

**TİTANYUMUN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet KIRAL**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : KONSTRÜKSİYON VE İMALAT**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN**

**Ağustos 2012**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİTANYUMUN KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN  
İNCELENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

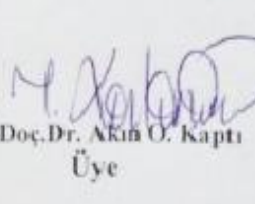
Makina Müh. Mehmet KIRAL

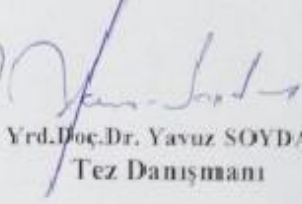
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : KONSTRÜKSİYON VE  
İMALAT

Bu tez 29/08/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Salim ASLANLAR  
Jüri Başkanı

  
Yrd. Doç. Dr. Akın O. Kaptı  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN  
Tez Danışmanı

## ÖNSÖZ

Hafif metaller günden güne alışlagelmiş metallerin yerini almakta ve günlük yaşantımızda önemleri artmaktadır. Ülkemizde, farklı ürün sektörleri için metal işlemeciliği yapan tesisler son on yılda büyümekle kalmamış, ilerleyen teknolojilere paralel olarak modern ve hafif metalleri kaliteli şekilde işlemeye başlamışlardır. Bu grubun içinde yer alan malzemelerden biri de Titanyumdur.

Hafif oluşu, iyi mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı ile birden çok sektörde tercih edilmeye başlanmıştır. Şekil verilmesi ve kaynakla birleştirilmesi mümkün olan Titanyum, bu işlemlere tabi tutulurken dikkatin ve özenin ihmal edilmemesi gereken malzemelerdendir.

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanmasında katkısını ve emeğini eksik etmeyen ve yol göstererek çalışmanın bilimselliğini arttıran sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN 'a teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca aileme manevi destekleri ve işverenime zaman konusunda sundukları olanaklar için teşekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET .....	xiii
SUMMARY.....	xiv

## BÖLÜM.1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Titanyumun Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları .....	2
1.2.1. Sınıflandırılması.....	2
1.2.2. Kullanım alanları.....	8
1.3. Titanyum ve Özellikleri .....	10
1.3.1. Fiziksel ve mekanik özellikleri .....	10
1.3.2. Kimyasal Özellikleri .....	14
1.3.3. Termal özellikleri .....	22
1.4. Uygulanan Yüzey İşlemleri.....	22
1.5. Titanyumun Şekillendirilebilme Kabiliyeti.....	26
1.5.1. Talaşlı işlenebilme ve kesilme kabiliyeti .....	28

## BÖLÜM.2.

TİTANYUMUN KAYNAĞI .....	31
2.1. Kaynak Kabiliyeti .....	31
2.1.1. Kaynak yöntemleri.....	32
2.2. Titanyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti.....	32
2.3. Uygulanan Kaynak Yöntemleri .....	36
2.3.1. Koruyucu Gaz Altında Kaynak (TIG / MIG Yöntemleri) [18]....	36

2.3.2. Plazma Kaynağı .....	40
2.3.3. Elektron ışınları kaynağı .....	41
2.3.4. Lazer kaynağı .....	42
2.3.5. Direnç kaynağı .....	44
2.3.6. Difüzyon kaynağı .....	44
2.3.7. Sürtünme kaynağı.....	45
2.3.8. Toz altı kaynağı.....	45
2.3.9. Koruyucu gazlar .....	45
2.4. Titanyumun Diğer Malzemelerle Kaynak Kabiliyeti.....	48
2.5. Uygulanan Isıl İşlemler .....	50

### BÖLÜM.3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	52
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....	52
3.1.1. Malzemelerin şekil ve boyutları ve bunların tercih nedenleri.....	53
3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak yöntemleri.....	54
3.2.1. Titanyumun TIG yöntemi ile kaynatılması .....	54
3.2.2. Uygulanan ısı işlemler .....	57
3.2.3. Kullanılan makinalar .....	57
3.2.4. Plazma kaynak yöntemi .....	60
3.3. Deney Numunelerine Uygulanan Testler .....	60
3.3.1. Tahribatlı testler .....	61
3.3.2. Tahribatsız testler .....	63

### BÖLÜM.4.

DENEY SONUÇLARI.....	64
4.1. Tahribatsız Testler ve Sonuçları.....	64
4.2. Makroskobik Görüntüler .....	64
4.2.1. Deney Verileri, Mekanik Testler ve Mikroskobik Görüntüler ....	65
4.2.2. Sac kalınlığına bağlı olarak kaynak dikişindeki değişimler.....	79
4.2.3. Akım & voltaj değişimine bağlı olarak kaynak dikişindeki değişimler .....	81
4.2.4. İlerleme hızına bağlı olarak kaynak dikişindeki değişimler .....	81
4.2.5. Kaynak ağzına bağlı olarak kaynak dikişindeki değişimler.....	82

BÖLÜM.5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	88

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

°C	: Celcius türünden derece sıcaklık
A	: Amper
a	: Kalınlık
Al	: Alüminyum
ASTM	: American Society of Testing and Materials
b	: Genişlik
C	: Karbon
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
F	: Kuvvet
Fe	: Demir
GPa	: Giga Paskal
Grade	: Sınıf, klas, tür
H	: Hidrojen
HCl	: Hidroklorik asit
HV	: Vickers sertliği
KHM	: Kübik hacim merkezli
KYM	: Kübik yüzey merkezli
L <sub>0</sub>	: Başlangıç boyu
L <sub>t</sub>	: Toplam boy
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
MPa	: Mega Paskal
N	: Azot
NaOH	: Sodyum hidroksit
Nb	: Niobyum
Nd-YAG	: Neodym Yttrium Aluminium-Granat
O	: Oksijen
Pd	: Palladyum
pH	: Potensiya hidrojen
R <sub>a</sub>	: Yüzey Hassasiyeti
R <sub>m</sub>	: Kopma mukavemeti
R <sub>p0,2</sub>	: Akma mukavemeti

$R_{p0,2/r}$	: Akma mukavemetinin özgül ağırlığa oranı
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Ta	: Tantal
Ti	: Titanyum
TÜV	: Technischer Überwachungsverein
V	: Vanadyum
V	: Volt
Vd-TÜV	: Verband des Technischen Überwachungsvereins (Teknik Denetçiler Birliği Derneği - Almanya)
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
$\alpha$	: Alfa
$\beta$	: Beta
$\epsilon$	: Elastisite

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Titanyum alaşımlarının faz diyagramları .....	5
--	---



Şekil 1.2. a’da tekil parçalar, b’de bir basınçlı kap ve c’de borulu ısı eşanjörü gösterilmektedir. ....	9
Şekil 1.3. Farklı metallerin sertlik dayanımları .....	11
Şekil 1.4. Saf Titanyum’da ana malzemede ve kaynak bölgesinde kırılma dayanımı. ....	12
Şekil 1.5. Metallerin korozyon dayanımları .....	15
Şekil 1.6. Hidroklorik asit çözeltisinde korozyon dayanımı.....	15
Şekil 1.7. NaOH çözeltisindeki korozyon oranı .....	16
Şekil 1.8. Klorid Çözeltisinde Titanyum ve paslanmaz çeliğin ara hacim korozyonu dayanımı.....	17
Şekil 1.9. Deniz suyundaki saf Titanyum ve Bakır alaşımlarının kum erozyonuna karşı olan dayanımları .....	19
Şekil 1.10. Atmosferik oksidasyon süresi ve oksit film tabaka kalınlığı arasındaki ilişki .....	22
Şekil 1.11. Hidroklorik asit çözeltisinde Titanyum için aktif bölgeden pasif bölgeye olan geçiş sınırının gösterimi .....	23
Şekil 1.12. Titanyumun atmosferik oksidasyon işlemi sonrası yüzey görünüşleri ....	24
Şekil 1.13. Saf Titanyum, Ti-0,15Pd Alaşımı ve PdO-TiO <sub>2</sub> kaplanmış Titanyumun hidroklorik asit çözeltisindeki dayanımı .....	24
Şekil 1.14. Atmosferik oksidasyon işlemi voltajı ile Titanyumoksit film tabakasının kalınlığı arasındaki ilişki.....	25
Şekil 1.15. Anotlama işleminin şematik gösterimi .....	25
Şekil 2.1. a ve b ‘de numune kaynak dikişleri verilmiştir .....	33
Şekil 2.2. Koruyucu gaz odası .....	34
Şekil 2.3. Titanyum kaynak yöntemleri .....	36
Şekil 2.4. TIG Kaynağı .....	39
Şekil 2.5. TIG Kaynağı düzeneği .....	39
Şekil 2.6. Plazma kaynağı düzeneği .....	41
Şekil 2.7. Koruyucu gaz oranlarının değiştirilmesi ile elde edilen kaynak dikişleri ..	46
Şekil 2.8. Kaynak dikişini kalitesinin koruyucu gaz ile ilişkisi .....	46
Şekil 2.9. Sadece kaynak Argon ile korunmuş deneme kaynağı .....	47
Şekil 2.10. Kaynak dikişine ait Röntgen filmi .....	48
Şekil 3.1. TIG torcu, kaynak teli ve kaynak arki .....	55
Şekil 3.2. Kaynak öncesi ve sırasında temizlik .....	56

