel uygulamalarda boru flanş ürünleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Borular ile flanşların birleştirilmesi, kaynaklı imalat yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Özellikle paslanmaz çelik malzemelerden boru- flanş kaynağında TIG kaynak yöntemi tercih edilmekte ve açısız distorsiyonlar büyük problem olmaktadır.

Bu çalışmada Ø 139,7 mm ve 2 mm kalınlıktaki AISI 304 östenitik paslanmaz çelik boruların, 2 mm kalınlıktaki ve iç çapı 141 mm, dış çapı 240 mm AISI 304 östenitik paslanmaz çelik flanşlara TIG metod kaynak yöntemi ile birleştirilmesi dolgu telli ve dolgu telsiz koşullar için incelenmiştir. İncelemeler kaynak akımının sabit nüfuziyet değerleri ile açısız distorsiyona etkisini ve kaynak hızına etkisini içermektedir. Kaynak akımı 70 A, 80 A, 90 A, 100 A, 110 A değerleri çalışılmıştır. En uygun koşullar, dolgu telsiz 70 A kaynak akımı değerinde elde edilmiştir.

# **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WELDING CURRENT IN ANGULAR DISTORTION OF PIPE-FLANGE WELDING WITH GTAW**

## **SUMMARY**

**Keywords:** Austenitic Stainless Steel, AISI 304, TIG, Pipe-Flange Welding, Angular Distortions

Pipe-flange has commonly been used in food, medicine and industrial applications. Combination of pipes and flanges were made with welding manufacturing method. In particular pipe flange welding made of stainless steel, TIG welding method has been preferred and angular distortions have been a great problem.

In this thesis study, combining the austenitic stainless pipes having 139,7 mm diameter and 2 mm thickness and AISI 304 and austenitic stainless steel flanges having 141 mm interior and 240 mm exterior diameter and 2 mm thickness, and AISI 304 steel with TIG welding in two conditions with additional wire and without additional wire were investigated. The investigations contain the effect of welding current to angular distortion and the speed of welding with the values of welding current which was 70 A, 80 A, 90 A, 100 A, 110 A. It was concluded that the best conditions on the values of a welding current was 70 A without additional wire.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Makine endüstrisinde özellikle nükleer, kimyasal, gıda ve ilaç endüstrilerinde kaynakla birleştirilmiş boru-flanş ürünleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu endüstrilerde korozyon direncinin öncelikli önem arz ettiği sektörler için östenitik paslanmaz çelikler yaygın olarak tercih edilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirme işlemlerinde en sık kullanılan kaynak yöntemi grubu ark kaynağıdır. Çünkü boşluksuz ve birleşme verimi yüksek bir bağlantı sağlamaktadır [1]. Paslanmaz çeliklerin kaynağı diğer metallere göre daha zor olduğu için ve özellikle kalınlığı 3 mm'den ince olan uygulamalar için TIG kaynak yöntemi tercih edilmektedir [1-3]. TIG kaynağı ince ve çapı 152,4 mm'ye kadar boruların kaynağı için ekonomik bir yöntemdir [4].

Çoğu kaynaklı birleştirmeler bölgesel ısınma ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle kaynaklı parçada sıcaklık dağılımı üniform değildir [4-6]. Bu durum, kaynaklı parçanın malzeme karakteristikleri, kalıntı gerilmeleri, boyutları ve şekillerini etkilemektedir. Bunun sonucunda kaynaklı yapılarda ürün kalitesi ve fabrikasyon toleransı gibi hasarlar meydana gelmektedir [5].

Kaynaklı birleştirilmiş boru-flanş fabrikasyon uygulamalarında bölgesel ısınma sonrası soğuma sonucu oluşan kalıntı gerilmelerin neden olduğu açısallık distorsiyon kusurlarını düzeltme işçilik ve zaman maliyeti önemli bir problem olmaktadır [7,8].

Östenitik paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayıları diğer alaşımsız veya az alaşımlı çeliklere göre %50 daha fazladır [9]. Bu durum östenitik paslanmaz çeliklerden kaynakla birleştirilmiş boru-flanş ürünlerinde açısallık distorsiyonların incelenmesinin önemini arttırmıştır.

Açısal distorsiyonlar; ısıtma gerilmeleri, konstrüksiyonun rijitliği ve malzemenin metalürjik özellikleri olmak üzere üç ana değişkenden etkilenmektedir. Kaynak akımı değer artışı ise kaynaklı birleştirme işlemi bölgesel ısı girdisi değerlerini arttırmaktadır. Bu nedenle östenitik paslanmaz çeliklerden boru-flanş ürünlerin kaynaklı birleştirmesinde en uygun kaynak akımı değerinin tayini minimum açısal distorsiyonu ve bunun sonucu minimum fabrikasyon maliyetinin tayini için incelenmesi gereken önemli bir değişken olmaktadır.

Manüel TIG kaynak yöntemiyle boru-flanş kaynaklı birleştirme uygulamalarında kaynak işçisi çoğu zaman yüksek kaynak akımında kaynak yapmayı tercih etmektedir. Bunun nedeni arkın yüksek akımda çok kolay oluşması ve kaynak hızının kaynak akımıyla doğru orantılı artmasıdır. Kaynağı hızlıca yapıp işi daha çabuk bitirme düşüncesi ile çoğu zaman malzemeye gereğinden fazla ısı girdisi uygulanmaktadır. Bunun sonucunda distorsiyonlar artmakta ve düzeltme maliyetleri artmaktadır.

Flanş tasarımı ve imalatında, flanş iç çap boyutları ile boru dış çap boyutları arasında gereğinden fazla aralık oluşması halinde dolgu teline ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle açısal distorsiyonlara flanş tasarımı ve imalatındaki dikkatsizliklerin etkisini incelemek düzeltme maliyetleri gereği ortaya çıkmaktadır.

Literatürde östenitik paslanmaz çeliklerden TIG kaynağı ile boru-flanş birleştirmelerinde oluşan açısal distorsiyonlarla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı östenitik paslanmaz çeliklerden TIG kaynağı ile boru-flanş birleştirmelerinde oluşan açısal distorsiyonlara, bölgesel ısı girdisi üzerine etkili olan kaynak akımı değişkeninin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca flanş tasarımı ve imalatındaki dikkatsizliklerin etkisini incelemek için dolgu telli ve dolgu telsiz koşulların açısal distorsiyona ve fabrikasyon maliyetlerine etkisi incelenmiştir.

Sürekli kaynak yerine metod kaynağı ile distorsiyonlar azaltılabilir [10]. Bu nedenle deneysel çalışmalarda distorsiyonları azaltmak için sürekli TIG kaynak yöntemi yerine TIG metod kaynağı yöntemi seçilmiştir.

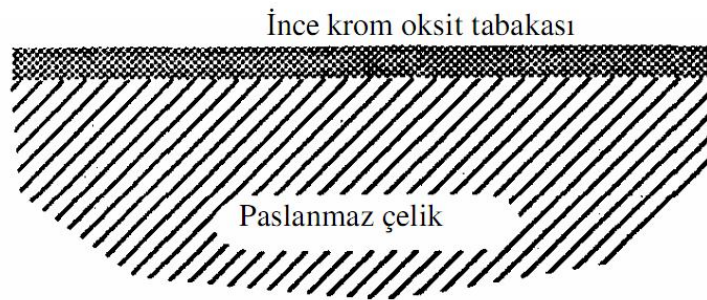


Deneysel alışmalar dolgu telli TIG metod kaynağı ve dolgu telsiz TIG metod kaynağının her biri için 70 A – 80 A – 90 A – 100 A ve 110 A kaynak akımı değerleriyle gerçekleştirilmiştir. Kaynak hızlarındaki değişimlerin değerlendirilebilmesi için yaklaşık sabit nüfuziyet genişliği esas alınmıştır. Deneysel sonuçlar dolgu telli uygulamaların açısal distorsiyon değerlerinde artışa neden olduğunu, en uygun açısal distorsiyon ve fabrikasyon maliyetinin ise 70 A kaynak akımı ile uygulanan dolgu telsiz koşullarda elde edildiği sonucunu vermiştir.

## BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Açık hava şartlarında, korozyon maddelerinin (gazlı ve sulu ortamlar) etkisinde ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı, esas olarak demir, krom, nikel, karbon içeren malzemelere paslanmaz çelik denir [11,12]. Mekanik özellikler açısından ferritik çeliklerden pek farklılık göstermeyen paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetlerine karşın, uygulamada çok kullanılmalarının ana nedeni, yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır. Kromun varlığı paslanmaz çeliklere iyi korozyon direnci verir.

Çeliğin bünyesinde yer almış krom, hava, oksijenle temas ettiği yüzeyde gözle görülmeyen bir krom oksit tabakası oluşturur [11]. Bu tabaka; ince, sıkı, geçirimsiz ve metalin yüzeysel davranışlarında çok önemli elektrokimyasal değişiklikler yaparak çeliği, korozyon ortamından koruyan özelliklere sahiptir. Bu şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Paslanmaz çeliği korozyon etkilerinden koruyan krom oksit tabakası [13]

### 2.1. Genel Tanımlar

Paslanmaz çelik esas olarak oksitleyici ortamlarda paslanmayan çeliklerin genel adıdır. Özellikle nikel ve molibden, çeliğin paslanmazlık özelliğini iyileştirmek için

alaşım yapımında kullanılsa da paslanmazlığı sağlayan element kromdur. Paslanmazlık için gerekli en az krom miktarı, kütle olarak, % 10,5'tur. Dünyada üretilen çeliğin çoğu karbonlu ve alaşımlı çeliktir. Karbon ve alaşımlı çeliğe göre paslanmaz çeliğin, daha küçük fakat cazip ve gelişen bir pazarı vardır [14].

Paslanmaz çeliklerin üstünlükleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Korozyon Dayanımı: Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Bu çelikler ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir.
- Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar: Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda dahi tufallanma ve malzemenin mekanik dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar.
- İmalat Kolaylığı: Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler.
- Mekanik Dayanım: Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımın artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerde ise ısıtma işlemleri ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür.
- Görünüm: Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü ve kalitesi, bakım kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilir.
- Hijyenik Özellik: Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar.
- Uzun Ömür: Paslanmaz çelikler dayanıklı ve bakımı kolay malzemeler olduklarından, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik malzemelerdir [1].

### 2.1.1. Paslanmaz çelik türleri

Günümüzde 170'e yakın türü bulunan paslanmaz çelikler, değişik amaçlar için endüstride oldukça yaygın uygulama alanı bulmuşlardır. Değişik endüstri dallarında kullanılan çelik türlerinin bazılarında krom yüzdesi % 30'a ulaşmakta, bazılarında yeni elementler katılarak değişik özellikler elde edilmekte ve işlenebilme kolaylığı sağlanılmaktadır. Örneğin; nikel ve molibden korozyon dayanımını, karbon-molibden-titanyum-alüminyum-bakır dayanımı artırıcı yönde etkilemekte, selenyum-kükürt ise talaşlı işlenebilme kabiliyetini geliştirmektedir [12].

Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar
- Ferritik-Östenitik (dubleks)
- Östenitik

Bu gruplandırma malzemelerin içyapısına göre yapılmıştır. Bu gruplar içinde en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik çelikler olup, bunların kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde % 95'e ulaşır.

## 2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler % 16-26 Cr, % 10-24 Ni+Mn, % 0.40'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge, % 90-100 östenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540°C'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir [9].

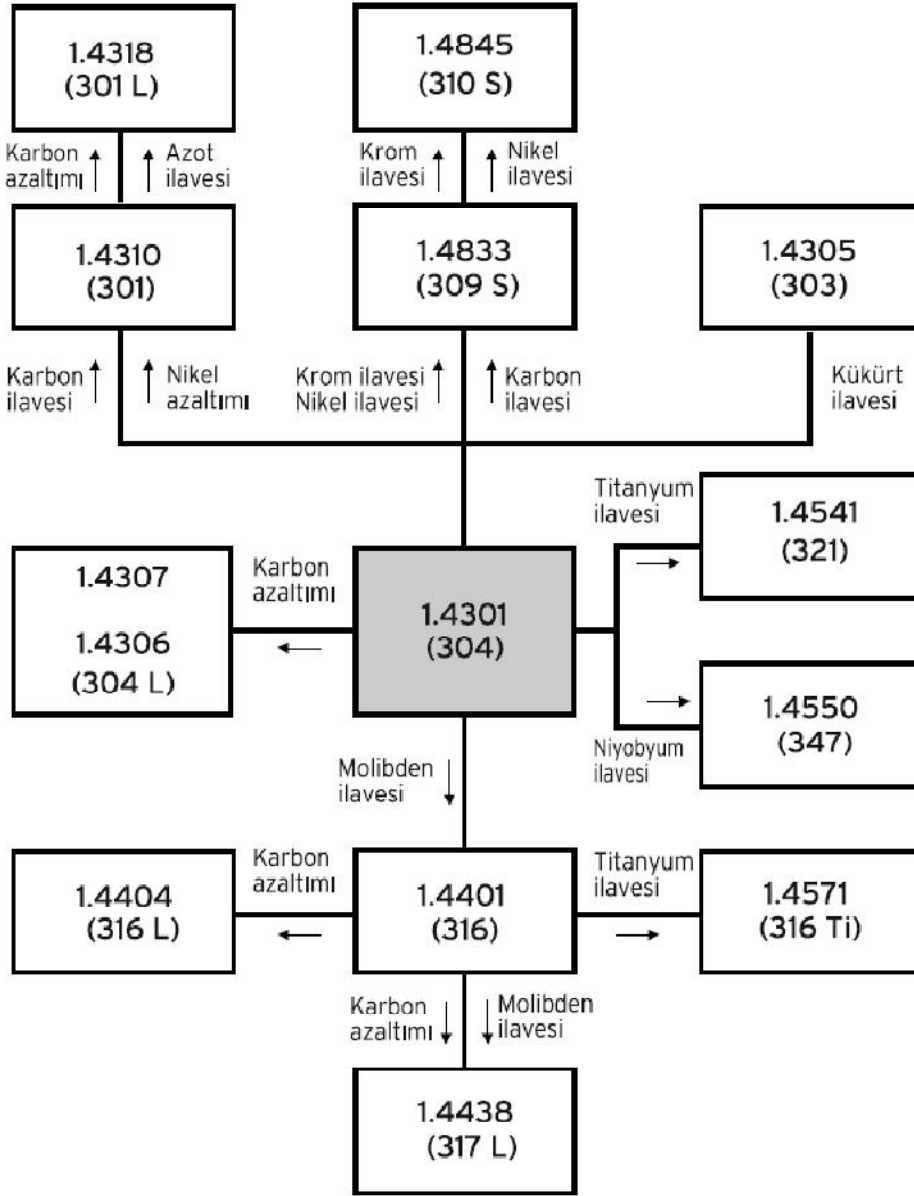
### 2.2.1. Genel özellikler

Gerek kullanım, gerekse alaşım kalitelerinin çokluğu açısından en zengin grup östenitik çeliklerdir. Manyetik olmayan bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezle kübik kafese sahip östenitik içyapılarını koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemi yapılamaz. Tavlanmış halde süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Mukavemetleri ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Östenitik paslanmaz çelikler genellikle %16 ile %26 krom, %35'e kadar nikel ve %20'ye kadar mangan içerirler. Nikel ve mangan temel östenit oluşturmalarıdır.

Mükemmel şekillendirilebildiği, sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile 304 kalite östenitik çelik en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliktir. Tavlanmış 3XX serisi çeliklerin akma dayanımı 200-275 MPa arasında iken yüksek azotlu 2XX serisinde akma dayanımı 500 MPa değerine kadar yükselir. Bu çeliklerde korozyonu önlemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı etkisi, östenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. 304 kalite çeliklere molibden katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve klorürlü ortamda noktasal korozyona dayanım sağlanır. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımla yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda kullanılır.

Östenitik çelikler sünek ve toktur, ayrıca ısı etkisiyle sertleşmediklerinden, kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesi oluşmaması için stabilize edilmiş türleri seçilmelidir. Öte yandan ısı iletimleri düşük, genleşmeleri yüksek olduğundan kaynakta çarpılmayı önlemek için ısı girdisi düşük tutulmalıdır [1].

Östenitik paslanmaz çelik ailesinin genel şematik gösterimi Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Östenitik paslanmaz çelik ailesi [1]

### 2.2.2. Fiziksel özellikler

Her bir paslanmaz çelik grubuna ait ortalama fiziksel özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir. Bu tabloda elastisite modülü, yoğunluk, ısıl genleşme katsayısı, ısıl iletkenlik, özgül sıcaklık, elektriksel direnç, manyetik geçirgenlik ve ergime aralığı gibi veriler yer almaktadır.

Tablo 2.1. Östenitik paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler [9]

Fiziksel Özellikler	Östenitik Paslanmaz Çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16,6
Isıl İletkenlik (W/mk)	15,7
Özgül Isı (J/k °K)	500
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74
Manyetik Geçirgenlik	1,02
Ergime Aralığı (°C)	1375-1450

Paslanmaz çeliklerin ısı iletimi özelliği karbon çeliklerinkinden farklıdır. Örneğin yüksek kromlu çeliklerin ısıyı iletme kabiliyetleri karbon çeliklerinkinin yaklaşık yarısı kadardır. Östenitik tip paslanmaz çeliklerde bu durum daha da belirgin olup, ısı iletim kabiliyeti karbon çeliklerinkinin üçte birine kadar düşmektedir. Bu durum kaynak sırasında oluşan sıcaklığın kaynak bölgesinde daha uzun süre kalacağı ve dolayısı ile bazı zorluklarla karşılaşılabilceği anlamına gelmektedir.

Östenitik tip paslanmaz çeliklerin tavllanmış durumdaki nominal mekanik özellikleri Tablo 2.2.'de her ürün için detaylı olarak verilmiştir. Östenitik tip paslanmaz çelikler, ferritik tip paslanmaz çeliklere oranla genellikle daha yüksek çekme dayanımına ve uzamaya, ancak buna karşın daha düşük akma dayanımına sahiptirler. Kesit daralması değeri her iki tip paslanmaz çelik türü için de hemen hemen aynıdır [9].

Tablo 2.2. Östenitik paslanmaz çeliklerin nominal mekanik özellikleri [9]

Çelik Türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı % 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
201	Tavlı	793	379	55		B 90
201	Tam Sert	1275	965	4		C 41
202	Tavlı	724	379	55		B 90
301	Tavlı	758	276	60		B 85
301	Tam Sert	1275	965	8		C 41
302	Tavlı	620	255	55	65	B 82
302B	Tavlı	655	276	50	65	B 85
303	Tavlı	620	241	50	55	B 84
304	Tavlı	586	241	55	65	B 80
304L	Tavlı	552	207	55	65	B 76
304N	Tavlı	586	241	30		
304LN	Tavlı	552	207			
305	Tavlı	586	255	55	70	B 82
308	Tavlı	586	241	55	65	B 80
308L	Tavlı	551	207	55	65	B 76
309	Tavlı	620	276	45	65	B 85
310	Tavlı	655	276	45	65	B 87
312	Tavlı	655		20		
314	Tavlı	689	345	45	60	B 87
316	Tavlı	586	241	55	70	B 80
316L	Tavlı	538	207	55	65	B 76
316F	Tavlı	586	241	55	70	B 80
317	Tavlı	620	276	50	55	B 85
317L	Tavlı	586	241	50	55	B 80
321	Tavlı	599	241	55	65	B 80
347 / 348	Tavlı	634	241	50	65	B 84
329	Tavlı	724	552	25	50	B 98
330	Tavlı	550	241	30		B 80
330HC	Tavlı	586	290	45	65	
332	Tavlı	552	241	45	70	
384	Tavlı	550				

### 2.2.3. Korozyon dayanımları

Paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dayanımının yüksek olması, yüzeyinde bulunan ince oksit filminin sonucu olarak düşünülür. Bu filmin bileşimi alaşımdan alaşıma ve gördüğü işleme (haddeleme, dağlama, ısıl işlem) göre değişir. Bu tabakanın sürekli, gözeneksiz, çözünmeyen ve kendini onaran bir yapıda olduğu bilinir. Bu tabaka bozulduğu zaman havada veya oksijen bulunan ortamlarda kendiliğinden yeniden oluşur.



Hemen bütün paslanmaz çelik türleri, atmosferik şartlarda hava kirliliği olmadığı sürece %100 nem altında dahi yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Hava kirliliğinin söz konusu olmadığı ortamlar için malzeme seçimi sadece maliyet, temin edilebilirlik, mekanik özellikler, montaja uygunluk ve görünüm dikkate alınarak yapılır. Havanın kuru olduğu bölgelerde en ekonomik türler seçilebilir.

Deniz suyu veya tuzlu sulu ortamlarda çalışacak paslanmaz çeliklerin seçimi, atmosferde kullanılanlara göre daha karmaşıktır. 304 ve özellikle 316 deniz suyuna en dayanıklı türlerdir. Yalnız akış hızı 1,5 m/s altındaki durgun sularda (mesela kirli liman sularında) 316 da dahil hemen hemen bütün paslanmaz çelikler pitting korozyonuna uğrarlar. Böyle durumlar için özel geliştirilmiş östenitik ve ferritik alaşımlardan biri tercih edilmelidir. Paslanmaz çelik ile oluşturulan galvanik çiftler, deniz suyu ortamında diğer malzemelerin süratli korozyona uğramasına yol açar. Deniz kirliliği, oksitleyici olan ortamlar hariç çoğu zaman korozyon dayanımını daha da düşürür. Kaviteasyon erozyonu söz konusu olduğunda ise paslanmaz çelikler mükemmel bir performans gösterirler ve gemi pervaneleri ve deniz suyu pompalarında özellikle tercih edilirler [9].

#### **2.2.4. Kaynak kabiliyetleri**

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer bombardıman kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Bu yöntemlerin hemen hemen hepsinde birleştirilecek yüzeylerin ve dolgu metalinin temiz olması gerekmektedir. Östenitik tip paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayısı karbon çeliklerinkinden % 50 daha yüksektir ve çarpılmaları en aza indirmek için bu özelliğe dikkat edilmelidir. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşmaz. Malzemenin direnci yüksek olduğu için direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir [9].