Şekil 3.3. İş parçalarının ve gaz ayakkabılarının sabitlenmesi .....	56
Şekil 3.4. Solda kaynak işlemi ve argon gazı ile koruma, sağda lazer ile sıcaklık ölçümü .....	57
Şekil 3.5. Dikiş yüzeyinde oksit tabakasının paslanmaz tel fırça ile temizlenmesi ...	57
Şekil 3.6. Kaynak işlemi ve kaynak torcu tutucusu .....	58
Şekil 3.7. Hava soğutmalı kaynak torcunun şematik gösterimi .....	58
Şekil 3.8. Su soğutmalı kaynak torcunun şematik gösterimi .....	59
Şekil 3.9. Gaz ayakkabısı .....	59
Şekil 3.10. Çekme testi cihazının şematik gösterimi .....	61
Şekil 3.11. Çekme testi diyagramı .....	61
Şekil 3.12. Çekme deneyi numunesi .....	62
Şekil 3.13. Sertlik testi düzeneği .....	62
Şekil 4.1. Tablo 4.1.'deki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü ..	65
Şekil 4.2. Tablo 4.1.'deki kaynak şartlarındaki numunenin 100:1 oranındaki mikroskopik görüntüsü .....	66
Şekil 4.3. Tablo 4.2.'deki kaynak şartlarındaki numunenin Plazma yöntemi ile kaynağı sonrası mikroskopik görüntüsü .....	67
Şekil 4.4. Tablo 4.2.'deki kaynak şartlarındaki numunenin TIG yöntemi ile kaynağı sonrası mikroskopik görüntüsü .....	68
Şekil 4.5. Tablo 4.2.'deki kaynak şartlarındaki numunenin 100:1 oranındaki mikroskopik görüntüsü .....	68
Şekil 4.6. Tablo 4.3.'deki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü ..	70
Şekil 4.7. Kaynak dikişi.....	70
Şekil 4.8. Tablo 4.4.'teki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü ..	71
Şekil 4.9. Tablo 4.4.'teki kaynak şartlarındaki numunenin 100:1 oranındaki mikroskopik görüntüsü .....	72
Şekil 4.10. Tablo 4.5.'teki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü ..	73
Şekil 4.11. Tablo 4.6.'daki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü .....	74
Şekil 4.12. Tablo 4.7. 'daki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü .....	75
Şekil 4.13. Çekme deneyi sonuçlarının grafik gösterimi .....	77
Şekil 4.14. Vickers sertlik ölçüm noktaları .....	77
Şekil 4.15. Vickers sertlik ölçümlerinin grafik gösterimi .....	78

Şekil 4.16. Et kalınlığı ile kaynak alanının (V kaynak ağızı ve çift taraflı V kaynak ağızı) değişimi .....	79
---	----

## **TABLolar LİSTESİ**

Tablo 1.1. Bazı Titanyum alaşımlarının özellikleri .....	7
Tablo 1.2. Titanyumun kullanım alanları .....	8
Tablo 1.3. Titanyumun mekanik özelliklerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması .....	11
Tablo 1.4. Titanyumun bazı özelliklerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması .....	13

Tablo 1.5. Titanyum ve alaşımlarını ASTM ‘ye ve Alman Uzay Bilimleri El Kitabı ‘na göre sınıflandırılmalarında kullanılan alaşımlandırma elementleri .....	14
Tablo 1.6. Farklı malzemelerin korozyon dayanımlarının kıyaslanması .....	18
Tablo 1.7. Titanyumda gerilim korozyonu yırtılmasına neden olan ortamlar .....	18
Tablo 1.8. Titanyumun farklı korozif ortamlara karşı dayanımının diğer metallerle kıyaslanması .....	20
Tablo 1.9. Titanyumun farklı korozif ortamlara karşı dayanımının diğer metallerle kıyaslanması (Devamı) .....	21
Tablo 1.10. Titanyum ve alaşımları için Şekil verme sıcaklıkları .....	28
Tablo 1.11. Titanyum ve eşdeğerlerinin kesme ve makaslanmasında karşılaşılan zorluklar .....	29
Tablo 1.12. Titanyumun talaşlı imalatında tavsiye edilen kesme takımı malzemeleri .....	30
Tablo 2.1. Kaynak parametreleri ve kaynağa etkileri .....	40
Tablo 2.2. Kaynak Dikişi Renklenmesine Göre Dikiş Kalitesinin Tayini .....	47
Tablo 2.3. Tipik ısıl işlem değerleri .....	51
Tablo 3.1. Kullanılan Titanyum 3.7235 iş parçalarının kimyasal bileşimi .....	52
Tablo 3.2. Titanyum Grade 7’ nin mekanik ve fiziksel zellikleri .....	52
Tablo 3.3. Deney kaynağı için seçilen iş parçaları .....	53
Tablo 4.1. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları .....	65
Tablo 4.2. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları .....	67
Tablo 4.3. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları .....	69
Tablo 4.4. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları .....	71
Tablo 4.5. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları .....	72
Tablo 4.6. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları .....	73
Tablo 4.7. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları .....	74
Tablo 4.8. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları .....	75
Tablo 4.9. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları .....	76

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Titan 994 Pd, Ti-grade 7, kaynaklanabilirlik, Titanyum alaşımları

Titanyum alaşımlarının akma dayanımı/yoğunluk oranları, çelik ve alüminyum alaşımlarının bu oranlarının yaklaşık 3 katıdır. Ayrıca diğer metallere göre oldukça iyi özgül ağırlık/sertlik oranına sahiptirler. Yüksek korozyon ve yüksek sıcaklık dayanımına sahip olduklarından uçak ve uzay sanayinde, biyolojik uyumluluk özelliklerinden dolayı da medikal alanda yaygın olarak kullanılırlar. Düşük lineer ısı genleşme katsayısına sahip olmaları ile sıcaklığın değişken olduğu ortamlarda fazla şekil değişimi göstermemeleri karşımıza bir avantaj olarak çıkarken, yapılan kaynak işlemleri esnasında özellikle bu hususa dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü Titanyum bu özelliği ile ısıyı depolar ve daha kısa sürede iri taneli içyapı oluşturur, bu da malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Reaktif yapıda olmasında

reaktiften kasıt, atmosfer gazlarını bünyesine almaya olan eğilimini açıklamada kullanılır. Bu eğilimi ısı artışı ile yükseldiğinden kaynak esnasında kaynak bölgesi hassaslaşır.

Bu çalışmada Ti-grade 7 alaşımının kaynak kabiliyeti deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada farklı kalınlıklardaki ve şekillerdeki malzemeler TIG ve plazma yöntemleri ile kaynatılarak tahribatlı ve tahribatsız test teknikleri uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda Ti-grade 7 alaşımı için uygun kaynak şartları belirlenmiştir. Ti-grade 7'nin kaynak kabiliyetinin oldukça yüksek olduğu test çalışmaları sonucunda belirlenmiştir.

## **ANALYSIS OF THE WELDABILITY OF TITANIUM**

### **SUMMARY**

Key Words: Titan 994 Pd, Ti-grade 7, weldability, Titanium alloys

Titanium Alloys' ratio of yield strength/density is 3 times higher in comparison to steel and Aluminium Alloys. They also have much better specific weight/hardness ratio than other metals. Usage of this materials in aerospace industry due to their high corrosion resistance and high temperature resistance, and in medical applications due to their biocompatibility are very common. They have a lower thermal expansion factor which is an advantage for applications under variable temperature environment. On the other hand, this low thermal expansion factor is the reason why we need give more attention to welding works with this material.

The material tends to stock the heat during welding and develops big grained inner structures. The mechanical properties get worse when materials are getting bigger grained. Titanium is reactive means, the material tends to have a chemical reaction with the atmospheric gases. This tendency increases with rising temperature and the material gets more sensitive which is the case by welding applications. The weldability of Titanium Grade 7 is analysed experimentally within this study.

Welding tests with TIG and Plasma Welding method are performed with work pieces in different thicknesses and shapes. Suitable welding parameters for Titanium Grade 7 are defined within this study and good weldability is identified with welding tests.

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

## 1.1. Giriş

Titanyum ve alaşımları endüstriyel uygulamalarda kullanılan en iyi mühendislik malzemelerden biridir [1-3].

Titanyum ilk olarak İngiltere’de, 1791 yılında Kimyager William Gregor tarafından bulunmuştur. Bundan bağımsız olarak da 1795 yılında Alman Kimyager Heinrich Klaproth tarafından keşfedilmiş ve ismi Yunan mitolojisinden esinlenilerek verilmiştir [4-11]. Metalik Titanyumun filizinden kazanılıp elde edilmesi, keşfinden 40 sene sonra 1831 ‘de Justus von Liebig tarafından başarılmıştır. Saf (%99,9) Titanyum, 1910 senesinde Matthew A. Hunter tarafından Titantetraklorid ile Natriyum’un 700 – 800 °C sıcaklığa kadar ısıtılması ile üretilmiştir.

Endüstrideki kullanımı ilk olarak 1950 ve 1960’lı yıllarda yapılan büyük yatırımlarla hayata geçmiştir [4-11]. 1940 yılında William Justin Kroll ‘ün, Kroll Prosesi olarak adlandırdığı Titantetrakloridin Magnezyum ile redüksiyonun daha büyük miktarlarda malzeme için uygulanabilmesinin sağlanmasıyla.

Soğuk Savaş’ta Rusya ve Birleşik Devletler’in bu alanda büyük yatırım ve geliştirme projeleriyle Titanyum askeri havacılık endüstrisinde kullanılmıştır. Başlangıçta sadece uçak gövdelerinde, sonradan jet motoru parçalarında [4-11].

Günümüzde Titanyumun farklı sektörlerde kullanımı artarken, bu malzemenin kaynak edilebilirliği ile ilgili bilimsel çalışmalara yer verilen yerli ve yabancı kaynaklar sınırlı sayıdadır. Ülkemizde metal işleciliğinin yaygınlaşması, karbon çelikleri ve standart paslanmaz çeliklerin yanında 15Mo3, 13CrMo9-10, S355 ve Dupleks malzemelerin de



kaynak işçiliğini yapılabılır hale getirmiştir. Henüz sınırlı da olsa, özel uygulamalarda tercih edilen Titanyum, Tantal ve Zirkonyum işçiliği de son yıllarda artmıştır.

Bu çalışma, Titanyumun kaynak edilebilirliği konusunda destek ve yol gösterici olması anlamında hazırlanmıştır. Kaliteli kaynağın doğru parametreleri belirlemekle bitmediği, bunun yanında düzenek, araç-gereç gerekliliği ve işçilikte temiz çalışmanın önemi ortaya çıkarılmıştır.

## **1.2. Titanyumun Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları**

### **1.2.1. Sınıflandırılması**

Titanyum aşağıdaki genel başlıklar altında sınıflandırılmaktadır:

- a) Saf (Alaşimsız) Titanyum
- b) Alfa Titanyum
- c) Alfa-Beta Titanyum
- d) Beta Titanyum

Saf Titanyum ve Alfa Titanyumlar aynı grupta görülebilir. Alfa ve Beta, Titanyumun farklı sıcaklık değerlerindeki kristal yapısına dikkat çekmektedirler. Oksijen, demir, alüminyum, vanadyum veya diğer alaşım elementlerinin de ilavesiyle, bu alaşımların farklı sıcaklıklardaki kristal yapılarını ve böylece özelliklerini etkilemek, değiştirmek mümkündür.

Titanyum için ASTM Sınıf 1, 2, 3 ve 4 saf Titanyumlar arasında gösterilir. Çeşitlilikleri, oksijen ve demir elementleri miktarları ile sağlanır. Malzemenin çekme mukavemeti bu elementlerin miktarının artmasıyla artar, sünekliği ise düşer. ASTM Sınıf 2, korozyon dayanımının en üst düzeyde arandığı şartlarda tercih edilir. Saf Titanyumlar 300 °C 'ye kadar iyi sünekliğe sahiptirler, iyi şekilde kaynaklanırlar ve diğer Titanyum alaşımlarına göre daha ucuzdurlar. Sertlikleri ise diğer Titanyum alaşımlarına göre düşüktür.

Bir Alfa-Beta Titanyum alaşımı olan Sınıf 5 (Ti-6Al-4V), farklı alaşımlar arasında en sık olarak tercih edilen türdür. Alüminyumun alaşım elementi olarak ilave edilmesi ile çekme mukavemeti yaklaşık 830 MPa 'a kadar yükselir ve 400 °C 'ye varan sıcaklık ortamlarında kullanılabilir hale gelirler. Sınıf 2 'ye göre Şekil verilebilme kabiliyetleri düşük ve kaynak edilebilirlikleri daha zordur. Genelde havacılık endüstrisinde, denizcilik uygulamalarında ve güç santralleri ve denizde kurulan petrol platformlarında tercih edilirler.

Sınıf 23, Sınıf 5'e benzer özellikler gösterir. Azaltılmış oksijen içeriği ile sertliği bir miktar düşse de iyi süneklik ve tokluk özelliklerine sahiptirler. Sınıf 9 daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirken, saf Titanyumlara göre % 20 – 50 daha iyi sertlik dayanımına sahiptirler ve Sınıf 5 Titanyumlarına göre daha iyi kaynaklanabilir ve Şekil verilebilirlerdir.

Titanyum ve alaşımlarının akma mukavemetleri yaklaşık 480 MPa 'dan başlayıp, ticari sayılabilecek grupta olan bazı özel alaşımlarda yaklaşık 1100 MPa 'a kadar ulaşabilmektedir.

Titanyum alaşımlarının bir diğer önemli özelliği ise korozyon dayanımlarıdır. Atmosfer ortamında Titanyum birkaç nanometre kalınlığında bir oksit tabakasını kendiliğinden oluşturmakta ve kendini oksidasyona karşı korumaktadır. Oksit tabakası zarar görse bile, nem veya oksijenin varlığındaki ortamda yeniden bir oksit tabakası oluşturmaya kendiliğinden başlar. Bu oksit tabakası malzemenin yüzeyine iyice tutunmuş durumdadır. Malzeme bu tabaka ile geniş bir pH aralığında, birçok korozif özellikteki çözeltilere karşı dayanım gösterir. Titanyum ve alaşımları asitlere, kloridlere ve tuzlara karşı geniş bir sıcaklık aralığında harika korozyon dayanımı gösterirler. Sıvı Azot sıcaklığından (-197 °C) yaklaşık 593 °C'ye kadar dayanımları vardır.

Titanyumun mekanik özellikleri, saflık derecesine ve malzeme tane yapısı durumuna bağlı olarak değerlendirilir. Tane yapısındaki istenmeyen elementler olumsuz etki yapar, bu nedenle mümkün olduğunca az oranda bulunmalıdırlar. Titanyumun yüksek sıcaklıklarda reaktif yapıda olması ise istenmeyen bu elementlerin azaltılmasını

zorlaştırmaktadır. Bu reaktif yapıdan dolayı malzeme içinde küçük atomlu, metalik olmayan ve istikrarlı yapıda bağlantılar oluşur (metaloit), bunlar malzemeyi aşırı oranda gevrekleştirebilirler.

Yaklaşık 500 °C ve üstü sıcaklıklarla beraber, oksijen, azot ve hidrojen gibi gazları bünyesine alma eğiliminde olan Titanyumun sünekliği de giderek düşer. Bu nedenlerden dolayı tüm ergitme ve ısıl işlemlerin zorunlu olarak vakum veya yüksek saflıktaki koruyucu gaz ortamında yapılması gerekliliği ve ayrıca ısıl işlem ve kaynaktan önce tüm yüzeylerin kir ve kalıntılardan arındırılması gerekliliği kaçınılmazdır [12-17].

Titanyum alaşımları kristalografik faz yapılarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadırlar [12-17]:

- a) Alfa Alaşımları sadece hegzagonal kafes yapısı,  $\alpha$  – Fazı
- b) Beta Alaşımları sadece kübik hacim merkezli,  $\beta$  – Fazı
- c) Alfa – Beta Alaşımları İçyapıda  $\alpha$  ve  $\beta$

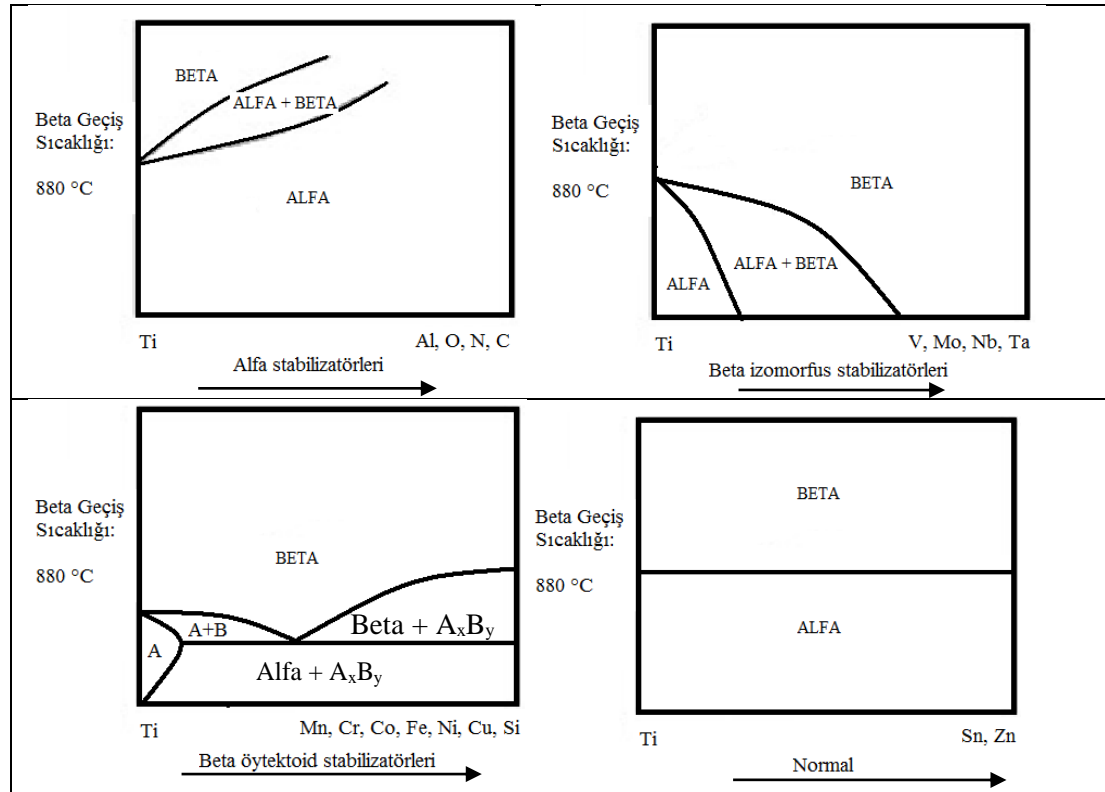
Oda sıcaklığındaki saf Titanyum, Alfa ( $\alpha$ ) hegzagonal sıkı paket kristal yapısına sahiptir. Bu yapı yaklaşık 882 °C ‘de beta ( $\beta$ ) hacim merkezli kübik kafes yapıya hale dönüşür. Bu dönüşüm sıcaklığı aynı zamanda beta geçiş sıcaklığı olarak da anılır ve bu sıcaklık malzemenin içindeki yabancı bileşimlerin veya alaşım elementlerinin miktarlarının değiştirilmesiyle de yukarı veya aşağıya doğru çekilir. Saf Titanyum’un ergime sıcaklığı 1668 °C ‘dir [4-11].

Saf Titanyum oda sıcaklığında temelde alfa fazındadır. Alaşım elementlerinin katılmasıyla mevcut fazlarının ve beta geçiş sıcaklığının değişmesi eğiliminde bulunurlar [4-11].

Alüminyum, oksijen, azot, karbon ve bor ilavesi  $\alpha$  stabilitesini sağlar. Ağırlıklı olarak tercih edilen Krom, Vanadyum, Molibden, Demir, Nikel, Paladyum, Tantal ve Silisyum ise faz dönüşüm sıcaklığını daha düşük sıcaklıklara doğru kaydırır,  $\beta$  fazını geliştirir ve bu fazın oda sıcaklığına kadar oturmuş kalmasını sağlar [12-17]. Bundan ötürü alaşım tipine bağlı olarak modifikasyonlar  $\alpha$ ,  $\alpha + \beta$  ve  $\beta$  şeklinde olabilirler. Metal

olmayan Karbon ve Silisyum ve hatta Oksijen bile alaşımlandırmanın parçası olabilirler [12-17].