Östenitik paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayılarının fazla, ısı iletme katsayılarının düşük olması, sigma fazı oluşumu ve karbür çökmesi sebebiyle kaynak edilmeleri düşük karbonlu çeliklere nazaran daha zordur. Ancak bu durumlar için gerekli tedbirler alınırsa emniyetli kaynak edilebilirler. Örtülü elektrotlarla ark kaynağında, elektrot örtüsünde selüloz bulunması halinde, karbon örtüden kaynak banyosuna geçebilir. Oksi asetilen kaynağında asetilen fazlalığı da karbürasyona sebep olduğundan arzu edilmez. Diğer taraftan, kaynak ağızlarındaki pislik ve yağlı maddeler de karbürasyona sebep olabileceğinden bunların daha önceden dikkatlice temizlenmesi gerekir.

Paslanmaz çeliklerin kaynağında aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekir. Kaynak yapılacak yerin her şeyden önce boya, vernik v.s. gibi maddelerden arınmış olması gerekir. Rutubet, kükürt ve diğer kimyevi maddelerde kaynak kalitesini ters yönde etkiler. Kaliteli bir kaynak için, en iyi kalite paslanmaz çelik malzeme ve elektrot kullanılmalıdır. Kaynak ağızı iyi ve uygun açılmalıdır. Kaynak çapak ve cüruflarının temizlenmesinde taş veya paslanmaz çelik tel fırça kullanılmalıdır. Elektrotların rutubetten iyi muhafaza edilmesi gerekir. Kullanılmayan elektrotlar özel raf veya kurutma fırınlarında saklanmalıdır. Kaynak ağızının rutubetten arındırılması için şaloma veya kuru hava ile kurutulması gerekir.

300 serisi paslanmaz çeliklerde ön tavlama ve kaynak sonrası tavlama işlemi gerekmez. Isı miktarını düşük tutmak için küçük çaplı elektrot kullanılmalıdır. Ana alaşıma uygun veya aynı grubun bir üst derecesindeki elektrotlardan kullanılmalıdır. 300 serisi çeliklerin kaynağında soğuma esnasında soğuma esnasında gerekli tedbirler alınmazsa kaynak çatlayabilir. Yatay ve düz kaynaklarda elektrot, kaynak yönünde ve 150 derecelik bir açı yapacak şekilde, kaynak arkı kısa tutulmak şartı ile yapılmalıdır. Dik kaynak için elektrot levhaya dik tutulmalı, birinci sıranın üzerinde ufak salınımlarla yürütülmelidir. Tavan kaynağı, kısa ark ile eli oynatmadan yapılmalıdır. En iyi korozyon mukavemeti mümkün olan en düşük amper ve dalgasız düz bir kaynakla mümkündür. Çok düşük amper, dengesiz ark oluşmasına, elektrot yapışmasına, cüruf formasyonuna, zor temizlenmeye dolayısıyla korozyon mukavemetinden kayıplara yol açar. Çok yüksek amper veya uzun bir ark ise kaynak

sıralarını bozar, çatlama sebebi olur. Cüruf zor temizleniyorsa, kaynak ağzı pis veya dardır, sıralar düzenli değildir, elektrot rutubetlenmiştir veya kaynak tam anlamı ile soğumamıştır.

Paslanmaz çelik kaynaklarında çatlama, sıralar üzerinde kraterlerin kalmış olması, başlangıç ve bitişlerde uzun ark, parçanın fazla ısıtılması, hızlı pas, yanal kaynak ağzı ve yanlış elektrot tipi kullanılması yüzünden meydana gelebilir. Paslanmaz çelik düz ve temiz olduğundan kaynağın fazla derine nüfuz ettirilmesi gerekmez. Son sıralarda hiç açıklık bırakılmaması yeterlidir. Montaj standartlarının çoğu paslanmaz çeliklerde % 100 röntgen çekilmesini öngörür. Bu filmler teker teker incelenerek hatalar bulunur ve tamir edilir. Röntgende hata çıkmaması için kaynağın gereklerine uymak, kaynak sıralarının cüruflarını iyi temizlemek ve düzgün kaynak yapmak gerekir. İyi netice için cüruf kırma ameliyesi her kaynak sırası arasında taş veya paslanmaz tel fırça ile tekrarlanmalıdır. Paslanmaz çelik kaynaklarında, alaşım çeliklerinde de olduğu gibi ilk sırada TIG ve MIG kaynağı kullanmak mümkün, hatta tercih edilir.

Kölük ve Güvenç'in yaptığı çalışmada östenitik paslanmaz çeliklerin çeşitli ark kaynak yöntemleri ile kaynağında elde edilen sonuçlar şöyle olmuştur;

- Bütün ark kaynak yöntemleri uygun şartları sağlanmakla birlikte TIG ile yapılan dikişler daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir.
- Süneklik açısından TIG kaynak yöntemiyle X kaynak ağzı açılarak yapılan birleştirmenin yüzde uzamasının daha iyi olduğu görülmüştür.
- Genel sonuç itibarıyla kullanılan östenitik paslanmaz çeliğin kaynak kabiliyetinin deneyler sonucunda iyi olduğu görülmüştür [15].

## **BÖLÜM 3. TIG (GTAW) KAYNAK YÖNTEMİ**

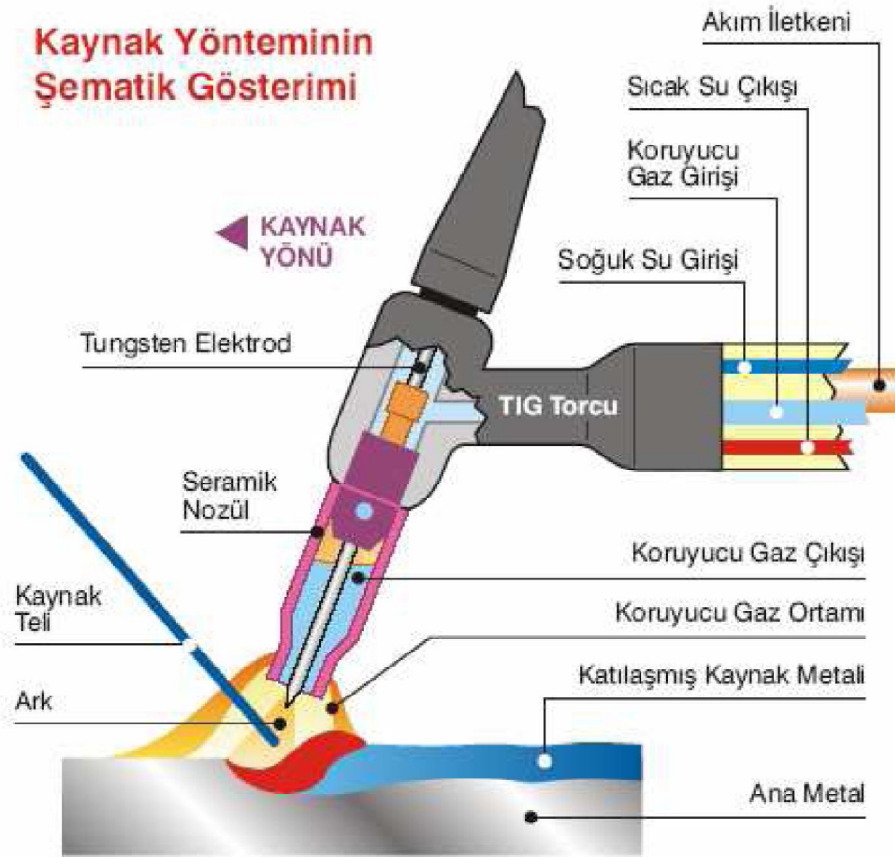
### **3.1. Giriş**

TIG kaynağı, esas olarak bir ark kaynağı şeklindedir. Özellikle alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metallerin kaynağına uygundur. 1940 – 1960 döneminde geliştirilen bu yöntem, günümüzde önemli bir kaynak yöntemi olarak geçerli hale gelmiştir.

TIG kaynak yöntemi için elektrik akımı, su ve gaz'ın her an sağlanması ve kontrol edilmesi gerektiğinden, bu yöntemde kullanılan donanım, ark kaynağında kullanılanlara göre daha karmaşık ve pahalıdır.

Yöntem yaygın olarak TIG adıyla anılır. TIG kaynağı, elektrik ark kaynak yönteminin daha ileri bir aşamasıdır. Bu prosesin tam adında Tungsten kelimesi, arka elektrik akımını iletmeyi sağlayan, erimeyen elektrodu, inert kelimesi, diğer elementlerle kimyasal olarak birleşmeyen bir gazı ve gaz kelimesi de, erimiş banyo ve arkı örten, kaynak bölgesini çevreleyen havayı uzak tutan malzemeyi simgeler. Bu kaynak yöntemi, Heliarc veya Argonarc olarak da anılmaktadır. TIG yöntemiyle, genellikle diğer kaynak yöntemleriyle oluşturulan kaynaklara göre daha üstün özellikte dikişler elde edilir.

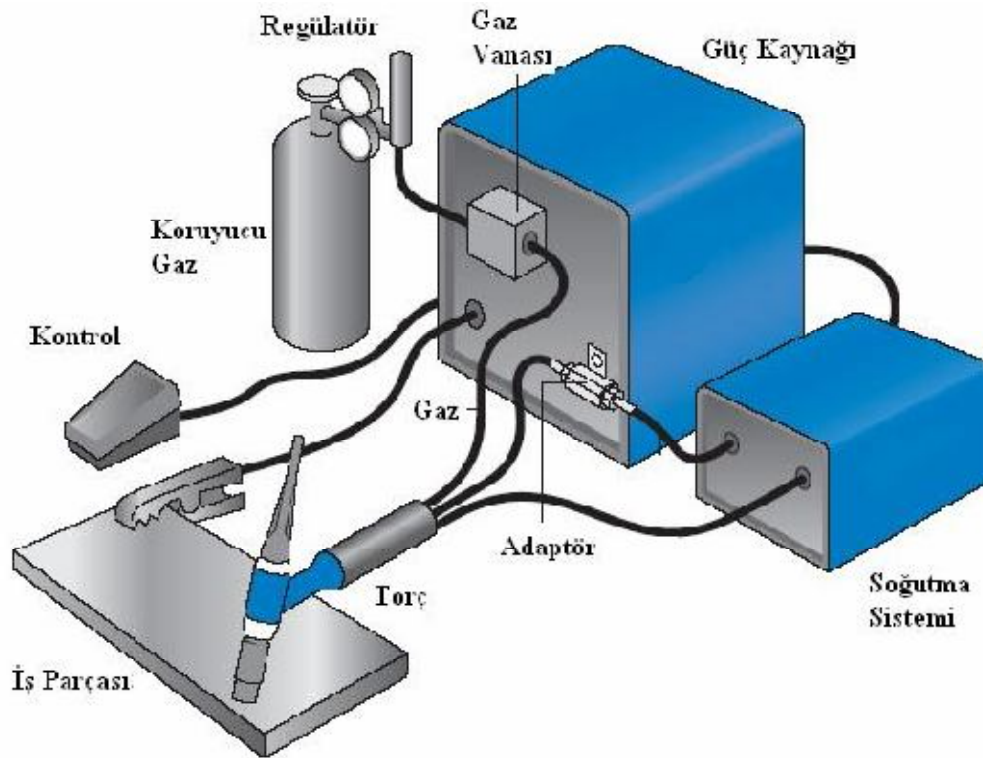
TIG kaynağında ark, tungsten elektrod ile parça arasında serbestçe yanar. Koruyucu gaz, argon, helyum veya bunların karışımından oluşur. Şekil 3.1. TIG kaynağının prensip şemasını göstermektedir. Enerji üreticinin bir kutbu tungsten elektroda diğeri parçaya bağlıdır. Ark, sadece bir elektrik iletkeni ye ark taşıyıcısı olan tungsten elektrod (sürekli elektrod) ile parça arasında yanar. İlave malzeme, kural olarak akım yüklenmemiştir; kaynak bölgesine yandan veya önden, ya elle sevk edilen çubuk veya ayrı bir sevk aparatından sevk edilen tel formundadır.



Şekil 3.1. Kaynak yönteminin şematik gösterimi [15]

Tungsten elektrod ile erimiş banyo ve ilave metalin erimiş haldeki ucu, atmosferden, elektrodun bulunduğu bir koruyucu gaz memesinden elektrotla eşksenli olarak beslenen bir inert koruyucu gaz ile korunur [15].

TIG kaynağında en yaygın koruyucu gaz olarak Argon kullanılır. Elektrodun tatminkâr şekilde korunabilmesi için koruyucu gazın saflık derecesi en az % 99,95 olmalıdır. Kural olarak 200 bar basınç altındaki 10 m<sup>3</sup> 'lük çelik tüplerde satılır. Hafif metallerde geniş ve derin nüfuziyet nedeniyle son yıllarda Argon/Helyum karışımlarının kullanılmasına doğru bir eğilim mevcuttur. Şekil 3.2'de su soğutmalı bir TIG kaynak ekipmanının temel elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Su soğutmalı bir TIG kaynak ekipmanın temel elemanları [16]

TIG kaynağının genel üstünlüklerini şöyle sıralayabiliriz:

- TIG kaynağı, sürekli bir kaynak dikişi yapmak, aralıklarla kaynak yapmak ve punta kaynağı yapmak için hem elle, hem de otomatik kaynak sistemleri ile uygulanabilir.
- Elektrot tükenmediği için ana metalin ergitilmesiyle veya ilave bir kaynak metali kullanarak kaynak yapılır.
- Her pozisyonda kaynak yapılabilir ve özellikle ince malzemelerin kaynağına çok uygundur.
- Kök paso kaynaklarında yüksek nüfuziyetli ve gözeneksiz kaynaklar verir.
- Isı girdisi kaynak bölgesine konsantre olduğu için iş parçasında deformasyon düşük olur.
- Düzgün kaynak dikişi verir ve kaynak dikişini temizlemeye gerek yoktur.

Bunun yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar:

- TIG kaynağının metal yığılma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir [15].

### 3.2. TIG Kaynağında Kaynak Ağız Şekilleri ve Ağız Hazırlığı

TIG kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri standartlaştırılmıştır. Ancak şurası belirtilmelidir ki, TIG kaynak yöntemi, ilave metalin kullanılmaması gereken ve parça kenarlarının arkla eritilerek birleştirileceği kaynak dikişleri için özellikle uygundur. Bu uygulama türleri, standart ağız formlarından kıvrık alın kaynağı ve kıvrık bindirme alın kaynağı 'm oluşturmaktadır. Bunun dışında köşe birleştirmedeki ve üç sacın birleştirilmesindeki iç köşe dikişleri ve hafifçe çöküklüğün zararsız olduğu özel durumlar ve de I-dikişleri de bu kapsama girmektedir.





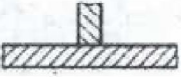
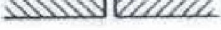




I-birleştirmeler, 3 veya 4 mm'ye kadar ön alın mesafesinin hiç veya çok az olduğu çeliklerde tek taraftan kaynak edilir. Alüminyum malzemelerde kalınlık 5 mm'ye kadar çıkabilir. Daha kalın saçlar (yaklaşık 8 mm'ye kadar) çift taraftan kaynak edilmelidir. Bu durumda saçlar arasında kalınlığın yarısı kadar bir aralık bırakılmalıdır. S-pozisyonunda (aşağıdan yukarıya) çift taraftan kaynak işleminde, yoğunlaşan ısı girdisi nedeniyle özellikle alüminyum ve bakırda mutlaka bir aralık bırakılmalıdır.

8 veya bazen 10 mm'nin üzerindeki parça kalınlıkları durumunda esas olarak ağızlara eğiklik verilmesi ve Y- veya çift Y-şeklinde hazırlanması gerekir. Ağız açısı çeliklerde 60°, alüminyumda 70° olmalıdır. Kök alın yüksekliği çeliklerde 2 ila 4 mm ve bazen 6 mm'ye kadar, alüminyumda ise 2-3 bazen 4 olmalıdır. Ancak V-ve çift V-dikişlerinde ağız kenarlarının uçları düz kırılabilir, bu nedenle kök alın yüksekliği pratikte O 'dan başlar. Daha kalın parçalarda bu dikiş formları ve U ve çift-U dikişleri TIG kaynağıyla nadiren tam olarak doldurulabilir. Bu nedenle çoğu durumda kalın saçların kaynağında TIG kaynağı sadece kökün kaynağında kullanılır. Alüminyumun tek taraftan kaynağında, kök tarafının yüzeyinde sık sık hafif ve çizgi şeklinde bir içeri çöküklük görülür. Bundan kaçınmak için kök alınının dış kenarlarına pah verilmelidir.

Tablo 3.1. çelik ve alüminyumun TIG kaynağında en önemli ağız şekillerini göstermektedir. Ağızların açılması, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde alevle kesme yöntemiyle, paslanmaz çelik ve demir dışı metaller gibi özel malzemelerde ise

plazmayla kesme yöntemiyle yapılır. İnce malzemeler makasla da kesilebilir. U veya çift U-ağız hazırlanacak kalın saçlarda ise çoğunlukla talaşlı imalat yöntemleriyle ağız hazırlanır.

Tablo 3.1. TIG kaynağında en önemli kaynak ağız şekilleri [15]

										
Kıvrık alın		Dik alın		Köşe alın		Üçlü alın				
Ağız Biçimi	Çelik					Alüminyum				
	Kalınlık mm	Açı	Aralık mm	Kök alın Yük. mm	Uygulama	Kalınlık mm	Açı	Aralık mm	Kök alın yük. mm	Uygulama
	tüm	-	-	-	-	tüm	-	-	-	-
	<4	-	s	-	Tek taraftan	<5	-	0...5	-	Tek taraftan
	<8	-	s/2	-	Çift taraftan	<12	-	0...5	-	Çift taraftan
	>8	60	0...3	0...4	Çift taraftan	>10	70	0...6	0...3	Çift taraftan
	>10	60	0...4	0...6	Genelde kök paso	>12	70	0...6	0...4	Genelde kök paso
	>12	8	0...3	3	Genelde kök paso	>20	>15	0...3	3	Genelde kök paso
	-	-	-	-	-	>10	>20	-	-	Genelde kök paso

TIG kaynağında kaynak ağzının temizliği yaşamsal derecede önemlidir. Hadde cürufları ve oksit kalıntılarının fırça veya taşlamayla uzaklaştırılması gerekir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarında ağız kenarları ve dikişin çevresi, hızla yeniden oluşan oksit kalıntılarının uzaklaştırabilmesi için kaynaktan hemen önce bir



kez daha paslanmaz çelik fırçalarla fırçalanması gerekir. Çünkü oksit kalıntılarının elektron çıkış ışınının daha düşük olması nedeniyle ark tercihan bu tabakalarla elektrod arasında yanar, ancak bu durumda oksidin higroskopiktik derecesine bağlı olarak gözenek oluşma tehlikesi mevcuttur. Uygun çözücü maddelerle ilave uzaklaştırma tercih edilebilir. Bu işlem nikel ve alaşımlarının kaynağında daha önemlidir [17].

### 3.3. TIG Kaynağında Çalışma Tekniği

Kaynak edilebilen bütün paslanmaz çeliklere TIG kaynağı yöntemi uygulanabilir. Bu yöntemde kullanılan elektrod uçları AWS A5.12'de belirtildiği gibi; toryum, seryum ve lantan ile alaşımlandırılan tungstenden imal edilmiştir. Bu elektrodların en büyük avantajı, saf tungsten elektrodlara göre daha kararlı bir arka sahip olmaları ve daha yüksek kaynak akımları ile kullanılabilmeleleridir.

Koruyucu gaz genellikle argon olup, özellikle kalın parçaların kaynağında Helyum ya da Helyum + Argon karışım gazları da kullanılabilir. Argon gazının en büyük avantajı akış hızının düşük olması ve buna bağlı olarak helyuma göre daha istikrarlı bir ark oluşması ve ark voltajının daha düşük seviyede tutulmasıdır. Düşük voltaj kullanımı, ince sacların bağlantı bölgesinde yanma oluşmadan kaynak edilebilmesi açısından çok önemlidir [9].

Tablo 3.2'de TIG kaynağında örnek parametreler görülmektedir.

Tablo 3.2. TIG kaynağında örnek parametreler [9]

Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (Amp) DC (-)	80-100	100-120	120-140	200-250	200-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.1	5.1	5.1	4.2	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0548	0.0548	0.0548	0.0656	0.0820	0.0820

Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (Amp) DC (-)	90-100	110-130	130-150	225-275	225-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	4.2	4.2	4.2	3.4	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0820	0.0820	0.0820

### 3.3.1. Puntalama

TIG kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre nispeten düşük olan hızı nedeniyle distorsiyon (çekme ve çarpılma) miktarı biraz daha yüksek olduğundan kaynak yapılacak parçaların, eğer bir destek içinde değilse, yeteri kadar puntalama

noktasından birleştirilmeleri gerekir. Puntalama, ortadan dışa doğru yapılmalıdır. Bu şekilde dikiş ucu serbest kalır ve kaynağın başlangıcında ve sonunda emniyetli bir nüfuziyete ulaşılmış olur. Puntaların uzunluğu ve konumları, sac kalınlığıyla uyumlu olmalıdır.

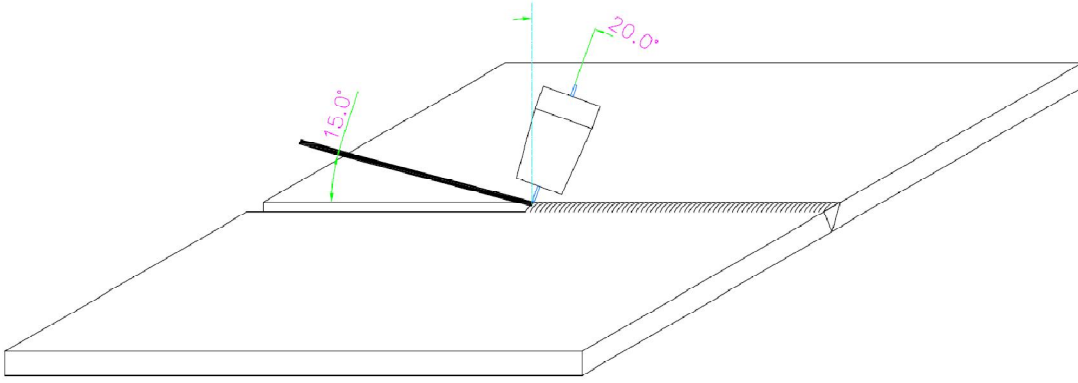
### 3.3.2. Arkın tutuşturulması

Kaynak tesisinde yüksek frekans veya yüksek gerilim impulsu cihazlar mevcutsa, temassız tutuşturma yapılabilir. Devreye sokulan akım rölesi, eğer elektrodun ucu parçaya 3 mm mesafede tutulmuşsa, arkı kendi kendine tutuşturur.