Malzemenin soğutulma şekli de  $\beta$  – modifikasyonunun stabilitesini etkiler, istenmeyen faz dönüşümlerinin ortaya çıkmasına neden olabilir, örneğin kaynak esnasında [4-11].



Şekil. 1.1. Titanyum alaşımlarının faz diyagramları [4-11]

Beta stabilizatörleri iki gruba ayrılırlar ve her iki grup da, beta geçiş sıcaklığını aşağıya doğru çekerler. Bunlar; Beta izomorfus ve beta öyektoid olarak anılırlar.

İzomorfus alfa fazı, meta stabil betanın ayrışmasıyla ilk grupta oluşur, bunun yanında ikinci grupta ise iç içe geçmiş öyektoid karışımda alfa ve kompozitler oluşur. İzomorfus grup, beta fazıyla tamamen karışabilir elementlerden bir araya gelir. Bu grubun içerisinde Molibden, Vanadyum, Tantal ve Niob yer alır. Öyektoid şekil gösteren grup Mangan, Demir, Krom, Kobalt, Nikel, Bakır ve Silikon içerir ve alaşımsız Titanyumun transfer sıcaklığının 335 °C kadar altında öyektoid sıcaklıklarına sahiptir. Fakat bu kadar çok alaşımın varlığıyla öyektoid reaksiyonlar o

kadar yavaş oluşurki, gerçekte bu alaşımlar sanki reaksiyon yokmuş gibi davranma eğiliminde olurlar [4-11].

Çinko ve Zirkonyum etkisiz olarak kabul edilir. Çünkü beta geçiş sıcaklığını etkilemezler. Çinko, hem alfa ve hem de beta fazlarındaki ileri düzeydeki çözünebilirliği ile sıklıkla sertleştirici katı-çözelti olarak Alüminyum ile beraber malzemenin gevrekleşmesine izin vermeden sertliğinin arttırılması için kullanılır. Zirkonyum, Titanyum ile kesintisiz olan düşük ve orta sıcaklıklarda dayanımı yüksek bir katı çözelti oluşturur [4-11].

Beta Titanyum alaşımları, beta geçiş sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta yapılan normalizasyon ısı işleme sonucu hava ortamında zorlanmış taşınımla soğutma işleminden sonra çoğunlukla beta mikro yapısına kavuşur. Alfa-Beta Titanyum alaşımları ise oda sıcaklığında hem alfa ve hem de beta fazını bünyesinde barındıran alaşımlardır [4-11].

Titanyum ve alaşımları; yukarıda bahsedilen tüm özellikleri ile cazip tasarım malzemeleridir. Pahalılıkları elde edilmiş şeklinden ve işçiliğinden kaynaklanmaktadır [4-11].

Tablo 1.1. Bazı Titanyum alaşımlarının özellikleri [4-11]

Alaşım Durumu	Malzeme durumu	Kopma Mukavemeti MPa	Akma Mukavemeti MPa	Elastiklik Modülü GPa	Genleşme %	
Saf Titanyum						
Sınıf 1	Isıl işlem	240	170	103	24	
Sınıf 2		345	275	103	20	
Sınıf 4		550	485	103	15	
Alfa ve Alfaya yakın Alaşımlar						
Ti5-2.5	Ti-5Al-2.5Sn	Isıl işlem	790	760	110	16
Yarı 6-4	Ti-3Al-2.5V		620	520	107	20
Ti-6442S	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.25Si		900	830	114	15
Ti-8-1-1	Ti-8Al-1Mo-1V		900	830	124	15
Alfa – Beta Alaşımları						
Ti-6-4	Ti-6Al-4V	Isıl işlem	900	830	114	14
		Normalizasyon ve Yaşlandırma	1170	1100	114	10
Ti-6-6-2	Ti-6Al-6Sn-2V	Isıl işlem	1035	1000	110	14
		Normalizasyon ve Yaşlandırma	1275	1170	110	10
Ti-6246	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	Normalizasyon ve Yaşlandırma	1300	1170	114	10
Ti-6-22-22S	Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	Isıl işlem	1035	965	122	-
		Normalizasyon ve Yaşlandırma	1275	1140	122	11
Beta Alaşımları						
Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	Normalizasyon ve Yaşlandırma	1170	1100	112	10
Ti-15-3	Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	Isıl işlem	770	720	-	22
		Normalizasyon ve Yaşlandırma	1100	985	-	12
Diğer Malzemeler						
Yumuşak çelik	-	303	169		45	
Paslanmaz çelik (304)	-	648	263		58	

Beta alaşımları, beta stabilizatörleri bakımından oldukça zengin ve alfa stabilizatörleri bakımından ise fakirdirler. Bu sayede beta fazları uygun soğutma değerleri ile alaşım içinde komple tutulabilirler. Beta alaşımları az miktarda da olsa sertlik dayanımlarının artmasında faydalı olan alfa stabilizatörleri içerir. Sınıf olarak, beta ve betaya yakın Titanyum alaşımları alfa-beta alaşımlarına göre sabit bir sertlik değerinde daha yüksek kırılma dayanımı sunar [4-11].

Beta alaşımları, oda sıcaklığında şekil verilebilme ve mekanik işlenebilme karakteristikleri anlamında alfa-beta alaşımlarına göre daha iyi özellikler göstermektedirler. Alfa-beta alaşımlarına göre yüksek sıcaklıklarda, sürünme dayanımın değil çekme dayanımının arandığı durumlarda daha iyi sertlik dayanımına sahiptirler [4-11].

### 1.2.2. Kullanım alanları

Pahalı bir malzeme olmasından ötürü Titanyum, iyi özelliklerine ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılır (Tablo 1.2.).

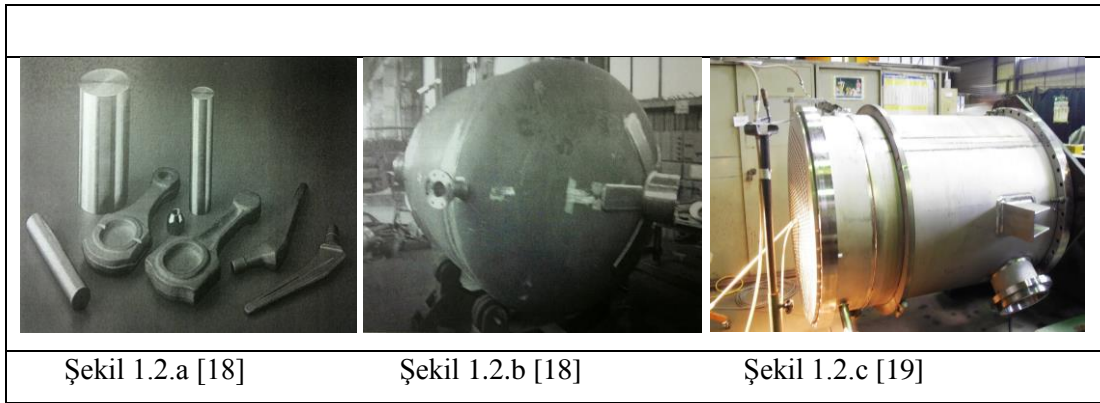
Tablo 1.2. Titanyumun kullanım alanları [12-17]

Sektör	Kullanım Alanı
Havacılık ve Uzay Araçları	İniş Takımları Aksamı, Taşıyıcı Strüktürler, Yakıt Tankları, Klima Hatları, Kaplamalar, Bağlantı Elemanları
Kimya Sektörü Aparatları	Borulama, Isı Eşanjörleri, Basınçlı Kaplar, Pompalar
Hassas Mekanik Ekipmanlar	Gözlük Çerçevesi, Saatler, Ziyet Eşyası
Tıp (Medikal Uygulamalar)	Kemik Cıvataları, Kalça Eklemleri, Diş İmplantları, Kalp Cihazı Gövdesi
Spor Ekipmanları	Tenis Raketi, Golf Sopası, Bisiklet Gövdesi
Özel Ekipman İmalatı	Deniz Suyu Filtrasyon Tesisleri, Kağıt ve Tekstil Endüstrisi Atık Gaz Filtrasyon Tesisleri

Dünyada Titanyuma ihtiyaç son senelerde artmakta ve tahmini olarak 470.000 ton/sene civarındadır. En büyük pay 190.000 ton/sene ile uzay endüstrisine aittir. Titanyum

kullanımı günümüzdeki modern yolcu uçaklarının ağırlığının %8'ine kadar ulaşırken, askeri uçaklarda bu oran boş ağırlığın % 35'ine kadar çıkabilmektedir. Malzemenin pahalı oluşundan ötürü Titanyum alaşımları, savunma sanayine ait uçaklarda daha büyük oranda yer almaktadırlar. F-22 savaş uçaklarının iskelet ağırlıklarının yaklaşık %42'si Titanyum alaşımlarından oluşurken, bir Boeing 757 'de bu oran %5 'e kadar düşmektedir [4-11].

Yüzeyindeki tetragonal yapıyla stabil katman Titanyumdioksit korozyona karşı yüksek dayanım göstermektedir ve bu nedenle kimya endüstrisinde ihtiyaç duyulan basınçlı kap, ısı eşanjörü ve tanklar gibi imalatında kullanılmaktadır. Basınçlı kap duvarının tamamı Titanyumdan olabileceği gibi, Titanyum gömlek yapıya giydirilebilir veya Titanyum kaplaması yapılabilir [4-11].



Şekil. 1.2. a'da tekil parçalar, b'de bir basınçlı kap ve c'de borulu ısı eşanjörü gösterilmektedir.

Titanyum insan vücudu tarafından kabul edilebilir özelliğe sahiptir. Bu nedenle cerrahi müdahalelerde ve implantlarda kullanılmaktadır. Titanyumun paslanmaz çeliğe göre sahip olduğu düşük elastisite modülü, onu insan kemiklerine daha yakın yapıda bir malzeme haline getirmektedir. Uzun vadede temasta olduğu kemiklerin daha az aşınmasını sağlamaktadır [4-11].