Tutuşturma düzeneği olmadığı durumlarda, elektrodun parçaya kısa bir süre temas ettirilmesi yoluyla bir kısa devre sonucu arkın tutuşturulması gerekir. Tüm akım şiddetiyle temas ettirerek tutuşturmada elektrodan bir parça tungsten kaynak ağzına yapışır; bu da kaynak metalinde tungsten kalıntısı olmasına yol açar. Aynı şekilde, kaynak yapılan esas metalin de kararsız yanan bir ark halinde ortaya çıkan sıçramalardan korunması gerekir. Bu nedenle kaynak ağzının dışına yerleştirilen bir bakır plakanın kullanılması ve bu şekilde arkın ağız içinde kalmasının sağlanması uygun olur. Bu amaçla hiçbir zaman karbon plaka kullanılmamalıdır. Karbon plakadan çıkan karbon, elektrod ucunda tungsten karbür (TiC) oluşturur. TiC, tungsten'e göre daha düşük erime sıcaklığına sahiptir ve bu nedenle kararsız arka yol açar ve elektrod ucunda, banyo içine de düşebilen büyük damlalar oluşturur [17].

### 3.3.3. Torcun tutuluşu ve ilerletilişi

TIG kaynak yöntemiyle hemen hemen tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilirse de, yatay pozisyon tercih edilmelidir. Arkı tutuşturduktan sonra çapraz hareketlerle başlangıç noktası sıvı hale getirilmelidir. Daha sonra, birleştirme kaynağında tercihan sola kaynak tekniği kullanılarak esas kaynak işlemi başlatılır. Torç kaynak yönüyle yaklaşık 20° açı yapılmalıdır. Şekil 3.3'te TIG kaynağında torç ve dolgu telinin tutuluşu gösterilmiştir.



Şekil 3.3. TIG kaynağında torç ve dolgu telinin tutuluşu [17]

### 3.4. Kaynak Parametrelerinin Etkileri

Her bir kaynak yönteminde kaynak parametreleri ve ortam şartları, kaynak işleminin sonucuna etki yapar. TIG kaynağında en önemli parametreler:

- Koruyucu gaz ve akış debisi,
- İlave kaynak teli çeşidi,
- Tungsten elektrodun durumu,
- Akım türü ve kutuplama şekli,
- Akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı'dır.

#### 3.4.1. Koruyucu gaz ve akış debisi

TIG kaynağında başlangıçta helyum daha sonra argon gazı kullanılmıştır. Her iki gaz da tek atomlu ve inert gazdır. Bu nedenle diğer elementlerle birleşmezler; renksiz ve kokusuz olup yanmazlar. Helyum gazı havadan hafifken argon havadan ağırdır. Dolayısıyla helyum uçucudur ve koruma kabiliyeti düşüktür. Ancak argon, havadan ağır olması nedeniyle erimiş metali daha iyi korur. Yüksek akım şiddetinin kullanılması gereken hallerde, daha yüksek ark gerilimi sağlayan helyum gazı kullanılır.

Helyumun iyonizasyon enerjisi oldukça yüksektir (24,5 eV) dolayısıyla da uzun bir ark boyuna gerek gösterir. Bu da ark gerilimini yükseltir. Sonuçta  $Q=U.I$  formülü uyarınca kaynak enerjisi yani ısı girdisi artar. Kaynak yerine verilen ısı miktarının

yükselmesi dikişin oluşumuna ve kaynak sırasındaki davranışına aşağıdaki şekilde etki eder:

- a) Nüfuziyet, tipik argon parmağı formunu kaybeder ve dikiş genişler
- b) Ön tavlamaya gerek kalmaz veya çok az miktarda uygulanır
- c) Kaynak hızı yükselir
- d) Sıcak ve iyi şekilde gazı alınmış bir kaynak banyosu elde edilir.
- e) Kaynak arkı sakin değildir; TIG kaynağında alternatif akımda arkın tutuşması zordur. MIG kaynağında da damlanın geçişi düzensiz olup iri tanelidir.

Argon helyuma göre daha düşük bir iyonizasyon enerjisine sahiptir (15,7 eV). Bunun için kolayca plazma meydana getirir. Ark kararlı ve sakin yanar. İyi bir elektrik iletkenliğine sahiptir. Isıl iletkenliği kötüdür. Kaynak banyosunun yüzey gerilimi yüksektir; sıçrama yapar ve tipik argon parmağı şeklinde nüfuziyet sağlar. Ark gerilimi düşük olduğundan ısı girdisi azalır.

Helyum ve argon karışımı altında yapılan kaynakta, oluşan yüksek kaynak sıcaklığından ötürü esas metal iyi bir şekilde erir ve tam bir birleşme sağlanır. Yüksek kaynak banyosu sıcaklığı, düşük yüzey geriliminin oluşmasına yol açar.

Uygulamada çok defa iki gazın iyi özelliklerinden faydalanılarak gazaltı kaynağında koruyucu gaz olarak Ar / He karışımları kullanılır. Böylece kaynak yerinde oluşan ısı, isteğe bağlı He miktarının fazlaştırılması veya azaltılması ile sağlanır. Helyum miktarı arttıkça viskozite azalır. Nüfuziyet iyileşir; rahat bir degazaj sağlanır ve kaynak hızı yükselir.

Tablo 3.3'te TIG Kaynağında koruyucu gazın etkileri verilmiştir. TIG kaynağı ile paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilen gazlar standartlarda belirlenmiştir. Sınai gaz üreticilerin koruyucu gaz kataloglarının araştırılması sonucu; paslanmaz çelikler için kullanılabilen koruyucu gaz çeşitleri Tablo 3.4'te verilmiştir [18].

Tablo 3.3. TIG kaynağında koruyucu gazın etkileri [18]

Koruyucu gaz	Tutuşma	Arkın kararlılığı	Dikiş genişliği	Nüfuziyet	Kaynak Hızı
Ar	xxx	xxx	xxx	xx	xx
Ar-He karışımı	xxx	xxx	xx	xx	xxx
He	x	x	x	xxx	xxx
He-Ar karışımı 25/75	xx	xx	xxx	xx	xxx
He-Ar karışımı 50/50	x	x	x	xxx	xxx

Tablo 3.4. TIG kaynağında, paslanmaz çelik için kullanılan koruyucu gaz çeşitleri [18]

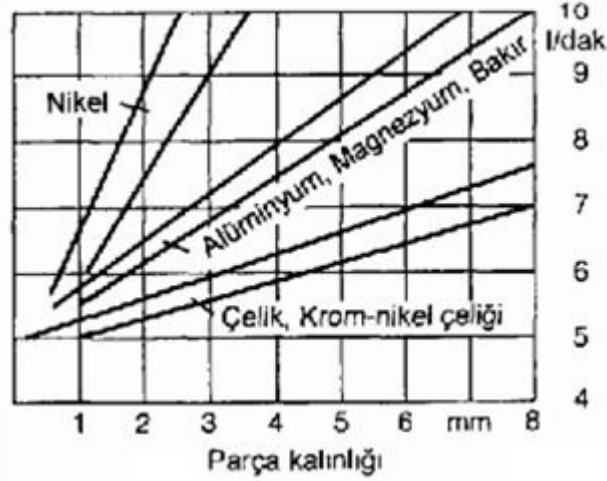
PASLANMAZ ÇELİKLER	
TIG KAYNAĞI	UYGULAMA
SAF ARGON	Bütün uygulamalar için.
(*) ARGOHİD-2 ARGOHİD-5	1,5 mm.den kalın östenitik paslanmaz çeliklerin manüel kaynağında.
ARGOHİD-10 ARGOHİD-15	Östenitik (300 serisi) paslanmaz çeliklerin yüksek hızda otomatik / robotlu kaynağında.
ARK-25	Östenitik (300 serisi) paslanmaz çeliklerin yüksek hızda otomatik / robotlu kaynağında.
(*) :ARGOHİD serisi gaz karışımları östenitik olmayan paslanmaz çeliklerde (örneğin 400 serisi) hidrojen kırılganlığına sebep olduğundan kullanılmaz.	

Koruyucu gaz tüketimi ve dolayısıyla ayarlanması gereken gaz debisi,

- Malzemenin kalınlığından,
- Esas metalden,
- Elektrod çapından,
- İlave tel çapından

etkilenir. Ayrıca bu değerlerden, kaynak banyosunun büyüklüğü, ısının tesiri altındaki bölge, kaynak hızı, torcun hareketleri ve kaynak ağzının şekli ve çevredeki hava hareketleri (rüzgar vs.) nedeniyle sapmalar ortaya çıkabilir. Koruyucu gaz tüketimi, akış miktarının bağlı olduğu gaz memesinin çapı tarafından belirlenir.

Şekil 3.4'te parça kalınlığına bağlı olarak argon tüketimi; Tablo 3.5'da ise elektrod çapı ve ilave kaynak teli çapı arasındaki ilişki verilmiştir [17].



Şekil 3.4. Parça kalınlığına ve gaz memesinin çapına bağlı olarak argon tüketimi [17]

Tablo 3.5. TIG Kaynağında elektrod çapı ve ilave tel arasındaki ilişki [17]

Sac Kalınlığı (mm)	Elektrod çapı (mm)	Kaynak ilave tel çapı (mm)
1	1	1,6
2	1,6	2,0
3	1,6	2,4
4	2,4	3,0
5	2,4...3,2	3,2
6	3,2	4,0
8	4	4,0
10	4...5	5,0

### 3.4.2. Kaynak dolgu telleri ve görevleri

TIG kaynak yönteminde gerekli olan kaynak dolgu metali el ile yapılan kaynakta tel çubuk halinde kaynakçı tarafından otomatik tel besleyici sistemlerde ise tel halinde sistemin tel sürme tertibatı tarafından kaynak bölgesine sokulur. Burada kaynak metalinin ark tarafından taşınımı söz konusu değildir ve ark asal bir gaz atmosferi altında oluşturulmuştur. Bu bakımdan özellikle alaşım ve dezoksidasyon elementlerinin büyük çapta yanması diye bir olay söz konusu değildir ve kayıplar göz önüne alınamayacak derecede azdır. Her tür metal ve alaşımın kaynağına

uygulanabilen TIG yöntemi için her tür metal ve alaşım için çok geniş bir spektrumu kapsayan kaynak telleri üretilmiştir.

TIG Yöntemine kullanılan kaynak alaşımları döküm ile elde edilmiş sert dolgu metalleri dışındakiler çekilerek üretilmiş 1 metre boyunda çeşitli çaplarda tellerdir. Bunların çapları DIN 8556 ya göre 1, 1.2, 1.6, 2, 2.4, 3, 3.2, 4 ve 5 mm 'dir çap toleransları ise 4 mm' ye kadar  $\pm 0.10$  mm, 5 mm. için ise  $\pm 0.15$  mm.dir. Otomatik ve tel sürme tertibatlı sistemlerde kaynak telleri aynen MIG kaynak yönteminde kullanılanlar gibi kangal halinde pazara sunulurlar.

Kaynak teli üreticileri bunları yüzeyleri gayet temiz olarak kutu veya özel ambalajlarda pazara sunarlar, bunların işletmelerde uygun olmayan koşullarda depolanması özelliklerinin bozulmasına neden olur. Nemli yerlerde depolanan bazı tür tellerin yüzeylerinde oksit tabakası oluşabilir. Yağlı el ile tutulan veya yağlı gresli maddeler ile temas eden teller ile açıkta ambalajı açılmış olarak depolanan tellerin yüzeyinde gerek rutubetin ve gerekse de ortamdaki tozların çökmesi sonucu kir tabakası oluşur bütün bunlar kaynak sırasında banyoya geçerek bağlantının beklenen kalitede olmamasına neden olurlar [15].

Kaynak ilave malzemeleri, elle kaynakta çubuk formunda, mekanize kaynakta ise ayrı bir tel ilerletme aparatından sürekli şekilde beslenen bir kaynak teli formundadır. Çubuklar, kaynakçı tarafından parça yüzeyiyle  $15^\circ$  açı yapacak şekilde tutularak hafifçe dokundurma hareketleriyle öne doğru çekilir ve koruyucu gaz örtüsü altında damlalar halinde eritilmesi gerekir. Nüfuziyeti zayıflatacağı için, İlave telin arkın altında kalmasından kaçınılmalıdır. Ancak doldurma kaynağı tamamen farklıdır. Bu işlemde genellikle düşük bir nüfuziyet ve karışma arzulanır. Buna ulaşmak için ilave telin kısmen arkın altında kalması ve orada erimesi gerekir. Tablo 3.6'da TIG kaynak yönteminde östenitik paslanmaz çelikler için ilave teller görülmektedir.



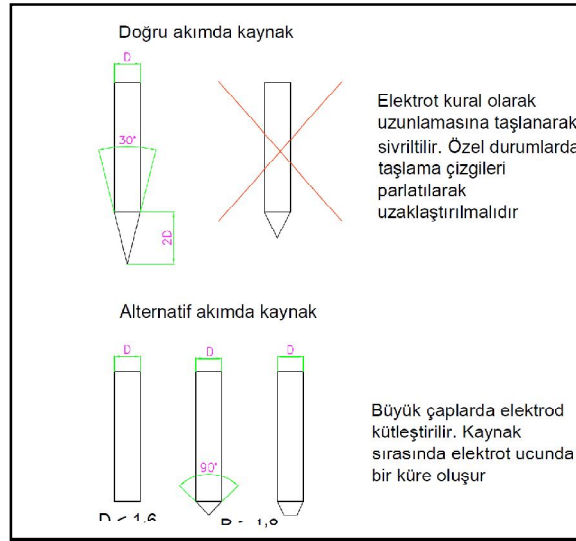
Tablo 3.6. TIG Kaynak yönteminde östenitik paslanmaz çelikler için dolgu telleri [9]

Malzeme	İlave Tel	Malzeme	İlave Tel
201	E209, E219, E308	310S	E310Nb, E310
202	E209, E219, E308	312	E312
205	E240	314	E310
216	E209	316	E316, E308Mo
301	E308	316H	E316H, E16-8-2
302	E308	316L	E316L, E308MoL
304	E308L, E309	316LN	E316L
304H	E308H	316N	E316
304L	E308L, E347	317	E317, E317L
304LN	E308L, E347	317L	E317L, E316L
304N	E308, E309	321	E308L, E347
304HN	E308H	321H	E347
305	E308, E309	329	E312
308	E308, E309	330	E330
308L	E308L, E347	330HC	E330H
309	E309, E310	332	E330
309S	E309L, E309Nb	347	E347, E308L
309SNb	E309Nb	347H	E347
309NbTa	E309Nb	348	E347
310	E310	348H	E347

### 3.4.3. Elektrodun durumu

Tablo 3.8.'de farklı saç kalınlıkları için tavsiye edilen elektrod çapları verilmiştir. Bu tablodaki değerler çeliklerin doğru akımla (negatif kutuplamada) kaynağında geçerlidir. Alüminyum halinde, alternatif akımda elektrodun ısınması nedeniyle biraz daha büyük çap değerlerinde elektrotların kullanılması gerekir. Yine bu nedenle, alternatif akımla kaynakta elektrodun ucu sivri şekilde taşlanmaz.

Uygun akım şiddetiyle yüklendiğinde, ark sakin bir şekilde yanar ve elektrodun ucunda sıvı tungstenden küçük bir küre oluşur. Bu nedenle elektrodların taşlanmaması, aksine kaynaktan kısa bir süre önce, uygun bir küre erimesi için elektrodun kızdırılması tavsiye edilmektedir. Şekil 3.5'te akım türü ile elektrod ucunun aldığı şekiller gösterilmiştir.

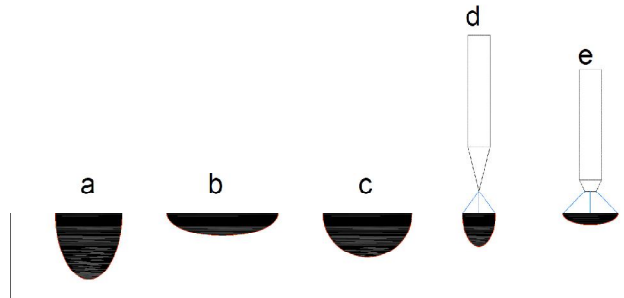


Şekil 3.5. Akım türü ile elektrod ucunun aldığı şekiller [17]

### 3.4.4. Akım türü ve kutuplamanın etkisi

Akım türü ve kutuplarına, her şeyden önce nüfuziyet formunu etkiler. Şekil 3.6 bu durumu şematik olarak göstermektedir.

- a: doğru akım (negatif kutup)
- b: doğru akım (pozitif kutup)
- c: alternatif akım
- d: sivri uçlu elektrod
- e: küt uçlu elektrod



Şekil 3.6. Akım türü, kutupluluk ve elektrod formuna bağlı olarak nüfuziyet formları [17]

Negatif kutuplamanın aksine pozitif kutuplamalı kaynaktaki düşük nüfuziyet, pozitif kutuplu kaynaktaki gerekli olan kalın elektrodalarda daha düşük enerji yoğunluğu ve daha düşük akım yüklenebilirlik sağlar.

Bu durum, alternatif akımla kaynakta da benzer form oluşturur. Kalın elektrod uçları, düz ve geniş bir nüfuziyet oluşturur. Kaynak sırasındaki aşınma nedeniyle elektrodun kütleşmesinin, nüfuziyet derinliğindeki bir azalmaya yol açacağı da hesaba katılmalıdır.

### 3.4.5. Akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızının etkisi

Akım şiddeti, diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, her şeyden önce nüfuziyet derinliğini etkiler. Ayarlanan akım şiddeti bu nedenle kaynak edilen parça kalınlığına uygun olmalıdır. Parça kalınlığının her mm'si için gerekli akım şiddeti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Çelik - doğru akım (negatif kutup) - 45 A / mm

Alüminyum - alternatif akım - 40 A / mm

TIG kaynağında ark gerilimi, arkın tam bir gaz örtüsü ile korunmasının mümkün olduğu kadar kısa olması için daima çok düşük olmalıdır. Bu nedenle dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Yine de ark geriliminin yükseltilmesi yani ark boyunun arttırılması halinde, dikiş genişliği artar ve alaşım yanması problemi azalır.

Ark gerilimi gibi kaynak hızı da, diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu derecede dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Kaynak sırasındaki şartlara göre ayarlanır ve aynı değerde tutulur. Bu sayede esas metal yeterli derecede erir ve katılma sırasında eş ölçülü bir dikiş oluşur. Kaynak hızının arttırılması, birleşme hatalarına, düşürülmesi ise dikişin genişlemesine ve istenmeyen aşırı ısı girdisine yol açar. TIG kaynağında en yaygın kaynak hızları 10 ila 40 cm/dak arasındadır [17].

## **BÖLÜM 4. KAYNAKLI PARÇALARDA DİSTORSİYONLAR**

Kaynak işlemi, bölgesel bir döküm işlemi olarak da adlandırılmaktadır. Yani bölgesel ısı artışları, birleştirilecek olan parçaların belirli kısımlarını ergiterek birbirlerine kaynamalarını sağlar. Bölgesel ısı farkları birleşmeyi sağlarken beraberinde bazı olumsuz durumları da getirir. Distorsiyonlar da bu olumsuz durumlardandır.

Distorsiyon, kaynak işlemindeki ısınma soğuma döngüsü nedeniyle meydana gelen istenmeyen bir durumdur. Isınma soğuma döngüsü sürerken metalin distorsiyonuna pek çok faktör etki eder. Örneğin, kaynak alanının sıcaklığının artması, metalin ısıl geçirgenliği, ısı akışının düzensizliği distorsiyonlara neden olur [16].

### **4.1. Gerilmelerin ve Distorsiyonların Meydana Gelmesine Etki Eden Faktörler**

Kaynak sırasında meydana gelen gerilmeler ve çarpılmalar birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin başlıcaları:

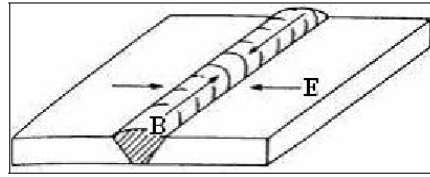
- Isıtma gerilmeleri (ısıl gerilmeler)
- Konstrüksiyonun rijitliği,
- Malzemenin metalurjik özellikleridir [16].

#### **4.1.1. Kaynak gerilmeleri**

Metalin bölgesel olarak yumuşayınca kadar her tavlama, soğumayı müteakip gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Gerilme içermeyen bir kaynağın yapılması hemen hemen imkânsızdır [16].

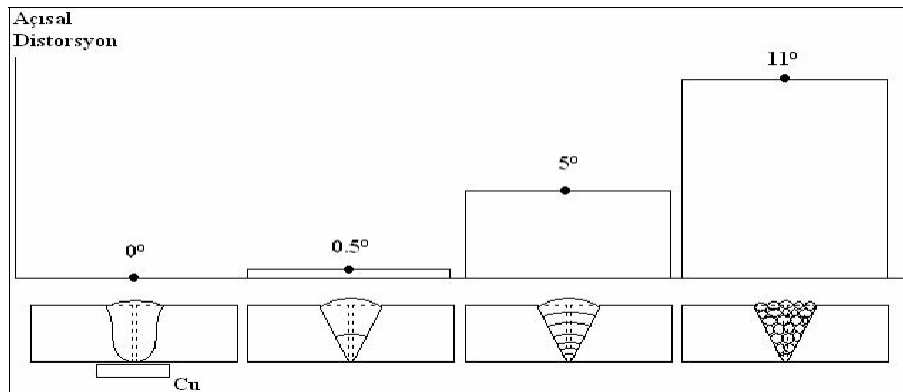
#### 4.1.1.1. Enlemesine gerilmeler

Engellenmiş kendini çekmeler nedeniyle, dikişe dikey olarak oluşan dış enine gerilmeler (dış engellemeden ötürü) boylamasına kendini çekme kuvvetlerinin meydana getirdiği kendini çekmelerle birleşir. Şekil 4.1.'de kaynak sonrası oluşan gerilmeler görülmektedir.



Şekil 4.1. Kaynak sonrası oluşan gerilmeler [16]

Sıcaklık alanının kaynak yerinden başa doğru düzgün olarak yayılması, dikiş boyunca oluşan enine gerilmelerin azalmasını sağlar. Bunun için enine gerilmeler, sıçrama (atlama) ve geri adım kaynak usulleriyle azaltılabilir. Bu usuller, bilhassa az kaynak metalinin yığılması ve ısının çabuk yayılması dolayısıyla artan çatlama tehlikesinden ötürü, kök pasolarının kaynağı için çok elverişlidir. Açısal distorsiyonun belirlenmesi amacıyla yapılan bir araştırmada, paso sayısının gerilmenin dağılışı üzerindeki etkisi Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Yüksek kaynak hızı ile çalışmak enine gerilmeleri azaltır [16].



Şekil 4.2. Farklı paso sayılarında oluşan farklı açısal distorsiyonlar [16]

#### 4.1.1.2. Boylamasına gerilmeler

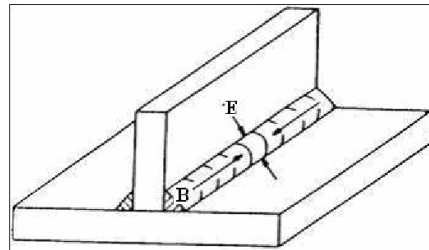
Eğer konstrüksiyon sıkı bir şekilde sabitlenmemişse, dikişteki boylamasına çekme kuvvetleri, boylamasına ve enlemesine gerilme tesiri meydana getirir.

Dikiş boyunca, dikişe ait bölgelerde boylamasına büyük çekme gerilmeleri oluşur. Söz konusu basma reaksiyonu gerilmeleri, yeterli miktarda tavlanan kısımlarda ortadan kalkar. Dikişin sonlarında (uçlarında) bir basma ve ortasında bir çekme (ayrılma) etkisi meydana çıkar. Bu da, hemen enine bir gerilmenin doğmasına neden olur.

Boylamasına gerilmelerin en büyük olduğu yer, kaynak metalinin hemen yanındaki tavlanan dar bölgedir (Özellikle sertleşme eğilimi olan esas metalde). Bu gerilmeler dikişte enine çatlaklar oluşturabilir. Yavaş kaynak yaparak veya bir ön tavlama uygulayarak (tavlanan bölge genişlemiş olur) boylamasına gerilmeleri azaltmak mümkündür. Fakat böylece sacdaki reaksiyon (basma) gerilmelerinin miktarı yükselmekte ve bu da kamburlaşma (bombeleşme) tehlikesini doğurmaktadır [16].

#### 4.1.1.3. İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri

Parçanın yalnızca yüzeyi eridiği zaman, genişleme ve kendini çekme, boylamasına ve enine yönlerde kuvvetli bir sınırlamayla karşılaşır. Sabitlenmiş çift taraflı iç köşe dikişinde, birinci köşe dikişi enine istikamette bir etki yapar. Böylece büyük kısmı dikişte toplanan üç eksenli gerilme hali meydana gelir. Bunun bütün dikiş kesidince, her tarafında çekme etkisi yapan, hacimsel bir gerilme hali ortaya çıkardığı tahmin edilmektedir. Şekil 4.3'te İç köşe kaynağında oluşan gerilmeler görülmektedir [16].



Şekil 4.3. İç köşe kaynağında oluşan gerilmeler [16]

#### 4.1.2. Kalıntı gerilmeleri

Kalıntı gerilmeler çeşitli üretim/imalat aşamalarından sonra parçada kalan elastik gerilmelerdir. Kaynaklı imalat, döküm, yüzey işlemleri ve ısıl işlemler sonucunda malzeme içerisinde homojen olarak dağılmadan kalan plastik deformasyonlar veya ısıl değişimler, kalıntı gerilim oluşmasındaki ana nedenlerdendir.

Kalıntı gerilmeler üretimden/imalattan sonra parçanın içerisinde kaldığından kullanım sırasında dışarıdan uygulanacak olan gerilmeler kalıntı gerilmelerle birlikte parçaya etki eder. Bu nedenle kalıntı gerilim içeren bir parçada, parçaya etkileyen gerçek yükleme durumu analiz/hesaplama sonucunda tahmin edilenden çok farklı olabilir. Kalıntı gerilmeler üretilen malzemenin servis ömrünü doğrudan etkilerler. Çekme kalıntı gerilmeler malzemenin yorulma ömrünü azaltıp erken bir hasara neden olabilirken basma kalıntı gerilmelerin malzemenin yorulma ömrünü arttırıcı etkisi vardır.

Kalıntı gerilmeler üretilen malzeme içerisinde dengelenmiş bir halde bulunurlar. Parçanın bir bölgesinde var olan basma kalıntı gerilmeler, diğer bölgelerdeki çekme kalıntı gerilmeler tarafından dengelenirler ve malzeme içerisinde bir kalıntı gerilmesi dağılımı meydana gelir [19].

Kalıntı gerilmelerini 4 grup altında toplamak mümkündür. Bunlar;

- 1- Enine Çekme: Kaynak edilen plakalarda kaynak dikişine dik meydana gelen kendini çekmedir.
- 2- Boyuna Çekme: Kaynak edilen plakalarda, kaynak dikişi boyunca meydana gelen kendini çekmedir.
- 3- Açısal Çarpılma: Bir nevi enine çekmedir. Parçanın kaynak edilmeden önceki konumuna göre açısal olarak kendini çekmesidir.
- 4- Kalınlık Çekmesi: Kaynağı yapılan parçanın kesit kalınlığı boyunca kendisini çekmesidir [20].

Kalıntı gerilmelerinin tetiklediği 4 temel problem söylenebilir. Bunlar;

-Mukavemet Problemleri: Kalıntı gerilimler üretimden/imalattan sonra parçanın içerisinde kaldığından kullanım sırasında dışarıdan uygulanacak olan gerilimler kalıntı gerilimlerle birlikte parçaya etki eder. Bu nedenle kalıntı gerilim içeren bir parçada, parçaya etkiyen gerçek yükleme durumu analiz/hesaplama sonucunda tahmin edilenden çok farklı olabilir. Bu tüm sistemde bir güvenlik problemidir. Kalıntı gerilmelere sebep olan çarpılma kuvvetlerinin şiddetine bağlı oluşan çeşitli tür ve miktardaki çarpılmalar, üründen beklenen fonksiyonların sağlanmasını engeller.

- Kullanım Ömrü ve Korozyon Problemleri: Kalıntı gerilmeler parçada gerilmeye, korozyon çatlmasına, sürünmeye, çarpılmaya, aşınmaya, kırılmaya, yorulma çatlmasına ve zamansız hatalara yol açabilir. Bu parçanın ömrünü kısaltan bir durumdur.

- Montaj Problemleri: Özellikle kafes veya dolu gövdeli kirişlerde oluşan çarpılmalar, büyük oranda ölçü ve geometrik sapmalara sebep olduğundan, ya ürünü kullanılamaz duruma getirmekte veya düzeltme işlemleri için ilave ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Kaynaklı yapılarda istenilmeyen durumlar olan çekme ve çarpılmalar uygun yöntemlerle giderilmediği takdirde, bunların düzeltilmesi için harcanan zaman ve işçilik, imalat için harcanan zaman ve işçiliğe eşit olmaktadır. Bu durum ise yapının maliyetini oldukça yükseltmektedir. Örneğin, otobüs şasesi gibi kafes kiriş sistemlerle oluşturulan ve dar ölçü toleranslarına sahip uzun karayolu taşıtlarının şaseslerinde meydana gelen çarpılmalar, şase üzerine monte edilecek üst elemanların uyumunda problemler oluşturabilmektedir.

- Estetik Problemleri: Biz mühendislerin bir sistemi veya parçayı tasarlarken dikkat etmemiz gereken önemli parametrelerden biri de onun estetiğidir. Kalıntı gerilmelerini yok etmek için kullanılan çekiçleme ve ısıtma işlemi gibi yöntemler estetik görünümü olumsuz etkilemektedir. Özellikle ürünün talep görmesini sağlaması açısından bu konu mühendisler için değer kazanmaktadır.

Mühendislikte, bir parçanın olası performansını değerlendirmek için parça içerisindeki kalıntı gerilmelerinin gerilme seviyesinin bilinmesine gerek vardır. Gerilme ölçme terimi yaygın kullanılmasına rağmen gerilme direkt olarak ölçülemeyen bir özelliktir. Gerilme ölçme yöntemlerinin tamamı gerilme gibi bazı



özelliklerin ölçülmesini ve bileşik gerilmenin hesaplanmasını gerektirmektedir. Bir parçanın tasarımında uygulanan gerilmelerin hesabında kalıntı gerilmeleri tahmin etmek oldukça zordur. Dolayısıyla kalıntı gerilmelerin hesaplanması normal gerilmelerin hesaplanmasından daha zordur. Kalıntı gerilme ölçümleri geleneksel gerilme analiz işlemleri kullanılarak gerçekleştirilemez. Çünkü kullanılan sensörler yalnızca uygulanan yükün neden olduğu gerilmedeki değişimi ölçerler. Bu sensörler kalıntı gerilmeleri doğrudan ölçemezler [21].

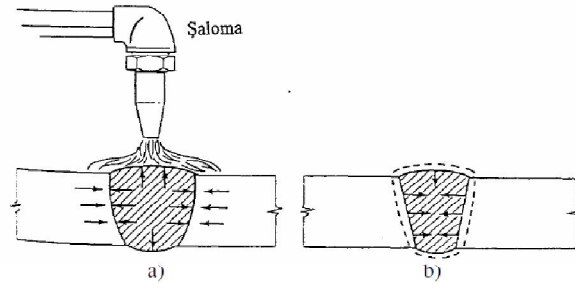
#### 4.2. Distorsiyon Çeşitleri

Kaynak sırasında malzemelerde ısınmalar ve soğumalar sonucunda istenmeyen plastik şekil değişiklikleri meydana gelir. Şekil değişiminden meydana gelen gerilmeler, diğer gerilmeler ile birleşerek iç kuvvetleri oluşturur. Bu iç kuvvetler kaynaklı yapıda boyutsal değişime, eğilmeye, burulmaya ve dönmeye sebep olur. Kaynaklı yapıdaki bu kalıcı şekil değişimlerine distorsiyon ya da çarpılma denir.

Oluşan bu distorsiyon, kaynak esnasında üç temel boyut değişimi olarak kendini gösterir, bunlar;

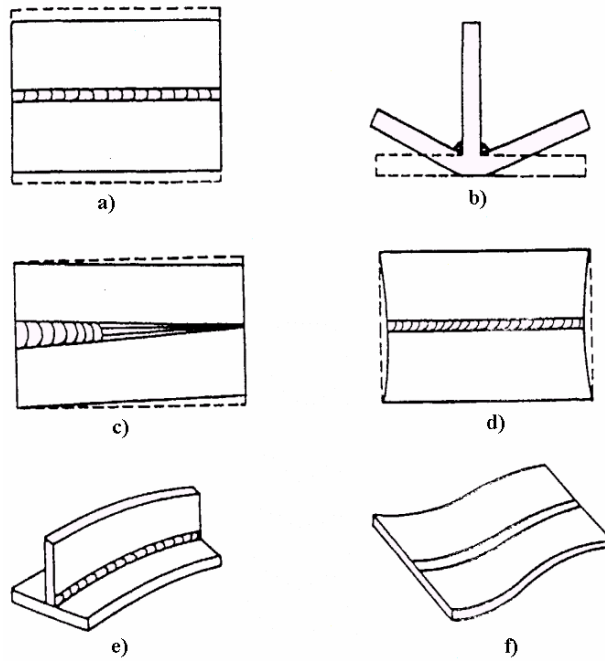
- a- Kaynak çizgisine dik olarak meydana gelen enine büzülme
- b- Kaynak çizgisine paralel meydana gelen boyuna büzülme
- c- Kaynak çizgisine göre dönme içeren açısal distorsiyon

Bir kaynaklı yapıda ısınma ve soğumanın nasıl bir iç gerilim oluşturduğu Şekil 4.4'te anlatılmıştır. Isınan kısımlar taralı olarak Şekil 4.4.a' da gösterilmiştir. Bu bölge ısının etkisiyle genişlemek isteyecektir ama çevresindeki soğuk bölge genişlemeyi önleyecektir. Isınan kısım sadece kalınlık doğrultusunda genişler. Bu ısınan noktada basma gerilmeleri oluşur. Soğuma sırasında ise taralı alan büzülme isteyecektir. Isınan bölgeyi çevreleyen kısım bu sefer büzülme karşı koyacaktır.



Şekil 4.4. Kaynaklı yapılarda ısının etkisiyle distorsiyona sebep olan genişleme ve büzülme a) Isıtma, b) Soğutma [22]

Soğuma sırasında ise oluşan gerilme çekme tarzındadır. Bu ısıl ilsem sonucunda malzemede boyut bir değişim meydana gelmiştir (Şekil 4.4.b). Yukarıda saydığımız distorsiyon tipleri aşağıda Şekil 4.5'te gösterilmektedir [22].



Şekil 4.5. Muhtelif kaynak distorsiyon türleri a)Enine büzülme, b)Açısal değişim, c) Dönme distorsiyonu, d) Boyuna büzülme, e)Boylamasına eğilme, f)Burkulma çarpılması [22]

### 4.3. Distorsiyonu Azaltmak İçin Yapılması Gerekenler

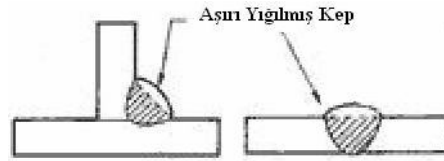
Kaynakta oluşan kalıntı gerilme distorsiyonlar, kaynak esnasında kullanılan özgül ısı oranına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ısı girdisini ve aynı zamanda ergimiş metal kesit alanını asgari düzeyde tutarak daha az distorsiyon ve kalıntı gerilmenin

oluşumu sağlanmış olur. Distorsiyon ve kalıntı gerilmeler bir kaynaklı birleştirmede malzemeye ısı girdisi olduğu için kaçınılmaz durumlardır. Bu nedenle distorsiyonsuz ve kalıntı gerilmersiz bir kaynaklı birleştirme düşünülemez. Sadece bu olumsuzluklar denetim altında tutularak en aza indirilebilir.

Bir kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen ya da gelme ihtimali olan kalıntı gerilme ve distorsiyonları önlemek için, kaynaktan önce, kaynak sırasında ve kaynaktan sonra olmak üzere tedbirler alınabilir [22].

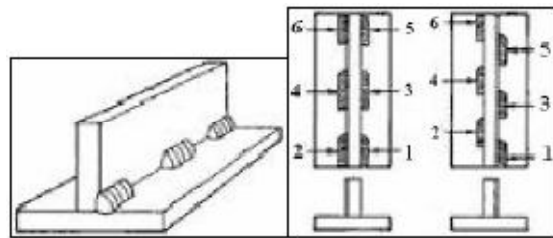
#### 4.3.1. Konstrüktif önlemler

a. Kaynak dikişleri ölçüden fazla olmamalı, yapılan hesapların verdiği veya standartlardan alınan değerlerin üstüne çıkılmamalıdır. Aşırı kaynaktan uzak durmak gerekir. Yığılmış kep distorsiyonu arttırır.



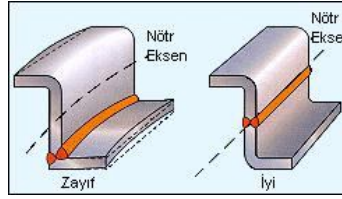
Şekil 4.6. Yığılmış kep [16]

b. İnce sacların iç köşe dikişleri aralıklı şekilde yapılmalı.



Şekil 4.7. Metod kaynak [16]

a. Kaynak dikişleri simetrik olmalı ve mümkün olduğu kadar malzemenin ağırlık merkezine yerleştirilmeli.

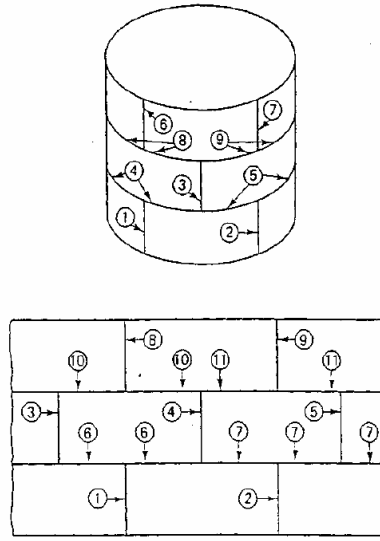


Şekil 4.8. Ağrlık merkezinde atılan dikişlerin görüntüsü [16]

- d. Mümkün olduğunca kuvvet hatlarının ani yön değiştirmelerinden kaçınılmalı.
- e. İnce parçaların kaynağı esnasında burkulmaya uğramamaları için takviye edilmeli.
- f. Kaynak dikişleri birbirine çok yakın olmamalıdır. Alın kaynak dikişleri arasında en az 200mm'lik bir mesafe bırakılmalıdır.
- g. Mümkün olduğu kadar sekil değiştirme kabiliyeti yüksek malzemeler seçilmeli.
- h. Konstrüksiyon, kaynak sırasında parçaların kendini çekebilmeleri göz önüne alınarak tertiplenmeli.
- i. U kaynak ağızı ya da X kaynak ağızı ısı girdisini azaltacağı için distorsiyonları da azaltacaktır. V kaynak ağızı kullanılacaksa açının 30° den az olması sağlanmalıdır.
- j. Kuvvet hatlarının akışı açısından, alın birleştirmeler kullanılmalıdır.
- k. Çok eksenli gerilme halinin meydana çıkması önlenmelidir. Çeşitli kaynak dikişlerinin aynı yerde toplanması halinde, parçanın bazı kısımları ayrılarak gerekli tedbirler alınmalıdır.
- l. Konstrüksiyon, kaynak esnasında mümkün merteye uzun müddet kendini serbest olarak çekebilecek tarzda dizayn ve monte edilmelidir.
- m. Bir konstrüksiyonun rijiditesi, kaynak esnasındaki uzama imkânı ile az tutulmalıdır.
- n. Kaynak tekniğine uygun dizayn yapılmalıdır [16].

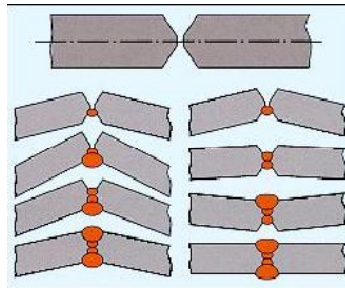
#### 4.3.2. Teknolojik önlemler

- a. Elektrot çapı ve akım şiddeti, kaynak ve gerilme tekniğı bakımından uygun tespit edilmelidir. Böylece parçaya gereksiz miktarda fazla ısının verilmesi engellenmiş olur.
- b. Uygun kaynak sırası takip edilmeli



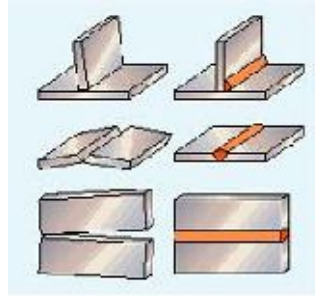
Şekil 4.9. Büyük tanklarda kaynak dikişi sırası [16]

- c. Kök pasosunda meydana gelecek çatlakların önlenmesi için, bu paso kalın bir elektrot ile kaynak yapılmalıdır.
- d. Takviyeler en son kaynatılmalı.
- e. Açısal distorsiyonu azaltmak için, simetrik dikişler sıralı şekilde atılmalıdır.



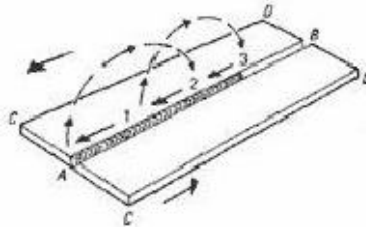
Şekil 4.10. Simetrik dikişler [16]

- f. Kaynak sonrasında oluşması muhtemel açığı kaynaktan önce eğri çatarak oluşturup, kaynak sonrası normal formunu bulmasını sağlanmalıdır.



Şekil 4.11. Kaynak öncesi ters sehim vermek [16]

g. İmkânlar nispetinde sıçrama veya geri adım tekniğinde kısa dikişler çekerek kaynak yapılmalıdır.



Şekil 4.12. Geri adım tekniği [16]

h. Açısal distorsiyonu önlemek için, mümkün olduğu kadar kalın tabakalar halinde kaynak pasosu çekilmeli.

i. Küçük pasolarla yapılan kaynaklarda, pasolar önce levha kenarından başlatılmalı.

j. Minimum gerilme uçlarının meydana gelmesi için, genel olarak kalın çaplı elektrot kullanılmalıdır.

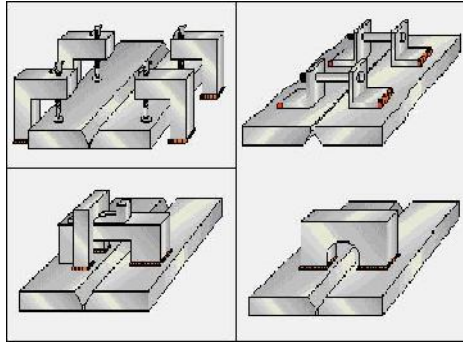
k. Tabaka halindeki kaynak, dar pasolar halinde kaynaktan daha iyidir.

l. Kaynak ağzının dar pasolarla doldurulması halinde, kaynağa önce ağzın kenarlarından başlanmalı ve sonra ortadaki paso kaynak yapılmalıdır.

m. Üst pasolar gerilme uçları oluşturduğundan, tek taraflı ağız şekillerinde, çok sayıda dar paso ile kaynak yapmaktan kaçınılmalıdır. Her paso ısı girdisi anlamına gelmektedir.

n. Bir yama ve deliğin kaynağında, enine gerilmeleri azaltmak ve çatlama tehlikesini önlemek için, yamaya hafif bombelik verilmelidir.

o. Bağlama elemanları içerisinde, kaynak yapılması mümkün olmayan parçalar, enine kendini çekme istikametinde belirli bir hareket miktarına izin verilecek şekilde, el mingeneleri ile sabitlenmelidir.