Titanyum filizlerinin %95'i Titanyumdioksitlere ( $TiO_2$ ) dönüştürülmekte ve sararmaya karşı dirençli beyaz pigmentler olarak boya, kağıt, diş macunu ve plastiklerin üretiminde kullanılmaktadır [4-11].



### 1.3. Titanyum ve Özellikleri

Titanyum, yerkürede yaygın olarak bulunan elementlerden birisidir. Titanyumun kazanımı, düşük yoğunluktaki mevcudiyetinden dolayı zordur. Saf haliyle Titanyum gümüş beyazımsı metalik şekilde bulunmakta ve bünyesinde yararlı özellikleri barındırmaktadır [12-17]. Bunlardan başlıcaları;

1. Yüksek mekanik dayanım,
2. Düşük özgül ağırlık ( $4,5 \text{ gr/cm}^3$ ),
3. Düşük ısı genleşme katsayısı,
4. Yüksek ergime sıcaklığı,
5. İyi derecede korozyon dayanımı (asidik ve bazik)
6. İyi ısı mukavemet
7. Yüksek mukavemet
8. İyi yorulma dayanımı
9. Yüksek tokluk
10. Düşük çatlak ilerleme hızıdır [12-17].

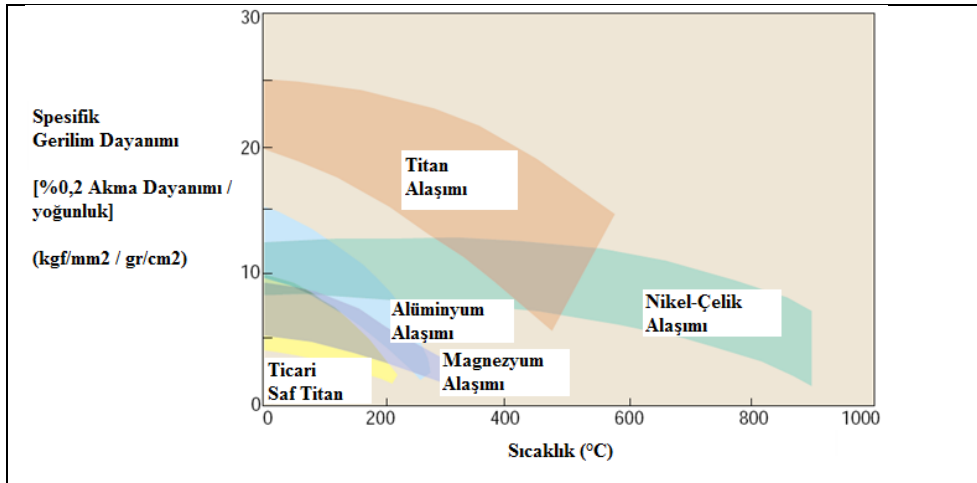
Özgül ağırlığı ile çelikten %45 hafif, alüminyumdan %60 daha ağırdır. Bu sayede tüm metallere göre en iyi özgül ağırlık – sertlik dayanımı değerlerine sahiptir. Düşük lineer ısı genleşme katsayısına sahip olması ile sıcaklığın değişken olduğu ortamlarda fazla şekil değişimi göstermemesi karşımıza bir avantaj olarak çıkarken, yapılan kaynak işlemi esnasında özellikle bu hususa dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü bu özelliği ile ısıyı depolar ve daha kısa sürede iri taneli içyapı oluşturur, bu da malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz olarak etkiler. Reaktif yapıdan kasıt ise atmosfer gazlarını bünyesine almaya olan eğilimidir. Bu gazların başlıcaları oksijen, azot ve hidrojenidir. Bu eğilim ısı artışı ile artmakta olduğundan kaynak esnasında kaynak bölgesi hassaslaşır.

#### 1.3.1. Fiziksel ve mekanik özellikleri

Saf Titanyumlar çok iyi kopma dayanımına sahiptirler, yaklaşık 410 MPa. Bu değer düşük alaşımlı çeliklerle neredeyse aynıdır. Asıl avantajları ise, bu çeliklere göre %45 oranında hafif olmalarıdır. Bazı Titanyum alaşımları özel ısı işlemlerle yaklaşık 1400 Mpa 'a varan çekme dayanımlarına ulaşırlar (Tablo 1.3.) [4-11].

Tablo 1.3. Titanyumun mekanik özelliklerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması [12]

	Elastisite Modülü E ( $10^3$ N/mm <sup>2</sup> )	%0,2 Akma Dayanımı R <sub>p0,2</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı / Yoğunluk R <sub>p0,2</sub> / r ( $10^{-3}$ N/gr)
Saf Titanyum	110	330-500	73-111
Titanyum Malzemeler	80-115	750-1500	147-366
Karbon Çelikleri	210	260-600	33-76
Paslanmaz Çelik % 18 Cr, % 8 Ni	195	400-550	51-70
Nikel Esaslı Alaşımlar	160-210	750-1400	90-170
Alüminyum Malzemeler	60-130	120-400	43-154
Bakır Alaşımları	70-125	250-800	28-101



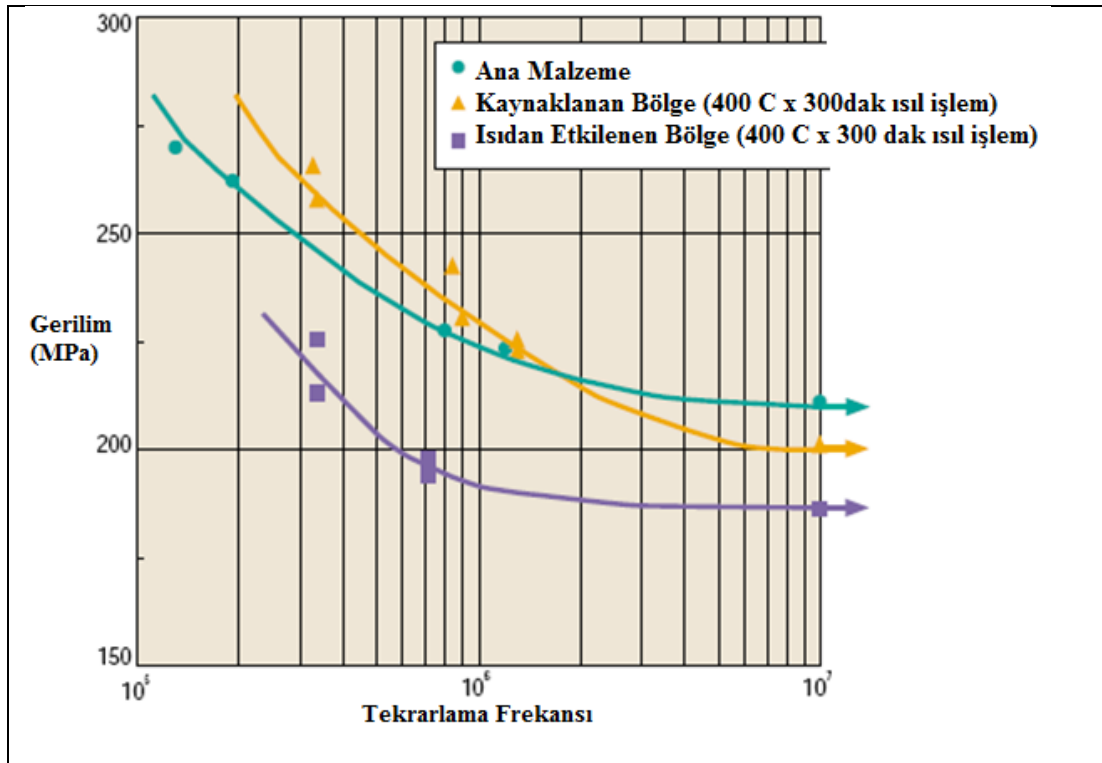
Şekil. 1.3. Farklı metallerin sertlik dayanımları [20]

Şekil 1.3.'te Titanyum ve Titanyum alaşımları ile diğer metallerin akma dayanımları verilmiştir. Titanyum alaşımlarının sertlikleri 600 °C varan yüksek sıcaklık aralığında diğer metalik malzemelere göre daha iyi durumdadır [20].

Saf Titanyum, sahip olduğu sertlik, sürünme dayanımı ve diğer özelliklerine bağlı olarak 300 °C sıcaklık aralıklarına kadar dayanım gösterebilmektedir. Diğer taraftan Titanyum alaşımları yüksek sertlik dayanımlarını yaklaşık 500 °C sıcaklık aralıklarında gösterirler (Şekil 1.3.) [20].

Titanyum ve alaşımları düşük sıcaklıklarda gevrekleşirler, bu nedenle sıcaklık düştükçe saf Titanyum veya saf Titanyuma yakın alaşımların tercih edilmesi gerekmektedir.

Yorulma dayanımı çekme dayanımının %50 'sine tekabül etmektedir ve yapılan kaynak işlemleri bu yorulma dayanımını çok fazla etkilemez. Tuzlu su ortamında yorulma dayanımlarını kaybetmezler. Titanyum alaşımlarının kırılma dayanımları, kopma ve akma dayanımları ile ters orantılıdır. Kırılma dayanımı malzemenin mikro yapısına bağlıdır ve bu kırılma dayanımı iğne yapıllı taneciklere sahip malzemelerde daha yüksektir.



Şekil. 1.4. Saf Titanyum'da ana malzemede ve kaynak bölgesinde kırılma dayanımı. [20]

Şekil 1.4. 'e göre Titanyum 'da kaynak işlemi sonrası en hassas bölge ısıdan etkilenen bölgedir. Kopma dayanımı bu bölgede en düşük değere sahiptir. Titanyum ve alaşımları çok düşük ısı iletkenliğine ve yüksek elektriksel dirence sahiptirler.