Şekil 4.13. Kaynakta kullanılan bazı sabitleme elemanları [16]

- p. Kirişlerin dikey kısımlarının birbirine alın olarak birleştirilmesinde, dikey levhanın kendini iyice çekebilmesi için, önce boğaz kirişleri 300mm kadar açık bırakılmalıdır.
- r. Kaynak sırasında geçiş bölgesi sertleşen malzeme veya kalın kesitlerde, bir ön tavlama uygulanarak ya da kalın bir elektrot seçerek gerekli tedbirler alınmalıdır [16].

#### 4.3.3. İşletmeyle ilgili tedbirler

- Kaynak ağızları dikkatli şekilde hazırlanmalı.
- Parçalar kaynaktan önce puntalanmalı.
- Kaynak sırası ve planı uygulanmalı.
- Sertleşme kabiliyeti yüksek olan malzemelerde ön tavlama yapılmalıdır [22].

#### 4.3.4. Kaynaktan sonra alınması gereken tedbirler

Parçalara kaynaktan sonra gerilim giderme tavlaması uygulanabilir. Bu yöntemle kalıntı gerilme giderme miktarı ısıtma sıcaklığına, ısıda tutma süresine, çeliğin kimyasal bileşimine, akma mukavemetine ve soğuma hızına bağlıdır [23].

#### 4.3.5. Çekiçleme

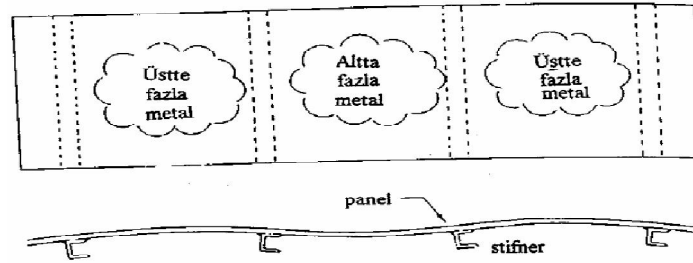
Çekiçleme ile eğilme momenti oluşmadan, çatlak meydana gelmeden düşük oranda sertleştirme ve plastik şekil verme sertleşmesi yapılır. Bu işlemde basit çekiçler kullanılabilir gibi pnömomatik çekiçler de kullanılır. Bu işlem ilk ve son paso hariç ara pasolar çekildikten sonra yapılır [22].

#### 4.3.6. Titreşimle gerilim giderme

Kalıntı gerilme, düşük ve yüksek frekanslı titreşimlerle azaltılabilir. Bu işlem sırasında mikro yapıda herhangi bir değişim söz konusu olmaz. Kullanılan cihaz değiştirilebilir hıza sahip titreştirici (vibratör) ihtiva eder. Vibratör hızı ayarlanarak iş parçasında rezonans frekansında titreşim elde edilir. İşlem süresi 10–30 dakika arasında değişir. Bu yöntem ısı işlemlerden daha ucuz ve işlem zamanı çok kısadır [22].

#### 4.3.7. Alevle ısıtarak düzeltme

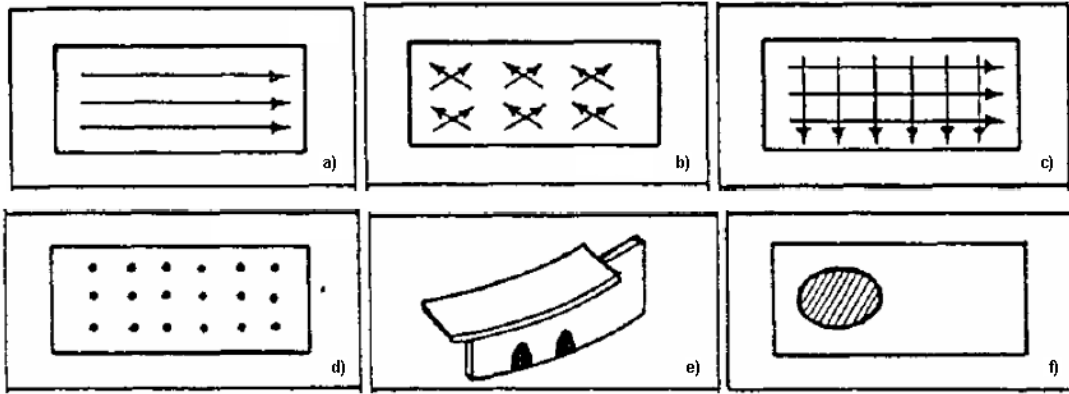
Çarpılmış kaynaklı yapıların düzeltilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biride alevle ısıtma yöntemidir. Bu yönteminin prensibi ısıtılan malzeme içerisinde büyük bir dik sıcaklık radyanı birbirine çok yakın iki nokta arasında sıcaklık farkı oluşturmaktır. İşlem için büyük bir şaloma kullanılır. İş parçasını ısıtırken çok yüksek sıcaklıklar elde edilmese de ani ısıtma sonucunda malzeme tekrar soğurken büzülecektir [22].



Şekil 4.14. Stifnerli bir panelin alevle doğrultulacak olan dış bükey kısımları [22]

Sekil 4.15'te alevle ısıtma teknikleri verilmektedir. Burada çizgisel ısıtma, eğilen levhaların düzeltilmesi için kullanılır. Çapraz ısıtma, büyük distorsiyonları yok etmek amacıyla kullanılır. Çam iğnesi ısıtma tekniği ise, çizgisel ve noktasal ısıtma tekniği arası bir tekniktir. İki doğrultuda meydana gelen büzülme ve çarpılmaların düzeltilmesi için kullanılır. Üçgen ısıtma tekniği ise özellikle eğilme çarpılmalarının düzeltilmesinde kullanılır. Geniş alan ısıtma tekniği ise daha çok büyük oranda çarpılma gösteren bölgelerin düzeltilmesinde kullanılır [22].

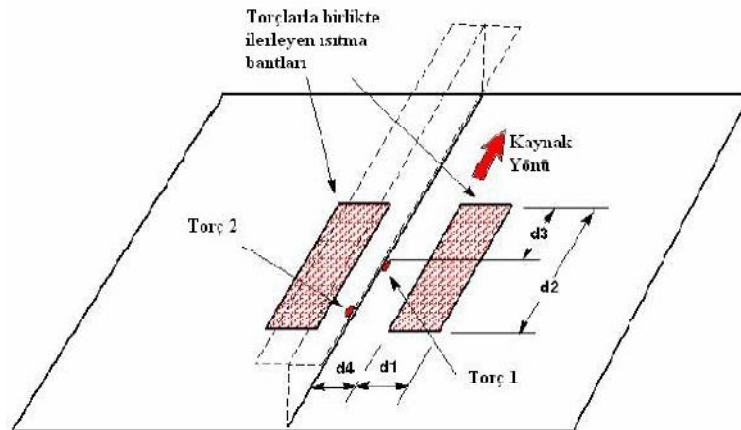




Şekil 4.15. Alevle ısıtma teknikleri a) Çizgisel ısıtma, b) Çam iğnesi ısıtma, c) Çapraz ısıtma, d) Noktasal ısıtma, e) Üçgen ısıtma, f) Geniş alan ısıtması [22]

#### 4.3.8. Geçici ısıl gerilmelendirme yöntemi

Geçici ısıl gerilmelendirme yöntemi temel olarak iki ısıtıcı bandın torçlar ile birlikte iş parçası üzerinde hareket etmesine dayanan burkulma azaltıcı bir yöntemdir. Bir yandan kaynak işlemi devam ederken, bir yandan da ısıtıcı bantlar iş parçasını ısıtır. Böylece geçici bir ısıl gerilme sağlanmış olur. Isıtıcı bantların boyları,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  ve  $d_4$  uzunlukları seçilecek kaynak tekniğine göre farklılıklar gösterebilir. Isıtıcı bantlar iş parçasının kenarlarına ne kadar yakın olursa o kadar düzenli bir ısıl gerilme sağlanmış olur [16].



Şekil 4.16. Geçici ısıl gerilmelendirme tekniği şeması [16]

## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Gıda, ilaç ve diğer endüstriyel uygulamalarda paslanmaz çeliklerden, boru flanş ürünleri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Borulara flanşlı birleştirmede kaynaklı imalat yöntemi kullanılmakta ve distorsiyonlar büyük problem oluşturmaktadır. Paslanmaz çeliklerde boru flanş kaynaklarında, minimum distorsiyon koşullarının belirlenmesine yardımcı olması için deneysel çalışmalarda, AISI 304 paslanmaz çelik malzemesi, TIG (GTAW) kaynak yöntemi (metod) ve kaynak parametrelerinden kaynak akımı değerlerinin ilave telli ve telsiz koşullarda açılmal distorsiyona etkisi araştırılmıştır.

### 5.1. Malzeme ve Dolgu Teli

- Malzeme

Malzeme çeşidi olarak günümüzde paslanmaz çelik çeşitleri içinde dünyada en fazla tüketilen, östenitik paslanmaz çelik ailesinden, EN standardına göre 1.4301, UNS standardına göre S30400, AISI standardına göre 304 olarak adlandırılan paslanmaz çelik seçilmiştir.

Tablo 5.1. AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

Malzeme	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğerleri
AISI 304	0.08	2.0	1	18	10	0,045	0,03	-

- Dolgu kaynak teli

Kaynak dolgu teli olarak Ø 2 mm ER 308L teli kullanılmıştır. Kaynak dolgu telinin kimyasal bileşimi Tablo 5.2’de verilmiştir.

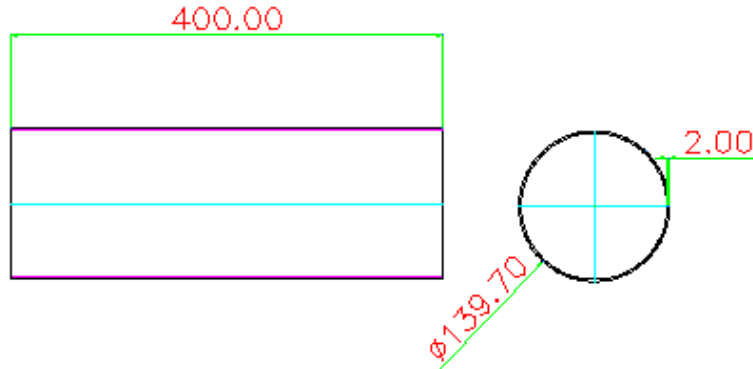
Tablo 5.2. ER 308 L dolgu telinin kimyasal bileşimi

Malzeme	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğerleri
ER 308L	0.03	1.0-2.5	0.30-0.65	19.5-22.0	9.0-11.0	0.03	0.03	0.75 Mo 0.75 Cu

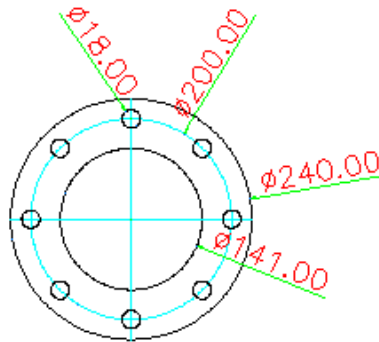
## 5.2. Boru-flanş TIG Metot İç Köşe Kaynağı

### - Geometri

Geometri olarak boru flanş bağlantısı seçilmiştir. Birleştirmelerde distorsiyonların önemli problemler yarattığı tecrübe edinildiği için bu geometri tercih edilmiştir. Boru olarak 2 mm kalınlığında 400 mm uzunluğunda standart 5 inç ( $\text{Ø}_{\text{dış}} = 139,7 \text{ mm}$ ) boru, flanş olarak distorsiyonların mekanik olarak rahat ölçülebilmesi için 2 mm kalınlığında DIN 2573, TS 816/1 standartlarında 5 inç flanş bağlantısı seçilmiştir. Boru ve flanşın teknik resmi Şekil 5.3'te, katı modelleme ile çizilen kaynaklı imalat uygulanmış şekli Şekil 5.4'te görülmektedir.



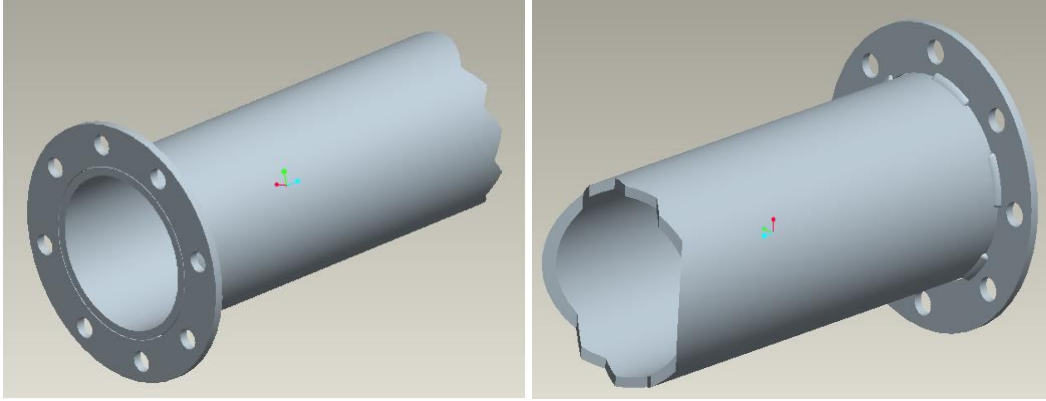
(a)



(b)

Şekil 5.1. (a) Borunun teknik resmi (b) Flanşın teknik resmi

Borular açınımı hesaplanarak sacdan kesilip, silindir tezgâhı ile boru şekline getirilmiştir. Birleştirme için puntalanmıştır. Flanşlar ise lazer kesim ile kesilmiştir.



Şekil 5.2. CAD Programı kullanarak oluşturulan model

#### - Kaynak Makinesi

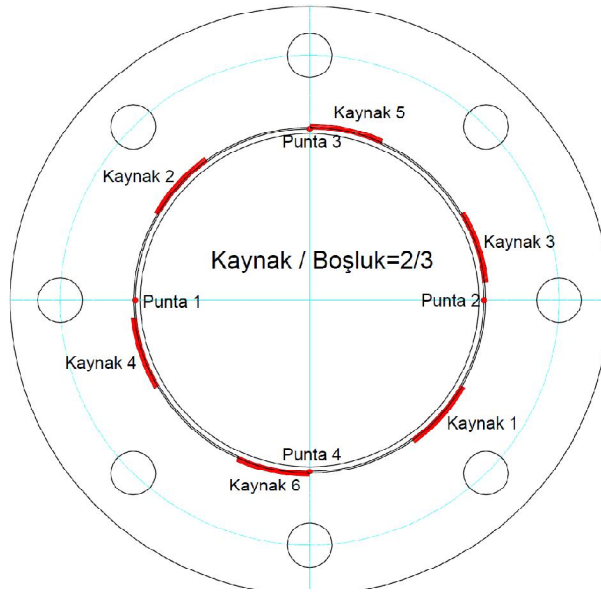
Kaynak makinesi aktif olarak TIG imalat işinde kullanılan IEC60974-1, EN 50199 standartlarına uygun İsveç ESAB marka Origo™ Arc 150i modelidir. Kaynak makinesinin teknik özellikleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. ESAB Origo™ Arc 150i teknik özellikleri

<b>Ana Voltaj / Faz Hz</b>		230/1 50-60
<b>Sigorta (A)</b>		16
<b>Ana Kablo (mm<sup>2</sup>)</b>		2,5
<b>İzin verilen yük (A)</b>	<b>%25 Yük</b>	150
	<b>%35 Yük</b>	140
	<b>% 60 Yük</b>	110
	<b>% 100 Yük</b>	90
<b>Ayarlanabilir Akım Çıkışı (A)</b>		4-150
<b>Dönüşüm Voltajı (V)</b>		60-75
<b>Ölçüler (mm)</b>		380x180x300
<b>Ağırlık (kg)</b>		6,9
<b>Muhafaza Sınıfı</b>		IP 23 C
<b>Uygulama Sınıfı</b>		S

### - Kaynak Planı

Deney çalışması için 2/3 oranında metot kaynağı tercih edilmiştir. Kaynak planı tecrübelerden yararlanarak oluşturulmuştur. Kaynak planının şeması Şekil 5.3'te görülmektedir. Buna göre flanş boruya 4 noktadan karşılıklı puntalanmıştır. Daha sonra sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5, 6 bölgelerine kaynaklı birleştirme uygulanmıştır. Isının dengeli yayılması için kaynaklar karşılıklı oluşturulmuş, sonraki adımda önce ısınan yerden kaynağa devam edilmiştir. Kaynak planı oluşturulduktan sonra bir şablon oluşturulmuş ve tüm deney parçaları üzerine kaynaklanacak bölgeler markalanmıştır.



Şekil 5.3. Oluşturulan kaynak planı

### 5.3. Sabit ve Değişken Parametreler

#### - Koruyucu gaz çeşidi ve debisi

Tablo 5.2.'ye göre deneyde kullanabileceğimiz koruyucu gaz çeşitleri saf argon, %2 hidrojenli argon gazı Argohid-2, %5 hidrojenli argon gazı Argohid-5 gazlarıdır. Bölge sanayide saf argon dışında uygulama görülmediğinden, koruyucu gaz olarak % 99,995 saflıkta saf argon seçilmiştir. Gazın debisi tüm deneylerde literatüre uygun olarak [2] 7 lt/dak olarak ayarlanmıştır.

- Kaynak akımı

Deneyler 10 adet parametre seçilerek yapılmıştır. Parametrelerin seçiminde, parça kalınlığı için en uygun akım şiddeti [2] olan 90 Amperin azaltılması ve artırılması esas alınmıştır. Bunun yanında amper şiddeti sabit kalacak şekilde ilave tel uygulamasının distorsiyona etkisi anlaşılmasına çalışılmıştır. Burada önemli olan diğer husus ise nüfuziyettir. Her numunede ideal nüfuziyet değerlerine ulaşmak için kaynak hızı artırılmıştır. Böylece değişik akım şiddetlerinde aynı nüfuziyet profilleri elde edilmeye çalışılmıştır. Deneylerin sonuçlarının olası işçilik hatalarından dolayı rahatça anlaşılması için her parametre aynı kalacak şekilde aynı koşullar için 3 adet numuneye uygulanmış ve toplamda 30 deney numunesi kaynaklanıp sonuçlar incelenmiştir. Seçilen kaynak parametreleri Tablo 5.4'te görülmektedir.

Tablo 5.4. Seçilen kaynak parametreleri

Deney No	Akım Şiddeti (A)	İlave Tel Uygulaması	Deney No	Akım Şiddeti (A)	İlave Tel Uygulaması
Deney 1	70	Yok	Deney 16	70	Var
Deney 2	70	Yok	Deney 17	70	Var
Deney 3	70	Yok	Deney 18	70	Var
Deney 4	80	Yok	Deney 19	80	Var
Deney 5	80	Yok	Deney 20	80	Var
Deney 6	80	Yok	Deney 21	80	Var
Deney 7	90	Yok	Deney 22	90	Var
Deney 8	90	Yok	Deney 23	90	Var
Deney 9	90	Yok	Deney 24	90	Var
Deney 10	100	Yok	Deney 25	100	Var
Deney 11	100	Yok	Deney 26	100	Var
Deney 12	100	Yok	Deney 27	100	Var
Deney 13	110	Yok	Deney 28	110	Var
Deney 14	110	Yok	Deney 29	110	Var
Deney 15	110	Yok	Deney 30	110	Var

Akım şiddeti, diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, her şeyden önce nüfuziyet derinliğini etkiler. Ayarlanan akım şiddeti bu nedenle kaynak edilen parça kalınlığına uygun olmalıdır. Parça kalınlığının her mm'si için gerekli akım şiddeti aşağıdaki gibi hesaplanabilir [2].

Çelik - doğru akım (negatif kutup) - 45 A / mm

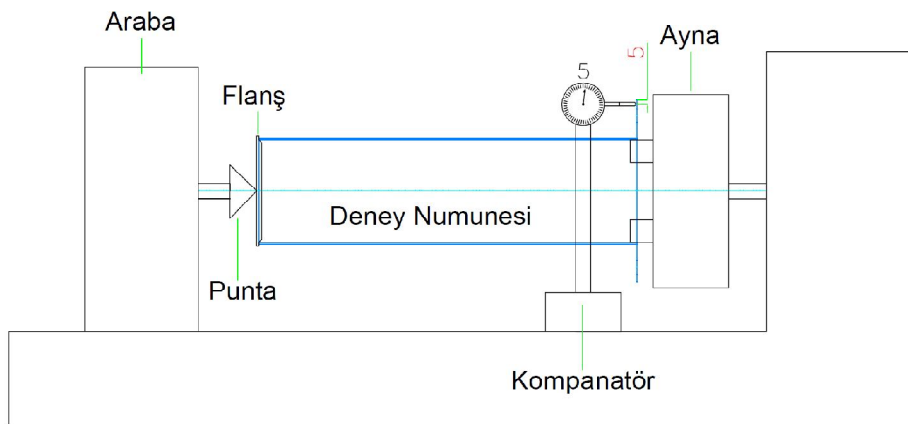
Alüminyum - alternatif akım - 40 A / mm

Buna göre baz 2 mm kalınlık için ideal amper ayarı 90 A'dir.

#### 5.4. İncelenen Parametreler

- Açısal Distorsiyon

Deneyler yapıldıktan sonra deney numuneleri flanş tarafından torna tezgâhının aynasına içten dengeli bir biçimde bağlanmıştır. Numunenin diğer ucuna konik şekilde faturalı; ortası puntanın basacağı bir flanş oturtularak, punta deliğe girip, sabitleyecek bir şekilde deney numunesi tezgâha bağlanmıştır. Kumpas yardımı ile flanşın dışından içine doğru 5 mm'lik bir eksen çizilmiştir. Altıncı ve birinci kaynak bölgesinin ortasına gelecek bir şekilde komparatör çizdiğimiz eksene basacak şekilde sabitlenmiştir. Komparatör parçaya 5 mm ön basmalı olarak sabitlenmiştir. Örnek olarak komparatörde okuyacağımız 3 mm, flanşın dışına doğru 2 mm, komparatörde okuyacağız 8 mm, flanşın içe doğru 3 mm şekil değiştirdiği anlaşılmıştır. Yer değiştirmeler iç ve dış ayırt etmeksizin toplam yer değiştirme olarak okunmuştur. Şekil 5.4'te deney ölçme düzeneğinin şeması görülmektedir.



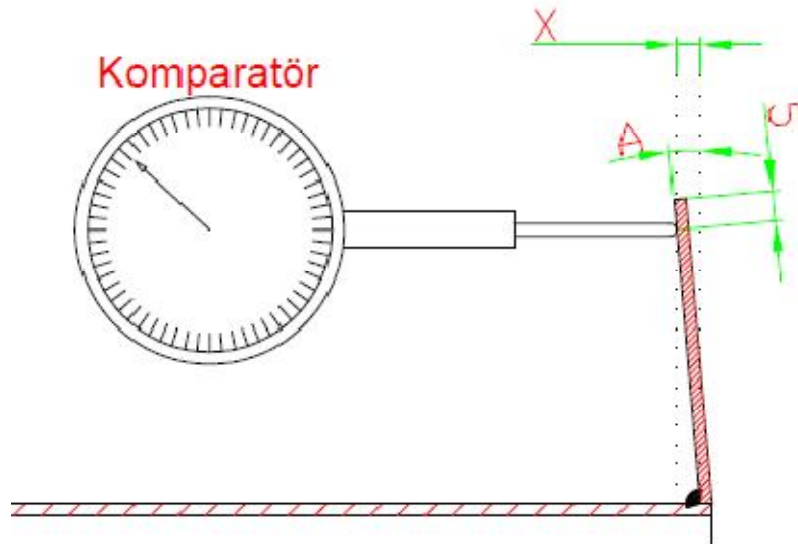
Şekil 5.4. Deney ölçme düzeneğinin şeması

Deney numuneleri aynı şekilde tek tek torna tezgâhına bağlanmıştır. Torna aynası el ile çevrilerek bölge bölge şekil değiştirmeler komparatör yardımı ile okunmuştur. Ölçüm yapılırken çekilen resim Şekil 5.5 aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.5. Komparatör ile ölçüm yapılması

Ölçümün nasıl yapıldığını gösteren resim Şekil 5.6'da verilmiştir. Buna göre komparatör flanşın dışından 5 mm merkeze doğru olan noktaya sabitlenmiştir. Buna göre A şekil değiştirmesi tespit edilmiştir. Nihai olarak verilmek istenen X açısı tanjant teoremi kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.6. Ölçümün yapılışını gösteren çizim

#### - Kaynak Hızı

Kaynak hızı kaynak sırasındaki nüfuziyet sabitliğine göre ayarlanır ve aynı değerde tutulur. Bu sayede esas metal yeterli derecede erir ve katılaşma sırasında eş ölçülü bir

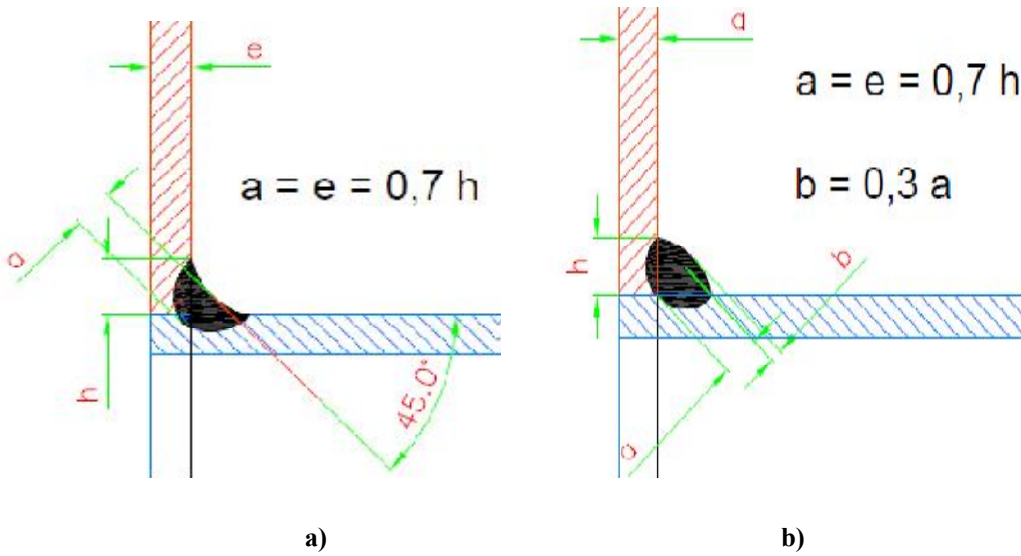


dikiş oluşur. Kaynak hızının artırılması, birleşme hatalarına, düşürülmesi ise dikişin genişlemesine ve istenmeyen aşırı ısı girdisine yol açar. TIG kaynağında en yaygın kaynak hızları 10 ila 40 cm/dak arasındadır [2].

Deneylerde kaynak hızı aynı nüfuziyetin oluşması için değişken kabul edilmiştir. Yani kaynak şiddetine göre sürekli aynı; önceden belirlediğimiz nüfuziyet profillerinin oluşması için kaynak hızları değiştirildi. Tüm bölgeler için kaynak yapma süreleri kronometreyle ölçüldü. Kaynak dikiş uzunluğu bilindiğinden hız kolayca hesap edilmiştir.

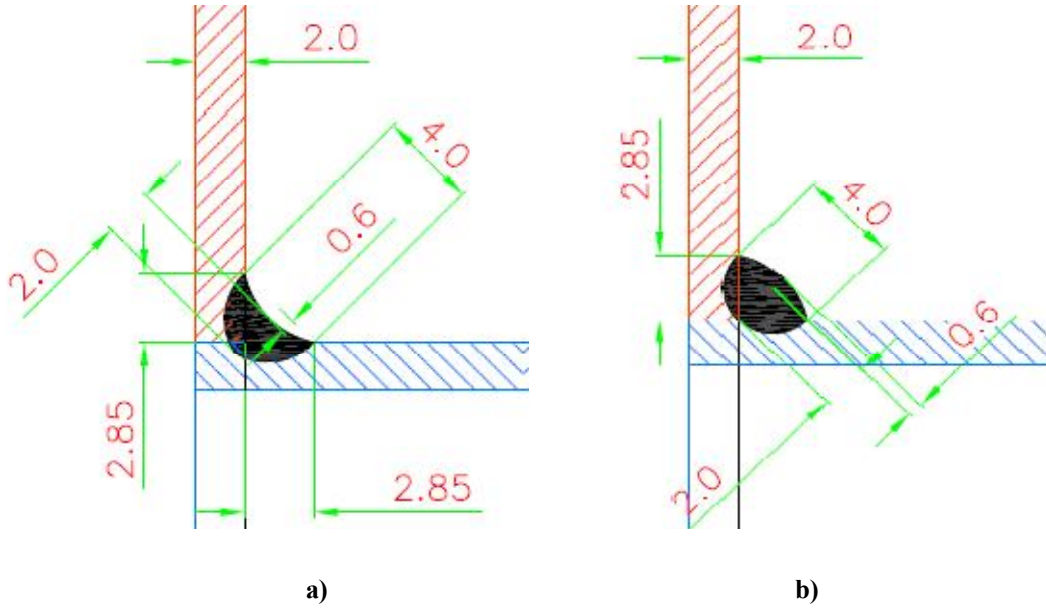
#### - Nüfuziyet

Nüfuziyet, kaynak işleminde esas metalde erimenin oluşturduğu derinlik olarak adlandırılır. Bu kaynaklı birleştirmenin kaçınılmaz bir unsurudur. Uluslararası standart kuruluşu ISO kaynak kusurlarını EN ISO 5817'de belirtmiştir. Burada tüm kaynak biçimlerindeki kusurlar kabul seviyeleri ile belirtilmiştir. Seçtiğimiz geometri olan boru flanş bağlantılarının kaynağı iç köşe kaynağı olarak araştırılıp, nüfuziyet durumu literatürden bulunmuştur [22]. Buna göre ilave telsiz kaynakta Şekil 5.7.a, telli kaynakta Şekil 5.7.b referans kabul edilmiştir.



Şekil 5.7. Belirlenen geometri için standartlarda bildirilen nüfuziyet ölçüleri [22]

Şekil 5.7 referans alınarak parça kalınlığı 2 mm olarak dikkate alındığında sağlıklı nüfuziyet için gereken geometri ortaya çıkmış olur. Bunun için oluşturulan teknik resim Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Seçilen malzeme kalınlığına göre hedeflenen nüfuziyet durumu a) Telsiz kaynak b) Telli kaynak

## BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 6.1. Dolgu Telsiz TIG Metod Kaynağı Deney Sonuçları

Dolgu teli kullanılmadan yapılan ilk 15 deneyin, deney esnasında bölgesel olarak tutulan zaman, kumpasla ölçülen nüfuziyet genişliği ve deney sonrası komparatör ile ölçülen yer değiştirme sonuçları açısız şekil değiştirmeye çevrilerek Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı açısız distorsiyon, nüfuziyet genişliği ve kaynak hızı değerleri

Deney No	Açısız Distorsiyon [Derece]	Nüfuziyet Genişliği [mm]	Kaynak Hızı [cm/dak.]
1	1,52	6	45,6
2	1,55	6	43,8
3	1,54	5,9	45,6
4	1,82	6	53,4
5	1,71	6	47,4
6	1,79	6	49,8
7	1,83	5,9	54
8	1,96	6	57,6
9	2	6	57,6
10	1,54	5,9	62,4
11	1,15	5,9	57,6
12	1,4	6	67,8
13	0,8	6	81,6
14	1,12	6	69
15	0,79	6	78,6

Tablo 6.1 incelendiğinde, manüel uygulanan kaynaklı birleştirme kaynak hızı değerleri her bir kaynak akımı durumu için en az % 4, en fazla % 18 olmak üzere farklılık göstermektedir. Ayrıca, 70 A, 80 A ve 90 A kaynak akımı değerleri için gerçekleştirilen deney örnekleri ile 100 A ve 110 A kaynak akımı değerleri için gerçekleştirilen deney örnekleri arasındaki açısız distorsiyon değerleri dağılımında

belirli bir farklılık gözlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, distorsiyonlar iki farklı karakterde meydana gelmiştir. Bu farklılık, birinci bölgeyi oluşturan 70 A, 80 A ve 90 A kaynak akımı değerleriyle uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki sinüzoidal değişim yüksek genlik - büyük frekans şeklindedir. İkinci bölgeyi oluşturan 100 A ve 110 A kaynak akımı değerleriyle uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki sinüzoidal değişim düşük genlik – küçük frekans şeklindedir. İkinci bölgeyi oluşturan durum, kaynaklı birleştirme sonrası düzeltme işlemleri yönünden, birinci bölgeyi oluşturan durumdan daha zor ve maliyetlidir.

Tablo 6.1'deki 70 A kaynak akımı deney örnekleri açısal distorsiyon değerindeki sapmanın %2, 80 A'de %6,5, 90 A'de %9,3, 100 A'de %34 ve 110 A'de %42 olduğu sonucu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, kaynak akımı değerleri artışı ile açısal distorsiyon değerlerindeki sapmanın arttığını göstermektedir. Bu durum özellikle 100 A ve 110 A kaynak akımı uygulamaları için iş parçalarının düzeltme işlemlerinin zorlaşacağını veya istikrarlı sonuçlar alınmasının zorlaşacağını ifade etmektedir.

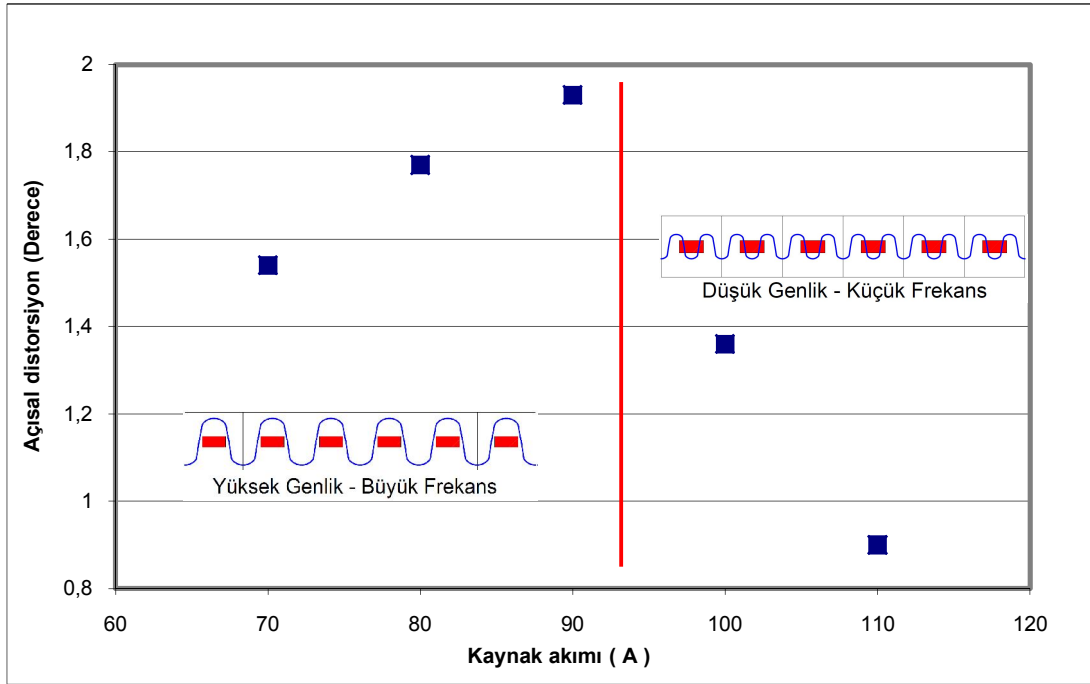
### 6.1.1. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısal distorsiyon ilişkisi

Tablo 6.1'de verilen açısal distorsiyon değerleri için, aynı kaynak akımı değerlerinden hesaplanan ortalama açısal distorsiyon değerleri Tablo 6.2'te verilmiştir.

Tablo 6.2. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı ve ortalama açısal distorsiyon değerleri

Kaynak Akımı [A]	Açısal Distorsiyon [Derece]
70	1,54
80	1,77
90	1,93
100	1,36
110	0,90

Tablo 6.2'den yararlanılarak, kaynak akımına göre hesaplanan ortalama açısal distorsiyon ilişkisi Şekil 6.1'de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6.1. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısız distorsiyon ilişki grafiği

Tablo 6.2 ve Şekil 6.1 incelendiğinde, 70 A, 80 A ve 90 A kaynak akımı değerleri için kaynak akımı değeri artışı ile açısız distorsiyon değerlerinin arttığı görülmektedir. 100 A ve 110 A kaynak akımı değerleri için ise açısız distorsiyon değerlerinin azalma gösterdiği görülmektedir. Bu durum kaynak akımının açısız distorsiyona etkisinin iki bölgeyi incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Birinci bölge 90 A kaynak akımı değerlerine kadarki bölge olup, uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki sinüzoidal değişim yüksek genlik - büyük frekans şeklindedir. İkinci bölge ise 90 A'den daha büyük kaynak akımı değerlerini içeren bölge olup, uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki sinüzoidal değişim düşük genlik – küçük frekans şeklindedir.

Açısız distorsiyonların uygulamadaki olumsuzluklarının giderilmesi için düzeltme işlemlerinde düşük genlik – küçük frekanslı kaynaklı birleştirmeler daha fazla zorluk dereceli parçalardır. Bu nedenle, düşük genlik – küçük frekanslı koşullardan kaçınılmalıdır. Bu sonuç göstermiştir ki, dolgu telsiz TIG metod kaynaklı birleştirme incelemeleri için 70 A, 80 A ve 90 A değerlerinin etkileri değerlendirilmelidir.

Düşük kaynak akımı değerleri, kaynaklı birleştirme uygulamalarında maliyet yönünden istenen bir durumdur. Aynı zamanda küçük distorsiyon değerlerinde kaynaklı birleştirme uygulamalarında istenilen bir durumdur. Bu nedenlerle Şekil 6.1. dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısal distorsiyon ilişkisi grafiği, en uygun koşulların 70 A kaynak akımı koşulları olduğu sonucunu göstermektedir.

### 6.1.2. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi

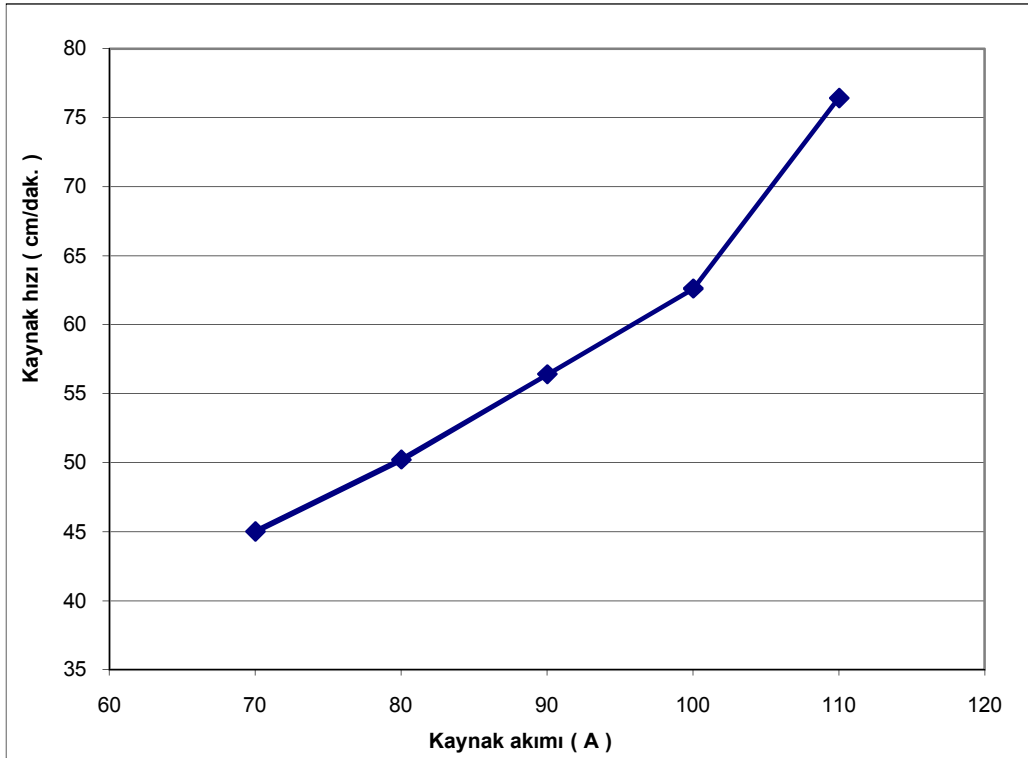
Tablo 6.1’de verilen kaynak hızı değerleri için aynı kaynak akımı değerlerinden hesaplanan ortalama kaynak hızı değerleri Tablo 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.3. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – ortalama kaynak hızı değerleri

Kaynak Akımı [A]	Kaynak Hızı [cm/dak.]
70	45
80	50,2
90	56,4
100	62,6
110	76,4

Tablo 6.1 incelendiğinde, 70 A kaynak akımı deneylerinde kaynak hızı değerlerindeki sapmanın %4, 80 A’de %13, 90 A’de %7, 100 A’de %18 ve 110 A’de %18 sapma olduğu sonucu görülmüştür. Bu sonuçlardan, 100 A ve 110 A’de manüel uygulanan TIG metod kaynağı işleminin istikrarsızlık nedeniyle zorlaştığı yorumu yapılabilmektedir. Diğer bir ifadeyle, kaynakçı için uygun nüfuziyeti her seferinde elde etmek zorlaşmaktadır.

Tablo 6.3’ten yararlanılarak, dolgu telsiz koşullarda kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisini gösteren grafik Şekil 6.2’de sunulmuştur.



Şekil 6.2. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi grafiği

Dolgu telsiz koşullar için kaynak akımı – kaynak hızı değerleri ile hazırlanan Tablo 6.3 ve Şekil 6.2 incelendiğinde, 70 A kaynak akımından 100 A kaynak akımı değerine kadar kaynak akımı değeri artışı ile doğrusal bir kaynak hızı artışı görülmektedir. 110 A kaynak akımında ise kaynak hızı artışı diğerine göre 2 kat daha fazladır.

Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı sonuçları göstermiştir ki kaynak akımı artışı ile aynı nüfuziyet genişliği daha yüksek kaynak hızlarında elde edilmektedir. Bu sonuç literatüre uygun bir sonuçtur [17].

Kaynak akımının düşük değerlerde ve kaynak hızının yüksek değerlerde olduğu koşullar kaynaklı imalatta maliyet yönünden istenilen koşullardır. Bu nedenlerle Şekil 6.2 dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi grafiği, en uygun koşulların değerlendirilmesi için kaynak akımı değer artış maliyetleri ile kaynak hızı azalışı maliyet değerleri arasında bir optimizasyon gerektiğini göstermektedir.

Optimizasyon değerlendirmesi, kaynak akımı artışı ile kaynak hızının da artması nedeniyle daha kısa sürede kaynaklı işlemlerin gerçekleştirilebildiği sonucunu göstermektedir. Bu nedenle kaynak akımı maliyet değerlendirmesi önemli bir etki yapmamaktadır. Kaynak hızı artışının kaynaklı birleştirme maliyetindeki azalış etkisi optimizasyon değerlendirmelerinde çok daha etkili olmaktadır. Bu nedenlerle kaynak hızının yüksek değerlerde olduğu koşullar kaynaklı birleştirme maliyet değerlendirmelerinde en uygun koşullardır. Bu durumda 110 A kaynak akımı ve 76,4 cm/dak kaynak hızı koşulları en uygun parametredir. Fakat 90 A üzeri koşullardaki düşük genlik küçük frekans bölgesi düzeltme problemlerinin zorluğu nedeniyle tercih edilmeyen koşullar olduğu için 90 A kaynak akımı ve 56,4 cm/dak kaynak hızı en uygun değerlerdir.