Tablo 1.4. 'de Titanyumun endüstride kullanımı yaygın olan diğer metalik malzemelere göre daha yüksek ergime noktasına sahip olduğu görülmektedir. Bu özelliği ile daha geniş sıcaklık aralığında kullanılabilirler. Isıl iletkenliklerinin alaşımsız çeliklere göre düşük, paslanmaz çeliklerle aynı oluşu ise olumsuz bir durumdur. Titanyum kendisine verilen ısıyı hemen iletmediğinden bu durum, kaynak esnasında dikkat edilmesi gereken bir husus olarak öne çıkar.

Tablo 1.4. Titanyumun bazı özelliklerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması [20]

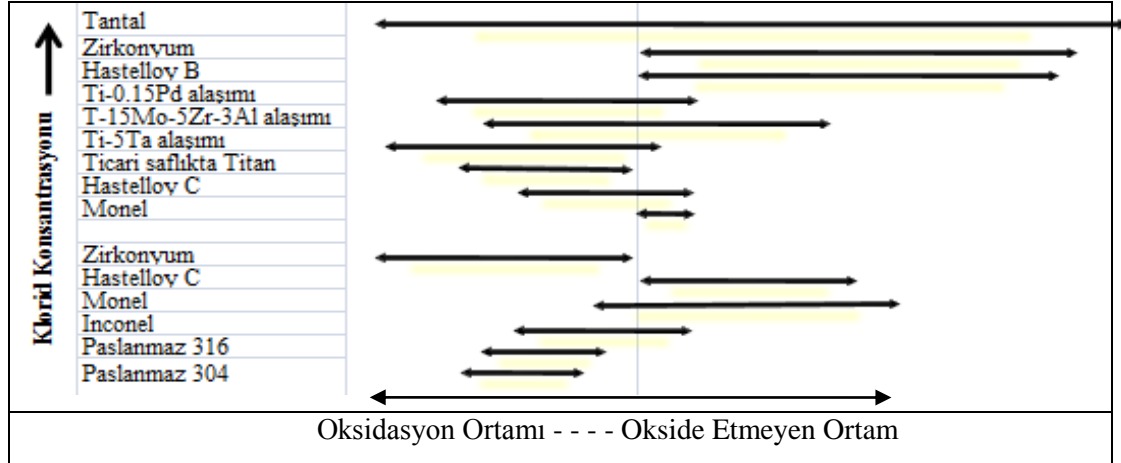
Element	Al	Ti	Zr	Ta	Alaşımsız Çelik	CrNi Çeliği
Ergime Noktası (°C)	660	1668	1852	2996	1500	1450
Kaynama Noktası (°C)	2330	3260	3578	5425	3000	3000
Kafes Yapısı Yüksek Sıcaklık	-	KHM (beta)	KHM (beta)	-	KHM >1392°C	-
Dönüşüm Sıcaklığı	-	882°C	862°C	-	906-1392°C KYM (gama)	-
Kafes Yapısı Oda Sıcaklığı	Kübik Yüzey Merkezli	Hegza-gonal (alfa)	Hegza-gonal (alfa)	Kübik Hacim Merkezli	Kübik Hacim Merkezli (alfa)	Kübik Hacim Merkezli
Isıl Kapasite	880	525	289	136	449	502
Isı İletkenliği	240	16,5	19	54	52,5	16,5
Isıl Genleşme	25	8,7	5,8	6,5	12	17,5

### 1.3.2. Kimyasal Özellikleri

Tablo 1.5. Titanyum ve alaşımlarını ASTM 'ye ve Alman Uzay Bilimleri El Kitabı 'na göre sınıflandırılmalarında kullanılan alaşımlandırma elementleri [12-17]

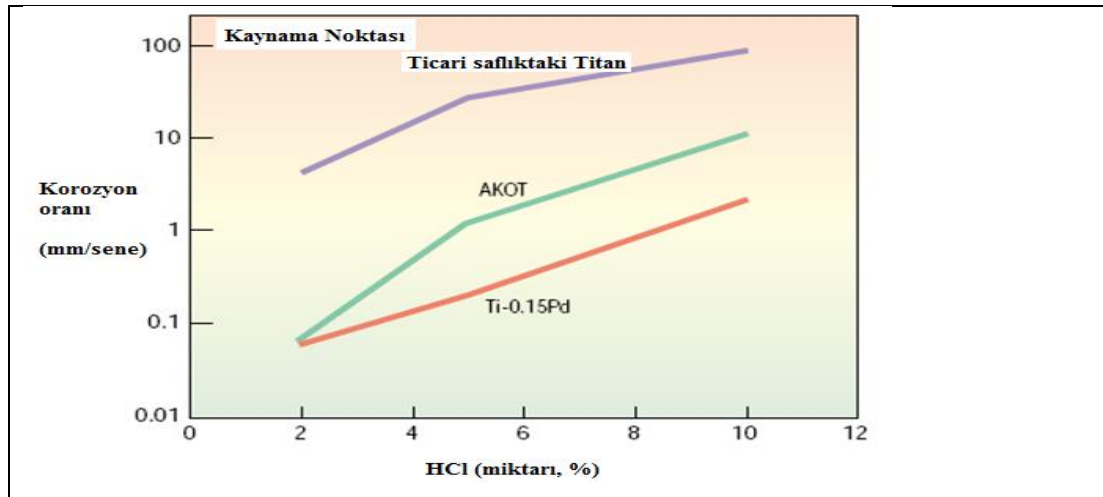
ASTM Gr ad e	Tanım	Maksimum Alaşım Elementleri Miktarı (%)					Ortalama Miktarda Alaşım Elementleri (%)			Diğer Elementler		
		Fe	O2	N2	C	H2	Pd	Al	V			
1	Ti1	0,20	0,18	0,03	0,08	0,015						
2	Ti2	0,30	0,25	0,03	0,08	0,015						
3	Ti3	0,30	0,35	0,05	0,08	0,015						
4	Ti4	0,50	0,40	0,05	0,08	0,015						
5	Ti-6Al-4V	0,40	0,20	0,05	0,08	0,015		6,10	4,00			
6	Ti-5Al-2.5Sn	0,50	0,20	0,03	0,08	0,015		5,00		2,5 Sn		
7	Ti-0.2Pd	0,30	0,25	0,03	0,08	0,015	0,18					
9	Ti-3Al-2.5V	0,25	0,15	0,03	0,08	0,015		3,00	2,50			
10	Ti-0.2Pd	0,20	0,18	0,03	0,08	0,015	0,18					
11	Ti-3Al-2.5V- 0.05Pd	0,25	0,15	0,03	0,08	0,015	0,06	3,00	2,50			
12	Ti-3Al-8V- 6Cr-4Zr-4Mo	0,30	0,12	0,03	0,05	0,020		3,50	8,00	4,0 Mo	6,0 Cr	4,0 Zr
13	Ti-3Al-8V- 6Cr-4Zr-4Mo- 0.05Pd	0,30	0,12	0,03	0,05	0,020	0,06	3,50	8,00	4,0 Mo	6,0 Cr	4,0 Zr
14	Ti-15Mo- 3Nb-3Al- 0.2Si	0,40	0,17	0,03	0,05	0,015		3,00		15,0 Mo	2,7 Nb	0,2 Si
15	Ti-15Mo- 3Nb-3Al- 0.2Si-0.05Pd	0,05	0,04	0,05	0,15	0,015	0,06	3,00		15,0 Mo	2,7 Nb	0,2 Si
16	Ti-6Al-4V ELI	0,25	0,13	0,03	0,08	0,013		6,00	4,00			
17	Ti-6Al-4V- 0.05Pb	0,40	0,20	0,05	0,08	0,015	0,06	6,10	4,00			

Yüzeydeki pasif Titanyumoksit tabakası sayesinde korozyon direnci yüksektir. Özellikle bu tabakanın oluşmasını sağlayan ve geliştiren oksidasyona açık ortamlarda kullanımı çok uygundur (Şekil 1.5.).



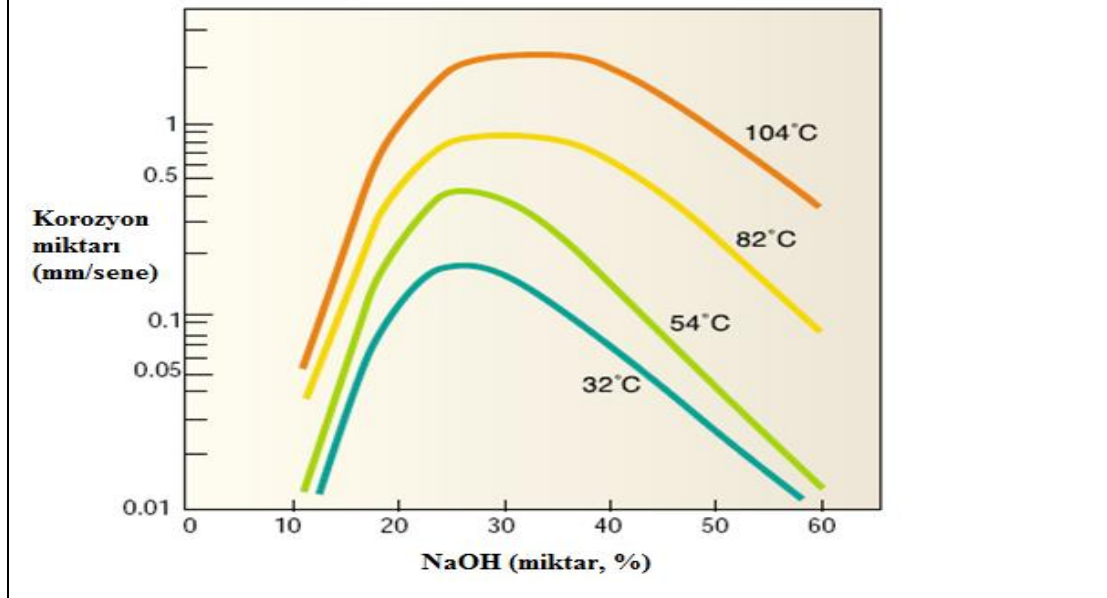
Şekil. 1.5. Metallerin korozyon dayanımları [20]

Titanyumoksit tabakası deniz suyuna karşı harika direnç göstermektedir, paslanmaz çeliklerin aksine klorin iyonları ile temasta bulunduğu anda ise kolayca kırılmamaktadır. Sıvı klorid çözeltileri, nitrik asit çözeltileri, krom asitleri, fosforlu asitler ve ıslak klor gazlarına karşı da dayanım göstermektedirler. Kuru klor gazı, nitrik asit, tuz asidi ve asidik metanole karşı dayanımsızdırlar.



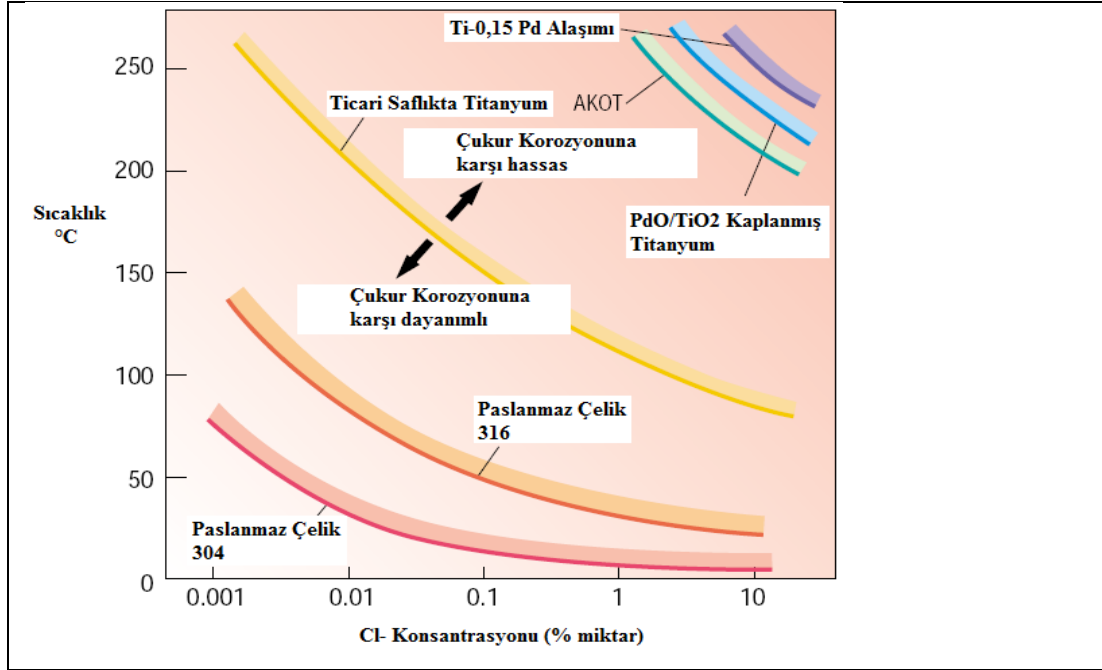
Şekil. 1.6. Hidroklorik asit çözeltisinde korozyon dayanımı [20]

Şekil 1.6.'da %15 Palladyum'a sahip Titanyum alaşımının, hidroklorik asit ortamında saf Titanyum'a göre yaklaşık 6 kat fazla aşınma dayanımı gösterdiği görülmektedir. Genel anlamda ise, asidik ortamın yoğunlaşmasıyla korozyon dayanımının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil. 1.7. NaOH çözeltisindeki korozyon oranı [20]

Şekil 1.7. 'de %30-35 yoğunluktaki sodyum hidroksit çözeltisinde Titanyumun korozyon dayanımının en aza düştüğü ve şaşırtıcı şekilde çözelti yoğunluğu %30-35'i aşında korozyon direncinin tekrar arttığı görülmektedir. Şekil 1.7.'den çıkartılan ikinci yorum ise, çözelti sıcaklığının artışı ile korozyon dayanımının düştüğüdür.



Şekil. 1.8. Klorid Çözeltisinde Titanyum ve paslanmaz çeliğin ara hacim korozyonu dayanımı [20]

Hidroklorik veya sülfürikasit gibi, oksitleyici olmayan yüksek saflıktaki asit ortamlarında sıcaklığın artması ile Titanyum korozyona uğratılabilir. Böyle durumlarda özel Titanyum alaşımlarının tercih edilmesi gerekmektedir. Bunlardan bazıları Ti-0,15Pd alaşımı veya Ti-Ni-Pd-Ru-Cr alaşımı (AKOT) olabilir. Bakır alaşımlarının aksine, Titanyumda bilindik anlamda korozyon, gerilme korozyonu yırtılması veya pitting (çukur) korozyonu görülmez. Saf Titanyumun erozyon dayanımı tüm Bakır alaşımlarına kıyasla mükemmeldir [20].

Ama yüksek sıcaklık altında yüksek konsantrasyona sahip çözeltilerde Titanyumda Aralık korozyonunun görülmesi mümkündür. Böyle durumlarda Ti-0.15Pd alaşımının kullanılması önerilir [20].

Sadece bazı ortamlarda Titanyumda Gerilme korozyonu yırtılması ile karşılaşılabilir (Tablo 1.6.).



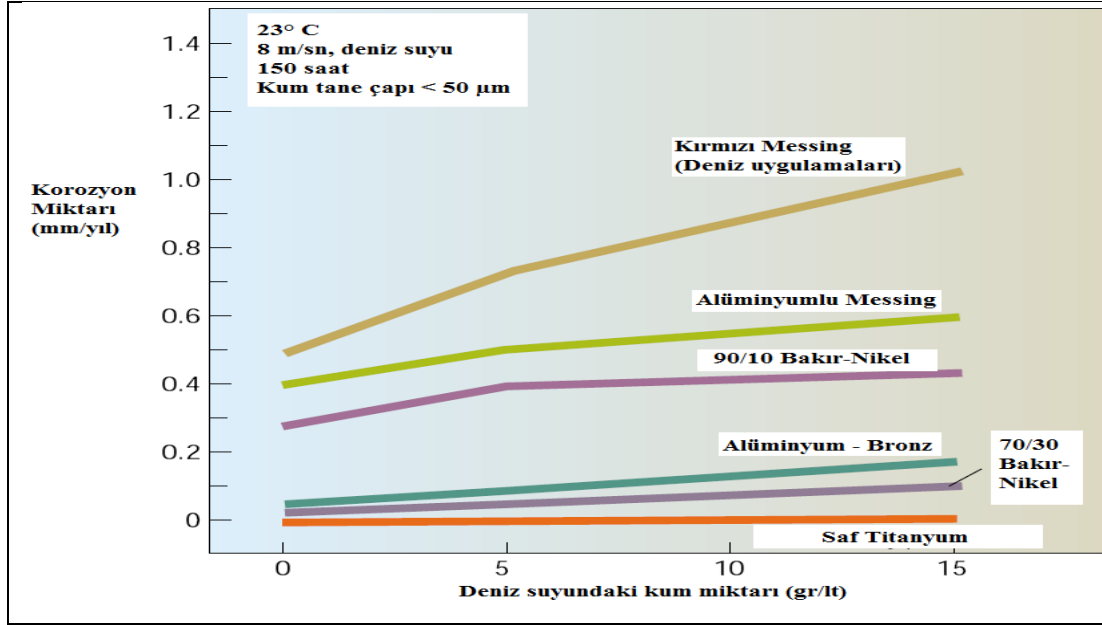
Tablo 1.6. Farklı malzemelerin korozyon dayanımlarının kıyaslanması [20]

Malzeme	Deniz Suyu Saflığı	Korozyon Dayanımı Kıyaslanması				
		Genel Korozyon	Çukur Korozyonu	Ara Hacim Korozyonu	Gerilim Yırtılması Korozyonu	Erozyon
Titanyum	Temiz	1	1	1	1	2
	Kirlenmiş	1	1	1	1	2
Al Kütük	Temiz	2	2	2	1	3
	Kirlenmiş	2	4	4	4	3
Cu-Ni 70/30	Temiz	1	2	2	1	3
	Kirlenmiş	2	4	4	4	3
Paslanmaz Çelik	Temiz	1	1	2	1	2
	Kirlenmiş	1	2	3	2	2

Korozyon Dayanımı Sıralaması: 1=Mükemmel, 2=İyi, 3=Vasat, 4=Zayıf

Tablo 1.7. Titanyumda gerilim korozyonu yırtılmasına neden olan ortamlar [20].

Ortam	Hassas Titanyum Malzemeleri	
İçinde sıvı barındırmayan çözelti	Metanol içeren Halojen veya Asit	Ticari saflıktaki Titanyum
	Buharlaştırma durumundaki Nitrik Asit	Ti-6Al-4V
Sıvı çözelti	Tuzlu Su	Yüksek Çekme Dayanımlı Titanyum
	Yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta Bromit Çözeltisi	Ticari saflıktaki Titanyum
Yüksek Sıcaklıkta Klorit	Ergimiş Halojen Tuzu	Yüksek Çekme Dayanımlı Titanyum
Sıvı Metal	Civa, Kadmiyum	Yüksek Çekme Dayanımlı Titanyum



Şekil. 1.9. Deniz suyundaki saf Titanyum ve Bakır alaşımlarının kum erozyonuna karşı olan dayanımları [20]

Uygulamada yaygın olarak tercih edilen diğer metal türlerine göre Titanyumun elektriksel potansiyeli yüksektir. Bu nedenle Titanyum, elektrik iletkenliğine sahip çözeltiler veya ortamlarda kendisine göre daha düşük potansiyele sahip Bakır alaşımları veya Alüminyum gibi diğer metaller ile temasta olursa, bu malzemeler Titanyum malzemesine göre çok daha çabuk korozyona uğrayacaklardır. Bu dayanım özelliği Galvanik korozyon olarak tanımlanır.

Genel olarak Titanyumun korozyon dayanımı, malzemeye uygulanan kaynak, yüzey finiş işlemleri ve ısıl işleminden etkilenmez.