### 6.1.3. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısız distorsiyon ilişkisi

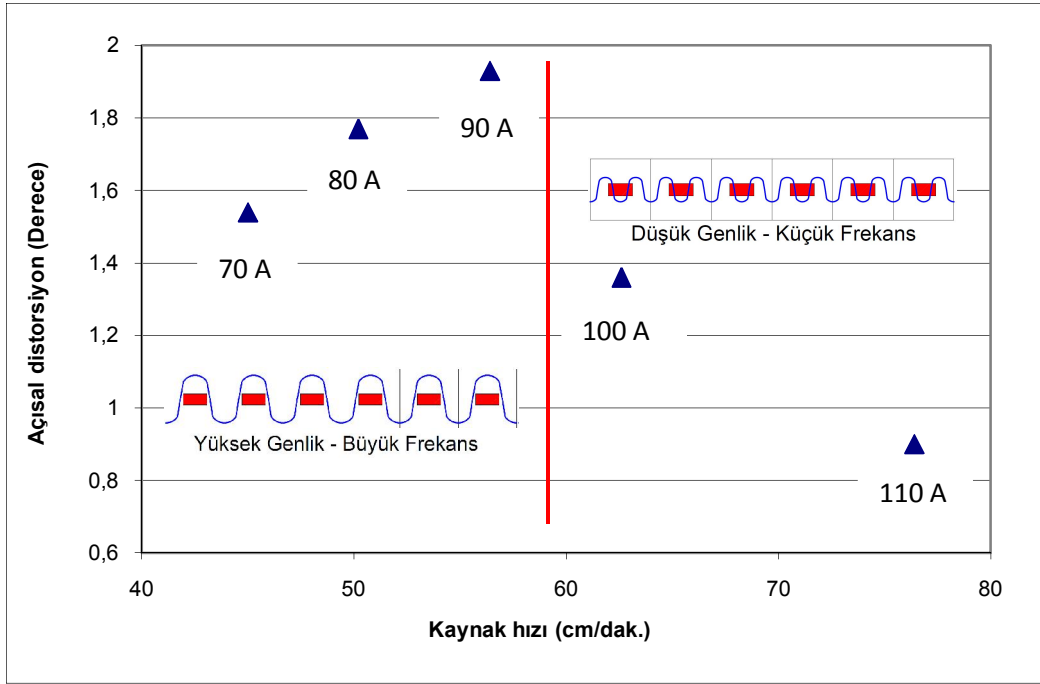
Tablo 6.1 verilerinden elde edilen her bir kaynak akımı grubu için ortalama kaynak hızlarına göre oluşan ortalama açısız distorsiyon değerleri Tablo 6.4’te verilmiş, grafiği ise Şekil 6.3’te sunulmuştur.

Tablo 6.4. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı ortalama kaynak hızı – ortalama açısız distorsiyon değerleri

Kaynak Akımı [A]	Kaynak Hızı [cm/dak]	Açısız Distorsiyon [Derece]
70	45	1,54
80	50,2	1,77
90	56,4	1,93
100	62,6	1,36
110	76,4	0,9

Tablo 6.4 ve Şekil 6.3 incelendiğinde, kaynak akımı 90 A’inde dahil olduğu birinci bölgede kaynak hızı artışı ile açısız distorsiyon değerlerinin arttığı görülmektedir. 90 A’dan daha büyük kaynak akımı değerlerini içeren ikinci bölgede ise kaynak hızı değerleri artışı ile açısız distorsiyon değerleri azalma göstermektedir. Bu durum, ilk bakışta minimum açısız distorsiyon ve maksimum kaynak hızı değerlerine sahip olan 110 A kaynak akımı koşulunun en uygun değerleri sağladığı sonucunu göstermesine rağmen, ikinci bölgedeki düşük genlik – küçük frekans sonuçlarının ortaya çıkardığı düzeltme zorlukları nedeniyle tercih edilmemelidir.





Şekil 6.3. Dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısai distorsiyon ilişkisi grafiği

Açısai distorsiyonun meydana getirdiği problemleri gidermek için uygulanan düzeltme işlemlerinin daha kolay olduğu birinci bölge değerleri incelendiğinde, kaynak hızı artışı ile elde edilen avantajlar açısai distorsiyon değerlerinde gözlenen artış ile azalmaktadır.

Kaynak hızının yüksek değerlerde, açısai distorsiyonun küçük olduğu değerler kaynaklı imalatta istenen koşullardır. Şekil 6.3 dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısai distorsiyon ilişkisi grafiği, en uygun koşulların değerlendirilebilmesi için kaynak hızı azalış maliyetleri ile açısai distorsiyon artışı nedeniyle düzeltme maliyetleri artışı arasında bir optimizasyonun gerekli olduğunu göstermektedir.

Açısai distorsiyon nedeniyle uygulanan düzeltme işlemleri maliyetleri kaynak hızı azalış maliyetleri ile karşılaştırıldığında, düzeltme maliyetleri maliyet değerlendirmelerinde daha etkilidir. Bu nedenle Şekil 6.3 dolgu telsiz TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısai distorsiyon ilişkisi grafiğindeki 70 A kaynak akımında gerçekleştirilen koşullar en uygun değerdir.

## 6.2. Dolgu Telli TIG Metod Kaynağı Deney Sonuçları

Dolgu teli kullanılarak yapılan son 15 deneyin, deney esnasında bölgesel olarak tutulan zaman, kumpasla ölçülen nüfuziyet genişliği ve deney sonrası komparatör ile ölçülen yer değiştirme sonuçları açısız şekil değiştirmeye çevrilerek Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5. Dolgu telli TIG metod kaynağı açısız distorsiyon, nüfuziyet genişliği ve kaynak hızı değerleri

Deney No	Açısız Distorsiyon [Derece]	Nüfuziyet Genişliği [mm]	Kaynak Hızı [cm/dak.]
16	2,11	7	22,8
17	2,21	7	18,6
18	2,24	7	20,4
19	2,51	6,9	34,2
20	2,41	7	33,6
21	2,35	6,9	33,6
22	2,61	7	37,2
23	2,71	6,9	37,2
24	2,68	6,9	40,8
25	4,28	7	39,6
26	4,59	7	39,6
27	4,34	7	42,6
28	4,22	7	47,4
29	3,36	7	42
30	3,74	6,9	47,4

Tablo 6.5 incelendiğinde, manüel uygulanan kaynaklı birleştirme kaynak hızı değerleri her bir kaynak akımı durumu için en az % 2, en fazla % 22 olmak üzere farklılık göstermektedir. Ayrıca, 70 A, 80 A, 90 A ve 100 A kaynak akımı değerleri için gerçekleştirilen deney örnekleri ile 110 A kaynak akımı değeri için gerçekleştirilen deney örnekleri arasındaki açısız distorsiyon değerleri dağılımında belirli bir farklılık gözlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, distorsiyonlar iki farklı karakterde meydana gelmiştir. Bu farklılık, birinci bölgeyi oluşturan 70 A, 80 A, 90 A ve 100 A kaynak akımı değerleriyle uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki sinüzoidal değişim yüksek genlik - büyük frekans şeklindedir. İkinci bölgeyi oluşturan 110 A kaynak akımı değeriyle uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki

sinüzoidal değişim düşük genlik – küçük frekans şeklindedir. İkinci bölgeyi oluşturan durum, kaynaklı birleştirme sonrası düzeltme işlemleri yönünden, birinci bölgeyi oluşturan durumdan daha zor ve maliyetlidir.

Tablo 6.5'teki 70 A kaynak akımı deney örnekleri açısai distorsiyon değerindeki sapmanın %6, 80 A'de %7, 90 A'de %4, 100 A'de %7 ve 110 A'de %25 olduğu sonucu görölmüştür. Elde edilen sonuçlar, kaynak akımı değerleri artışı ile açısai distorsiyon değerlerindeki sapmanın arttığını göstermektedir. Bu durum özellikle 110 A kaynak akımı uygulamaları için iş parçalarının düzeltme işlemlerinin zorlaşacağını veya istikrarlı sonuçlar alınmasının zorlaşacağını ifade etmektedir.

### 6.2.1. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısai distorsiyon ilişkisi

Tablo 6.5'te verilen açısai distorsiyon değerleri için, aynı kaynak akımı değerlerinden hesaplanan ortalama açısai distorsiyon değerleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

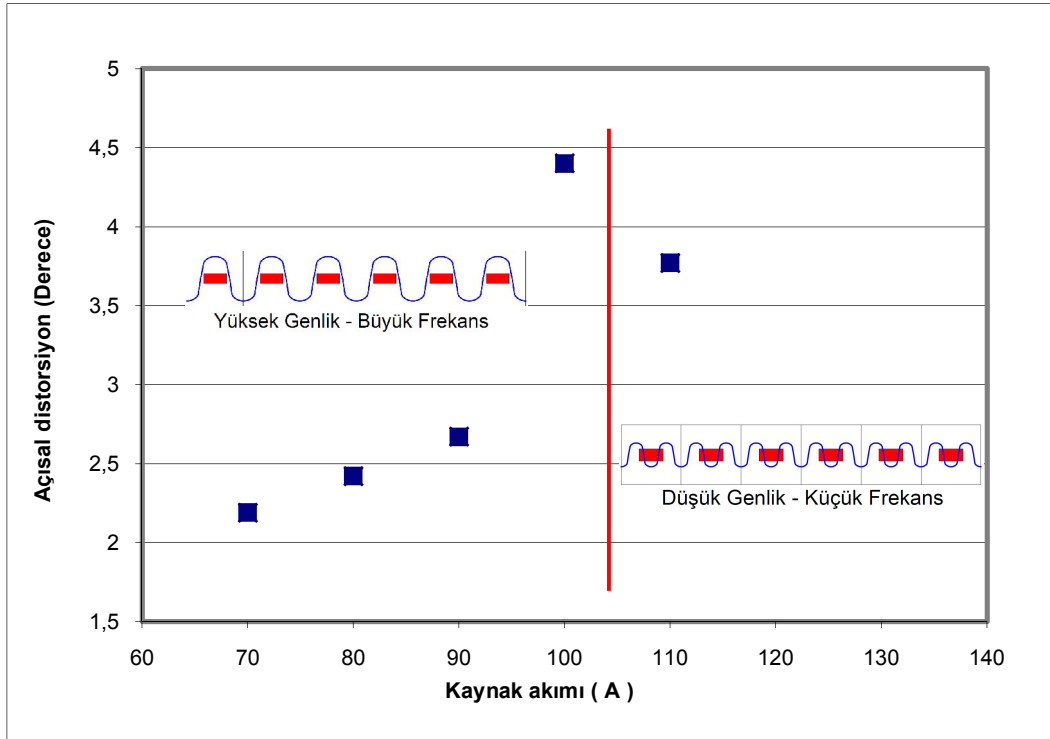
Tablo 6.6. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı ve ortalama açısai distorsiyon değerleri

Kaynak Akımı [A]	Açısai Distorsiyon [Derece]
70	2,19
80	2,42
90	2,67
100	4,40
110	3,77

Tablo 6.6'dan yararlanılarak, kaynak akımına göre hesaplanan ortalama açısai distorsiyon ilişkisi Şekil 6.4'te grafik olarak sunulmuştur.

Tablo 6.6 ve Şekil 6.4 incelendiğinde, 70 A, 80 A, 90 A ve 100 A kaynak akımı değerleri için kaynak akımı değeri artışı ile açısai distorsiyon değerlerinin arttığı görölmektedir. 110 A kaynak akımı değeri için ise açısai distorsiyon değerinin azalma gösterdiği görölmektedir. Bu durum kaynak akımının açısai distorsiyona etkisinin iki bölgeyi incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Birinci bölge 100 A kaynak akımı değerlerine kadarki bölge olup, uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki

sinüzoidal değişim yüksek genlik - büyük frekans şeklindedir. İkinci bölge ise 100 A'den daha büyük kaynak akımı değerlerini içeren bölge olup, uygulanan kaynaklı birleştirmelerdeki sinüzoidal değişim düşük genlik – küçük frekans şeklindedir.



Şekil 6.4. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısız distorsiyon ilişkisi grafiği

Açısız distorsiyonların uygulamadaki olumsuzluklarının giderilmesi için düzeltme işlemlerinde düşük genlik – küçük frekanslı kaynaklı birleştirmeler daha fazla zorluk dereceli parçalardır. Bu nedenle, düşük genlik – küçük frekanslı koşullardan kaçınılmalıdır. Bu sonuç göstermiştir ki, dolgu telsiz TIG metod kaynaklı birleştirme incelemeleri için 70 A, 80 A, 90 A ve 100 A değerlerinin etkileri değerlendirilmelidir.

Tablo 6.6 ve Şekil 6.4 incelendiğinde, kaynak akımı değerleri artışı ile açısız distorsiyonun 70 A'den 90 A kaynak akımı değerine kadar doğrusal artış yaklaşık olarak % 10 oranında, 100 A ve 110 A kaynak akım değerlerinde ise yaklaşık % 50 artış gösterdiği sonucu elde edilmektedir.

Bu sonuç göstermektedir ki, 90 A kaynak akımından daha büyük kaynak akımı değerleri ile çalışmanın açısal distorsiyon nedeni ile oluşan zorlukları arttıracaktır. Bu nedenle, 90 A kaynak akımından daha büyük değerler sakıncalı ve yararsızdır.

Düşük kaynak akımı değerleri, kaynaklı birleştirme uygulamalarında maliyet yönünden istenen bir durumdur. Aynı zamanda küçük distorsiyon değerlerinde kaynaklı birleştirme uygulamalarında istenilen bir durumdur. Bu nedenlerle Şekil 6.4 dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – açısal distorsiyon ilişkisi grafiği, en uygun koşulların 70 A kaynak akımı koşulları olduğu sonucunu göstermektedir.

### 6.2.2. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi

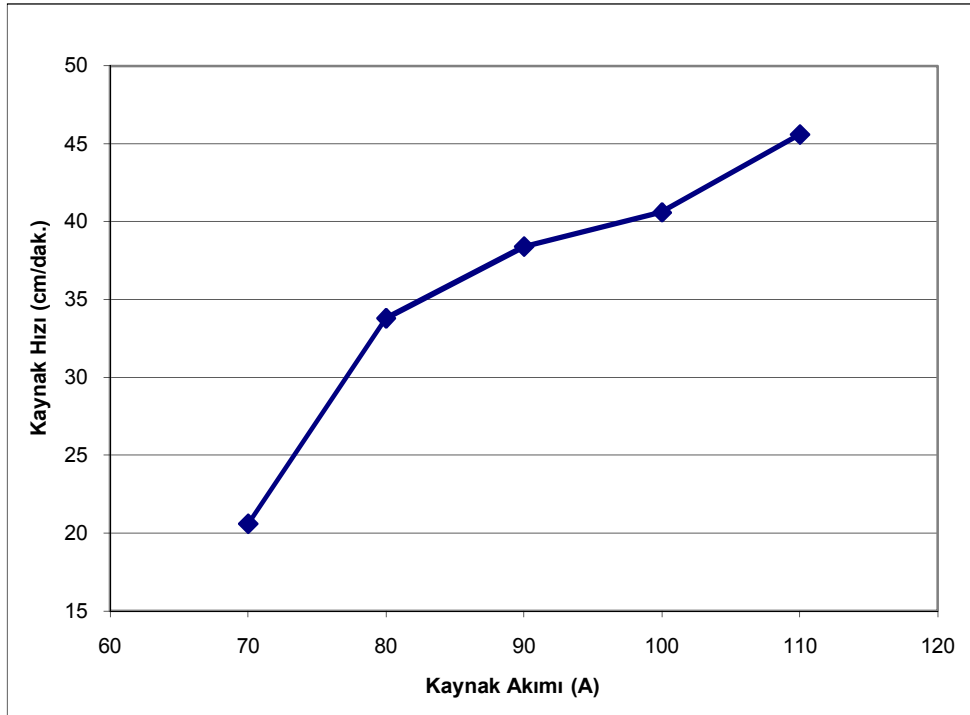
Tablo 6.5’de verilen kaynak hızı değerleri için aynı kaynak akımı değerlerinden hesaplanan ortalama kaynak hızı değerleri Tablo 6.7’te verilmiştir.

Tablo 6.7. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – ortalama kaynak hızı değerleri

Kaynak Akımı [A]	Kaynak Hızı [cm/dak.]
70	20,6
80	33,8
90	38,4
100	40,6
110	45,6

Tablo 6.5 incelendiğinde, 70 A kaynak akımı deneylerinde kaynak hızı değerlerindeki sapmanın %22, 80 A’de %2, 90 A’de %10, 100 A’de %7 ve 110 A’de %13 sapma olduğu sonucu görülmüştür. Bu sonuçlardan, 70 A ve 110 A’de manüel uygulanan TIG metod kaynağı işleminin istikrarsızlık nedeniyle zorlaştığı yorumu yapılabilmektedir. Diğer bir ifadeyle, kaynakçı için uygun nüfuziyeti her seferinde elde etmek zorlaşmaktadır.

Tablo 6.7’den yararlanılarak, dolgu telli koşullarda kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisini gösteren grafik Şekil 6.5’te sunulmuştur.



Şekil 6.5. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi grafiği

Deneysel sonuçlar göstermiştir ki 70 A kaynak akımı değerinde 80 A kaynak akımı değeri kullanıldığında, kaynak hızı % 64 artmıştır. 80 A kaynak akımı değeri yerine 90 A kaynak akımı değeri kullanıldığında kaynak hızı % 13,6 artmıştır. 90 A kaynak akımı yerine 100 A kaynak akımı değeri kullanıldığında kaynak hızı % 5,7 artmıştır. 100 A kaynak akımı değeri yerine 110 A kaynak akımı değeri kullanıldığında ise kaynak hızı % 12,3 artmıştır.

Bu deney sonuçlarına en dikkat çeken nokta ise 70 A kaynak akımı ile gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmede kaynak hızı çok daha düşük değerlerde olmasıdır. Kaynak hızının etkisi incelendiğinde, kaynak akımı 70 A değerinin diğerlerine nazaran işlem süresinin çok arttığıdır.

Kaynak akımının düşük değerlerde, kaynak hızının yüksek değerlerde olduğu koşullar kaynaklı imalatta maliyet yönünden istenilen koşullardır. Bu nedenlerle Şekil 6.5. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak akımı – kaynak hızı ilişkisi grafiği, en uygun koşulların değerlendirilmesi için kaynak akımı değer artış maliyetleri ile kaynak hızı azalışı maliyet değerleri arasında bir optimizasyon gerektiğini göstermektedir.

Optimizasyon değerlendirmesi, kaynak akımı artışı ile kaynak hızının da artması nedeniyle daha kısa sürede kaynaklı işlemlerin gerçekleştirilebildiği sonucunu göstermektedir. Bu nedenle kaynak akımı maliyet değerlendirmesi önemli bir etki yapmamaktadır. Kaynak hızı artışının kaynaklı birleştirme maliyetindeki azalış etkisi optimizasyon değerlendirmelerinde çok daha etkili olmaktadır. Bu nedenlerle kaynak hızının yüksek değerlerde olduğu koşullar kaynaklı birleştirme maliyet değerlendirmelerinde en uygun koşullardır. Bu durumda

110 A kaynak akımı ve 45,6 cm/dak kaynak hızı koşulları en uygun parametredir. Fakat 100 A üzeri koşullardaki düşük genlik küçük frekans bölgesi düzeltme problemlerinin zorluğu nedeniyle tercih edilmeyen koşullar olduğu için 100 A kaynak akımı ve 40,6 cm/dak kaynak hızı en uygun değerlerdir.

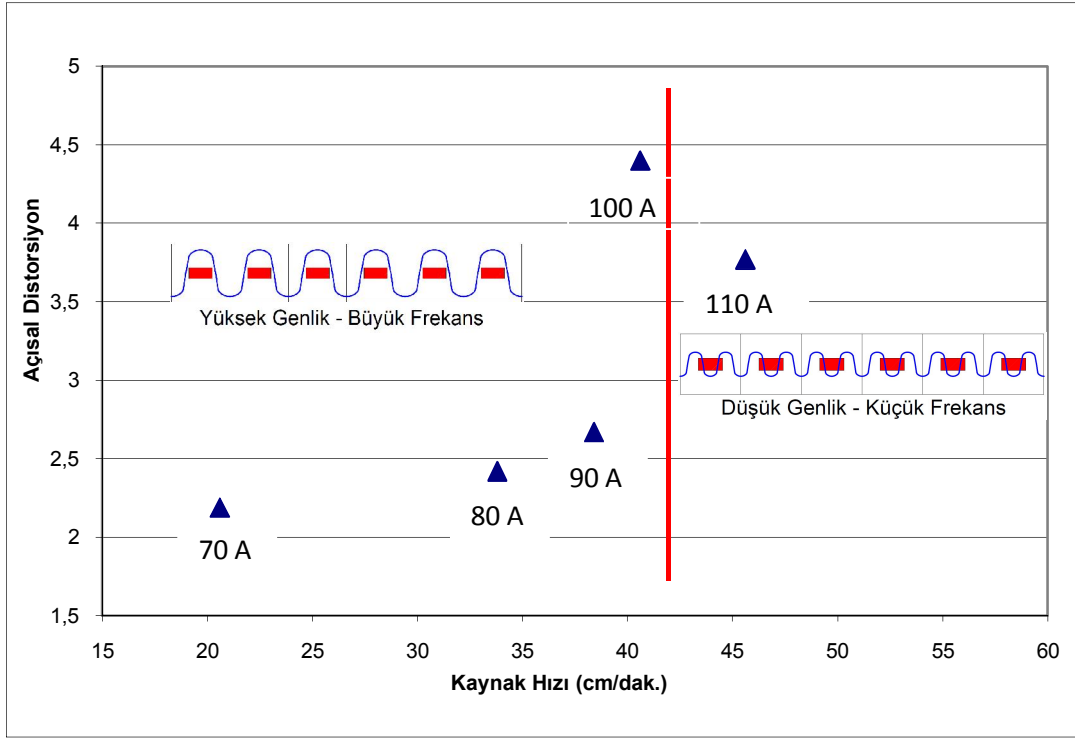
### 6.2.3. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısız distorsiyon ilişkisi

Tablo 6.5 verilerinden elde edilen her bir kaynak akımı grubu için ortalama kaynak hızlarına göre oluşan ortalama açısız distorsiyon değerleri Tablo 6.8’de verilmiş, grafiği ise Şekil 6.6’da sunulmuştur.

Tablo 6.8. Dolgu telli TIG metod kaynağı ortalama kaynak hızı – ortalama açısız distorsiyon değerleri

Kaynak Akımı [A]	Kaynak Hızı [cm/dak]	Açısız Distorsiyon [Derece]
70	20,6	2,19
80	33,8	2,42
90	38,4	2,67
100	40,6	4,40
110	45,6	3,77

Tablo 6.8 ve Şekil 6.6 incelendiğinde, kaynak akımı 100 A’inde dahil olduğu birinci bölgede kaynak hızı artışı ile açısız distorsiyon değerlerinin arttığı görülmektedir. 100 A’dan daha büyük kaynak akımı değerini içeren ikinci bölgede ise kaynak hız değerleri artışı ile açısız distorsiyon değerleri azalma göstermektedir. Bu durum, ilk bakışta 110 A değerinin 100 A değerine göre daha yüksek hız ve daha az distorsiyon göstermesine rağmen, ikinci bölgedeki düşük genlik – küçük frekans sonuçlarının ortaya çıkardığı düzeltme zorlukları nedeniyle tercih edilmemelidir.



Şekil 6.6. Dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısai distorsiyon ilişkisi grafiği

Açısai distorsiyonun meydana getirdiği problemleri gidermek için uygulanan düzeltme işlemlerinin daha kolay olduğu birinci bölge değerleri incelendiğinde, kaynak hızı artışı ile elde edilen avantajlar açısai distorsiyon değerlerinde gözlenen artış ile azalmaktadır.

Kaynak hızının yüksek olduğu değerler ve açısai distorsiyonun küçük olduğu değerler kaynaklı imalatta istenen koşullardır. Şekil 6.6 dolgu telli TIG metod kaynağı kaynak hızı – açısai distorsiyon ilişkisi grafiği, en uygun koşulların değerlendirilebilmesi için kaynak hızı azalış maliyetleri ile açısai distorsiyon artışı nedeniyle düzeltme maliyetleri artışı arasında bir optimizasyonun gerekli olduğunu göstermektedir.

Açısai distorsiyon nedeniyle uygulanan düzeltme işlemi maliyetleri kaynak hızı azalış maliyetleri ile karşılaştırıldığında, düzeltme maliyetleri maliyet değerlendirmelerinde daha etkilidir. Bu nedenle Şekil 6.6 dolgu telli TIG metod



kaynağı kaynak hızı – açısal distorsiyon ilişkisi grafiğindeki 80 A kaynak akımında gerçekleştirilen koşullar en uygun değerdir.

### **6.3. Tartışma**

Bu çalışmanın amacı, TIG metod kaynağı yöntemi ile boru flanş kaynaklarında, kaynak akımı değerlerindeki değişimin kaynak hızına ve açısal distorsiyona etkisinin incelenmesidir.

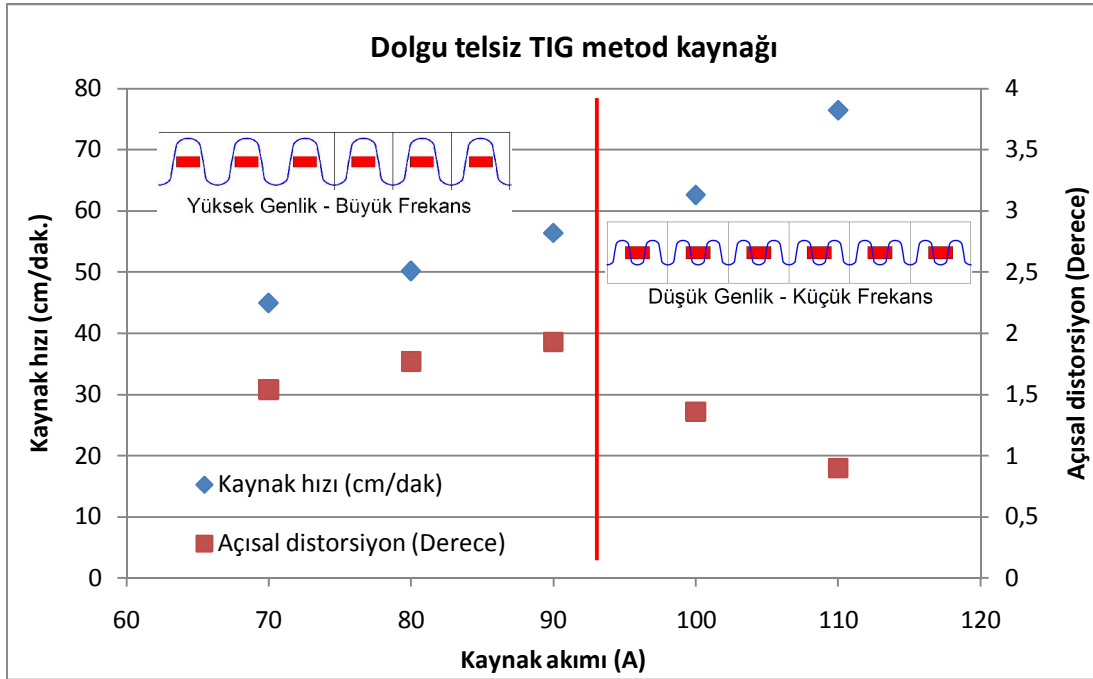
Kaynaklı birleştirilmiş parçalar, oluşan açısal distorsiyon problemleri düzeltme işlemleri ile giderilmeden kullanılmamaktadır. Bu düzeltme işlemleri ise imalat için kaçınılan bir durumdur. Düzeltme işlemlerini azaltan koşullar işletmelere ekonomik kazanım sağlamaktadır.

Açısal distorsiyonlar üzerine en etkili parametre kaynak akımı değeridir. Kaynak akımı değerleri azaltılarak açısal distorsiyon değerleri azaltılabilir. Fakat kaynak akımı değerleri azalışı ile kaynak hızı değerleri de aynı nüfuziyeti sağlayan koşullar için azalmaktadır.

Kaynak akımı azalışı açısal distorsiyon değeri yönüyle avantaj sağladığı gibi, enerji maliyeti yönüyle de avantaj sağlamaktadır. Fakat, kaynak hızı azalışı nedeniyle maliyet artışı dezavantaj olmaktadır. Bu nedenlerle maliyet yönünden bir optimizasyona gidilmelidir.

#### **6.3.1. Dolgu telsiz TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısal distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi**

Dolgu telsiz TIG metod boru flanş kaynaklı birleştirmelerde, kaynak akımı ile açısal distorsiyon ve kaynak hızı etkilerinin değerlendirilebilmesi için Tablo 6.4 verilerinden Şekil 6.7'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 6.7. Dolgu telsiz TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısal distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi grafiği

Dolgu telsiz TIG metod kaynağında, düşük kaynak akımı değeri, yüksek kaynak hızı ve minimum açısal distorsiyon en uygun koşullardır.

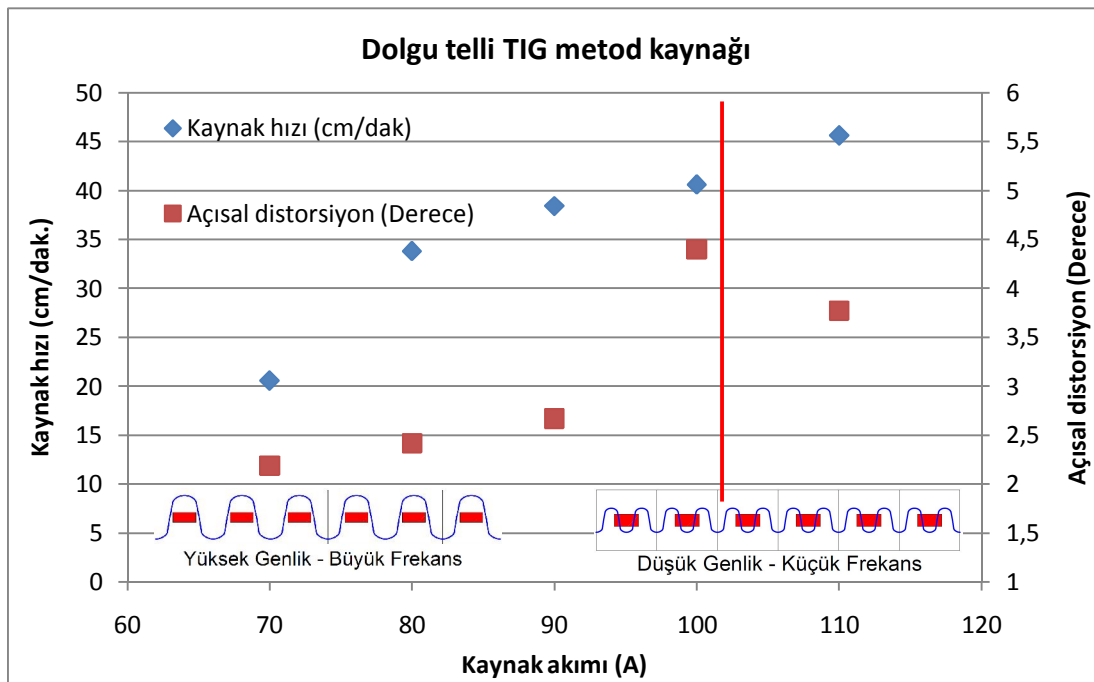
Şekil 6.7 incelendiğinde, 70 A kaynak akımı en uygun kaynak akımı değeri, 110 A kaynak akımındaki 76,4 cm/dak en uygun kaynak hızı değeri ve 110 A kaynak akımındaki 0,9 derece en uygun açısal distorsiyon değeri olarak görülmektedir.

Açısal distorsiyonların düzeltilmesindeki maliyet ve zaman artışı en etkili parametredir. İkinci etkili parametre ise kaynak hızının azalması maliyetidir. Kaynak akımının maliyete etkisi ise kaynak hızı artışı nedeniyle yok denebilecek durumdadır.

Bu nedenlerle, minimum düzeltme şartlarını veren değerler en uygun koşullar olarak değerlendirilebilir. Bu durumda, yüksek genlik büyük frekans bölgesi en uygun değerleri içermektedir. Bu bölgede ise 70 A kaynak akımı koşulları en uygun sonuçları veren değerdir.

### 6.3.2. Dolgu telli TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısıl distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi

Dolgu telli TIG metod boru flanş kaynaklı birleştirmelerde, kaynak akımı ile açısıl distorsiyon ve kaynak hızı etkilerinin değerlendirilebilmesi için Tablo 6.8 verilerinden Şekil 6.8'deki grafik elde edilmiştir



Şekil 6.8. Dolgu telli TIG metod kaynağında kaynak akımı ile açısıl distorsiyon ve kaynak hızı ilişkisi grafiği

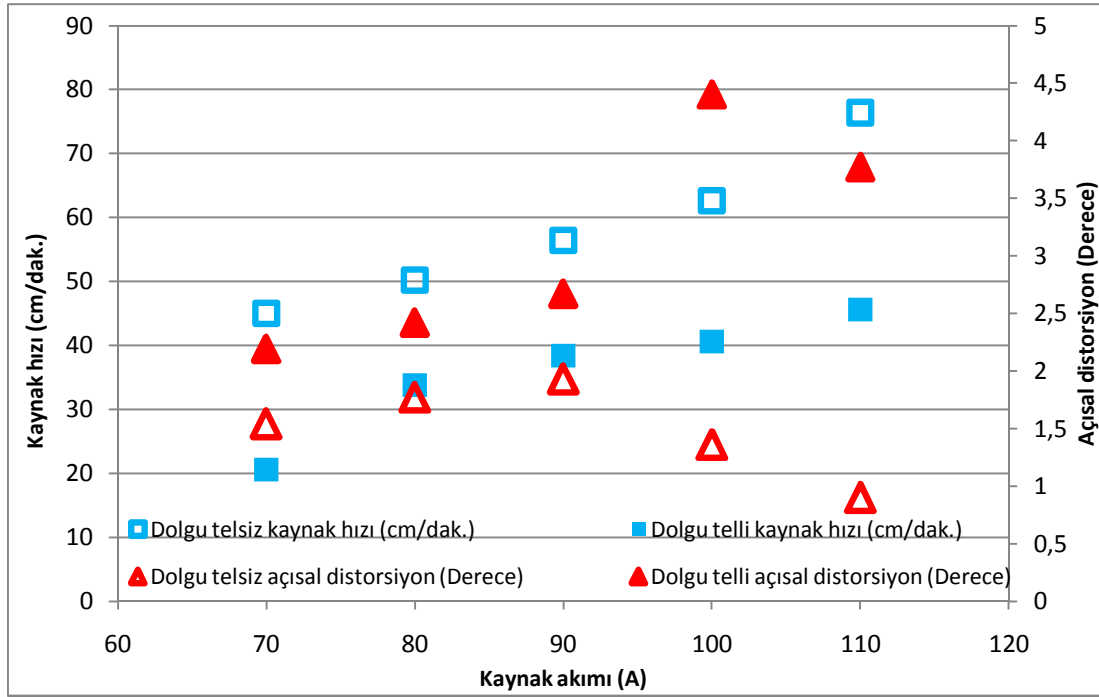
Dolgu telli TIG metod kaynağında, düşük kaynak akımı değeri, yüksek kaynak hızı ve minimum açısıl distorsiyon en uygun koşullardır.

Şekil 6.8 incelendiğinde, 70 A kaynak akımı en uygun kaynak akımı değeri, 110 A kaynak akımındaki 45,6 cm/dak en uygun kaynak hızı değeri ve 70 A kaynak akımındaki 2,19 derece en uygun açısıl distorsiyon değeri olarak görülmektedir. Açısıl distorsiyonların düzeltilmesindeki maliyet ve zaman artışı en etkili parametredir. İkinci etkili parametre ise kaynak hızının azalması maliyetidir. Kaynak akımının maliyete etkisi ise kaynak hızı artışı nedeniyle yok denebilecek durumdadır.

Bu nedenlerle, minimum düzeltme şartlarını veren değerler en uygun koşullar olarak değerlendirilebilir. Fakat 70 A kaynak akımındaki kaynak hızının % 64 azalış göstermesi nedeniyle, bu değer yerine 80 A kaynak akımı koşulları en uygun sonuçları veren değer olarak seçilebilir.

### 6.3.3. Sonuç

Dolgu telsiz ve dolgu telli TIG metod boru flanş kaynaklı birleştirmelerde, kaynak akımı ile açısal distorsiyon ve kaynak hızı etkilerinin beraberce değerlendirilebilmesi için Şekil 6.9'daki grafik elde edilmiştir.



Şekil 6.9. Dolgu telsiz ve dolgu telli TIG metod boru flanş kaynaklı birleştirmelerde, kaynak akımı ile açısal distorsiyon ve kaynak hızı etkileri grafiği

Boru-flanş kaynağında boru dış çapı ile flanş iç çapı arasındaki aralık değeri dolgu telsiz TIG metod kaynağı uygulamalarında kusurlar oluşturacak miktardan büyük olduğu durumlarda dolgu telli TIG metod kaynağı tercih edilir. Bunun için, flanş iç çapının boru dış çapına çok yakın değerlerde üretilmesine dikkat edilmez ise kusursuz bir boru-flanş TIG metod kaynağı için dolgu telli uygulama tercih edilmek

zorundadır. Bu nedenle, AISI 304 6stenitik paslanmaz 7elikten boru-flanş TIG metod kaynağında dolgu telli ve dolgu telsiz koşullar birlikte incelenmiştir.

Şekil 6.9 incelendiğinde dolgu telsiz TIG metod kaynağında tüm kaynak akımı değerleri için daha yüksek kaynak hızı ve daha az açısal distorsiyon değerleri elde edilmiştir.

Minimum düzeltme şartlarını veren değerler en uygun koşullar olarak değerlendirildiğinden, yüksek genlik büyük frekans bölgesindeki 70 A kaynak akımı ile gerçekleştirilen dolgu telsiz TIG metod kaynağı en uygun değerleri vermektedir.

## **BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **7.1. Sonuçlar**

TIG metod kaynağıyla 2mm kalınlığa sahip AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerle boru-flanş birleştirmelerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1- Dolgu telsiz TIG metod kaynağı, dolgu telli TIG metod kaynağına göre yaklaşık %50 daha yüksek kaynak hızında uygun değerleri vermektedir.

2- Dolgu telsiz TIG metod kaynağı, dolgu telli TIG metod kaynağına göre yaklaşık %40 daha az açısız distorsiyon değerleriyle en uygun sonucu vermiştir.

3- Dolgu telsiz TIG metod kaynağı için 70 A kaynak akımı en uygun değerdir.

4- Dolgu telli TIG metod kaynağı için 80 A kaynak akımı en uygun değerdir.

5- Dolgu telli ve dolgu telsiz her iki koşul birlikte değerlendirildiğinde en uygun değerler dolgu telsiz 70 A kaynak akımı değeridir.

6- Dolgu telsiz uygulamalar için 90 A kaynak akımı, dolgu telli uygulamaları için 100 A kaynak akımı üzeri değerler düşük genlik küçük frekans bölgesi olup düzeltme işlemleri maliyet yüksekliği nedeniyle tercih edilmemesi gereken değerlerdir.

### **7.2. Öneriler**

Bu konudaki çalışmaların farklı sac kalınlıkları ve boyutlar için robot kaynak yöntemleri ile çalışılması sektör için yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] ARAN, A., Paslanmaz Çelik, Yassı Mamuller, Üretimi-Kullanımı-Standartları, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, sf. 9-13, İstanbul 2004.
- [2] CARY, H. B., Modern Welding Technology, Practice-Hall, Eaglewood Cliffs, NJ 1989
- [3] HUANG, H. Y., Effects of Shielding Gas Composition and Activating Flux on GTAW Weldments, Materials and Design 30 (2009) 2404-2409
- [4] CONNOR, L. P., Welding Handbook, American Welding Society, Vol. 1, Welding Technology, p. 11, 218, 241
- [5] LONG, H., GERY, D., CARLIER, A., MAROPOULOS, P. G., Prediction of Welding Distortion in Butt Joint of Thin Plates, Materials and Design 30 (2009) 4126-4135
- [6] TSENG, K. H., CHOU, C. P., The Study of Nitrogen in Argon Gas on the Angular Distortion of Austenitic Stainless Steel Weldments, Journal of Materials Processing Technology 142 (2003) 139-144
- [7] AKBARI MOUSAVI, S. A. A., MIRE SMAELLI, R., Experimental and Numerical Analyses of Residual Stress Distributions in TIG Welding Process For 304L Stainless Steel, Journal of Materials Processing Technology 208 (2008) 383-394
- [8] ÖZÇATALBAŞ, Y., FINDIK, T., KURT, A., KARACİF, K., ÖZER, A., VURAL, H.İ., Kaynaklı Birleştirmeli Konstrüksiyonların Çarpılma Eğilimlerinin Belirlenmesi İçin Deneysel Bir Yaklaşım, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 1, 139-145, 2008
- [9] ODABAŞ, C., Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Askaynak Teknik Yayınları, İstanbul 2007
- [10] GOURD, L. M., Principles of Welding Technology, Second Edition, p.4, 1986
- [11] Welding Handbook, AWS V.4.7. Edition, sf. 19-20, Miami U.S.A 1984

- [12] CEYHUN, V., Ferritik Ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik İle Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme - Makaslama Dayanımına Ve Taneler Arası Korozyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sf. 1-50, İstanbul 1992
- [13] KOCABEKİR, B., Isı Girdisi ve Kaynak Atmosferinin 316L Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynak Birleştirmelerine Etkisi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sf.3, Karabük 2006
- [14] KAYIR, Y. Z., Türkiye Paslanmaz Çelik Üretebilir mi?, 2.Demir Çelik Sempozyumu ve Sergisi, sf. 98-101, Zonguldak 2003
- [15] KURT, H. İ., TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sf. 7, 36-46, İstanbul 2006
- [16] YORULMAZEL, S. C., Paslanmaz Çelik Konstrüksiyonlarda Oluşan Distorsiyonların Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2007
- [17] ANIK, S., ve VURAL, M., Gazaltı Ark Kaynağı (TIG • MIG • MAG), Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No: 3, sf. 52-99, İstanbul.
- [18] <http://www.habas.com.tr/kuruluslar.aspx?kr=1&sayfa=120>
- [19] YELBAY, H. İ., Tahribatsız Yöntemlerle Kalıntı Gerilim Ölçümündeki Gelişmeler, 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, Istanbul Turkey, April 2008
- [20] KÜLEKÇİ, M. K., ERTÜRK, İ., Kaynaklı Yapılarda Çekme ve Çarpılmalar, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi 1. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı
- [21] YİĞİT, O., DİLMEÇ, M., HALKACI, H. S., Tabaka Kaldırma Yöntemi ile Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makina Dergisi Cilt : 49 Sayı: 579
- [22] BUZLUK, M., Elektrik ve Gazaltı Ark Kaynaklarında Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2007
- [23] ÇANACIK, A., Çeliklerin Kaynağında Açısal Distorsiyon, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, sf. 3-36, 59-119, 155, 164, İstanbul 1998



## ÖZGEÇMİŞ

Fatih SERDAROĞLU, 01.04.1984 te Karasu' da doğdu. İlköğretim eğitimini Kocaali'de tamamladı. Lise eğitimini Kocaeli Derince 19 Mayıs Lisesi (Y.D.A)'nde tamamladı. 2003 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi (Hatay), Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünü kazanarak lisans eğitimine başladı. 2005 yılında bölüm birincisi olarak Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaptı, 2007 yılında buradan başarı ile mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Enstitü Anabilim Dalı, Makine Tasarım ve İmalat bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Yine aynı yıl filtrasyon sistemleri imal eden Ant Group Teknoloji, Müh., İmalat, Taahhüt Ltd. Şti.'de proje sorumlusu olarak işe başladı. 2008 yazında dil geliştirme amaçlı Amerika Birleşik Devletleri'ne gitti. Halen tahıl kurutma makineleri ve teçhizatları imal eden Çelik Kardeşler Petrol Zahirecilik Turizm İnş. Taah. ve Tic. San. Ltd.Şti.'nde imalat şefi olarak çalışmaktadır.