Tablo 1.8. Titanyumun farklı korozif ortamlara karşı dayanımının diğer metallerle kıyaslanması [20]

Sınıflandırma	Korozif Çözelti	Konsantrasyon (%miktar)	Sıcaklık	Korozyon Dayanımı				
				Ticari Saflıkta Titanyum	Ti-0.15Pd	Alaşımlandırılmış Zirkonyum	Paslanmaz Çelik 304	Hastelloy C (Nikel Alaşımı)
İnorganik Asitler	Hidroklorik Asit (HCl)	1	25	+	+	+	*	+
		1	Kaynama	X	+	+	X	#
		10	25	*	+	+	X	#
		10	Kaynama	X	#	+	X	X
	Sülfürik Asit (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	1	25	+	+	+	+	+
		1	Kaynama	X	+	+	X	*
		10	25	*	+	+	*	+
		10	Kaynama	X	X	+	X	*
	Nitrik Asit (HNO <sub>3</sub> )	10	25	+	+	+	+	+
		10	Kaynama	+	+	+	+	*
		65	25	+	+	+	+	*
		65	Kaynama	+	+	+	*	X
Organik Asitler	Asetik Asit (CH <sub>3</sub> COOH)	10	Kaynama	+	+	+	+	+
		60	Kaynama	+	+	+	*	+
	Formik Asit (HCOOH)	10	25	+	+	+	#	+
		30	Kaynama	X	+	+	X	+
	Oksalik Asit ((COOH) <sub>2</sub> )	10	25	*	+	+	*	*
		25	60	X		+	#	*
Laktik Asit (CH <sub>3</sub> CH(OH)COOH)	10	Kaynama	+	+	+	*	*	
85	Kaynama	+	+	+	X	*		
Alkaller	Kaostik (Caustic) Soda (NaOH)	10	100	+	+	+	+	+
		40	Kaynama	X	X	*	*	*
	Potasyum Karbonat (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	5	Kaynama	+	+	+	+	+
		20	Kaynama	+	+	+	+	+
İnorganik Kloritler	Sodyumklorid (NaCl)	25	25	+	+	+	*□	*
		25	Kaynama	+□	+	*	*□	*□
	Amonyumklorid (NH <sub>4</sub> Cl)	40	25	+	+	+	*□	+
		40	Kaynama	+□	+	+	#□	+□
	Çinkoklorid (ZnCl <sub>2</sub> )	20	Kaynama	+□	+	+	X	X
		50	Kaynama	+□	+	+	X	X
	Magnezyumklorid (MgCl <sub>2</sub> )	42	25	+	+	+	+□	+
		42	Kaynama	+□	+	+	+□	+□
Demirklorid (FeCl <sub>3</sub> )	30	25	+	+	X	X	#	
	30	Kaynama	+□	+	X	X	X	

Tablo 1.9. Titanyumun farklı korozif ortamlara karşı dayanımının diğer metallerle kıyaslanması (Devamı) [20]

Sınıflandırma	Korozif Çözelti	Konsantrasyon (% miktar)	Sıcaklık	Korozyon Dayanımı					
				Ticari Saflıkta Titanyum	Ti-0.15Pd	Alaşımlandırılmamış	Zirkonyum	Paslanmaz Çelik 304	Hastelloy C (Nikel Alaşımı)
İnorganik Tuzlar	Sodyumsülfat (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	20	25	+	+	+	+	+	
		20	Kaynama	+	+	+	+	+	
	Sodyumsülfat (Na <sub>2</sub> S)	10	25	+	+	+	+	+	
		10	Kaynama	+	+	+	*	+	
	Sodyumklorit (NaOCl)	5	25	+	+	+	#	#	
		15	25	+	+	+	#	#	
	Korozif Çözelti	Konsantrasyon (% miktar)	Sıcaklık	Korozyon Dayanımı	Korozif Çözelti	Konsantrasyon (% miktar)	Sıcaklık	Korozyon Dayanımı	
		Sodyumkarbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	30	25	+	+	+	+	+
			30	Kaynama	+	+	+	+	+
	Organik Bileşikler	Metil Alkol (CH <sub>3</sub> OH)	95	25	+	+	+	+	+
Karbon Tetraklorid (CCl <sub>4</sub> )		100	Kaynama	+	+	+	*	*	
Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)		Saturat	25	+	+	+	+	*	
Formaldehid (HCHO)		37	Kaynama	+	+	+	+	*	
Gazlar	Klorin (Cl <sub>2</sub> )	Kuru	25	X	X	+	+	+	
		Islak	25	+□	+	X	X	X	
	Hidrojen Sülfür (H <sub>2</sub> S)	Kuru	25	+	+	+	#	+	
		Islak	25	+	+	+	*	*	
	Amonyum (NH <sub>3</sub> )	100	40	+	+	+	+	+	
100		100	+	+	+	+	+		
Diğer	Deniz Suyu	-	25	+	+	+	+□	+	
		-	100	+□	+	+	*□	+□	
	Nafta	-	80	+	+	+	+□	+	
		-	180	+	+	+	+□	+	

### Korozyon Direnci Derecesi

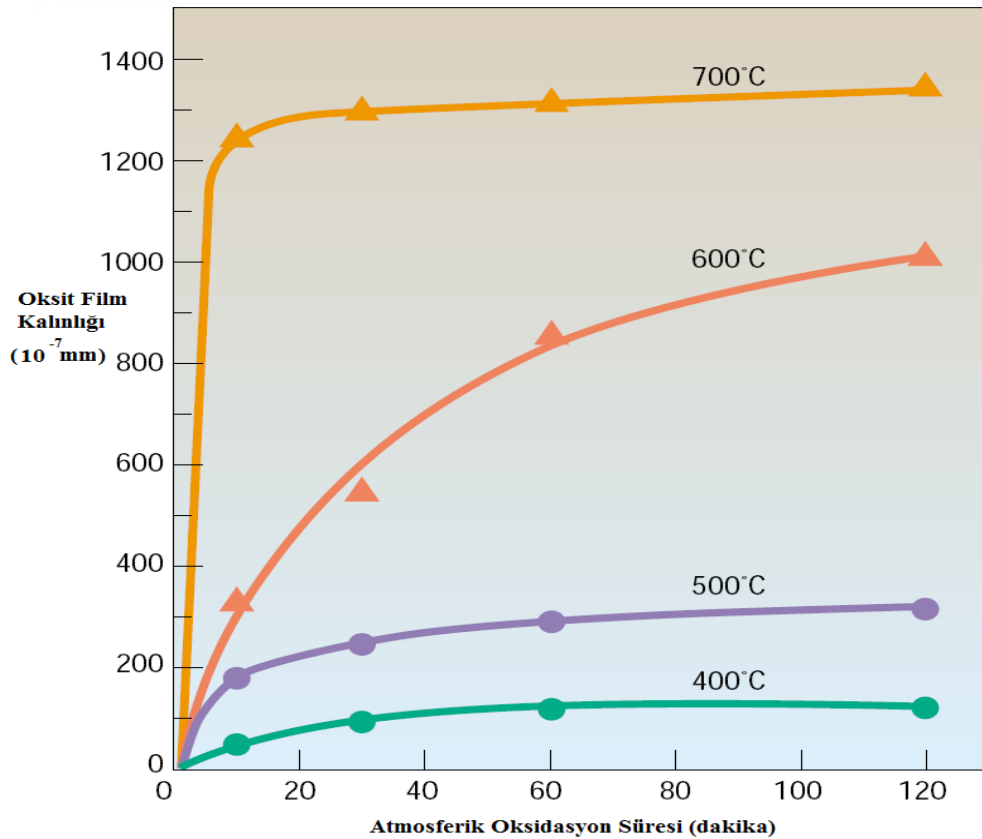
+	: 0,125	mm / sene	*	: 0,125 – 0,500	mm / sene
#	: 0,500 – 1,25	mm / sene	X	: 1,25	mm / sene
□	: Lokal korozyon				

### 1.3.3. Termal özellikleri

Titanyumun ısıl genleşme katsayısı oldukça düşüktür, bundan ötürü kaynak sonrası iç gerilimlerin ve soğuma çekmesinin diğer malzemelere oranla düşük kalması beklenir.

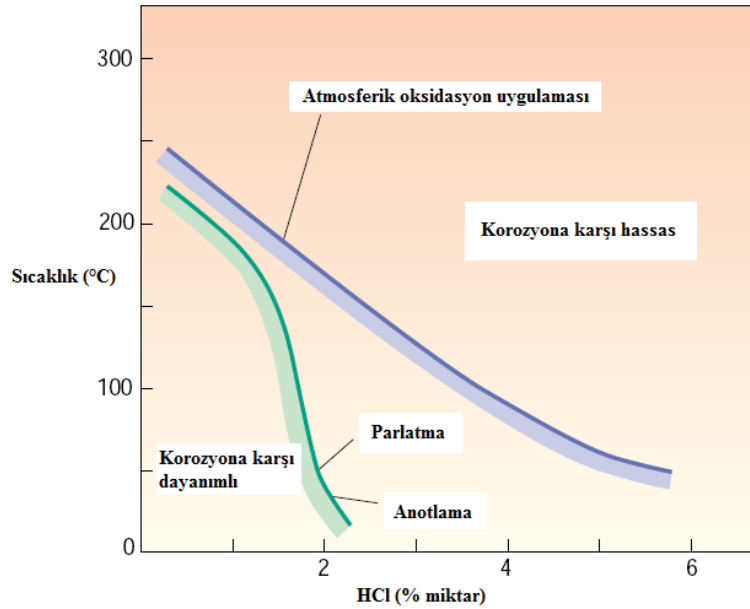
### 1.4. Uygulanan Yüzey İşlemleri

Titanyumun, yüzeyinde doğal olarak oluşan sert oksit tabakasından ötürü herhangi bir finiş işlemine tabi tutulmasına gerek yoktur. Alışıl gelmiş boyalarla son hallerine getirilebilirler.



Şekil. 1.10. Atmosferik oksidasyon süresi ve oksit film tabaka kalınlığı arasındaki ilişki [20]

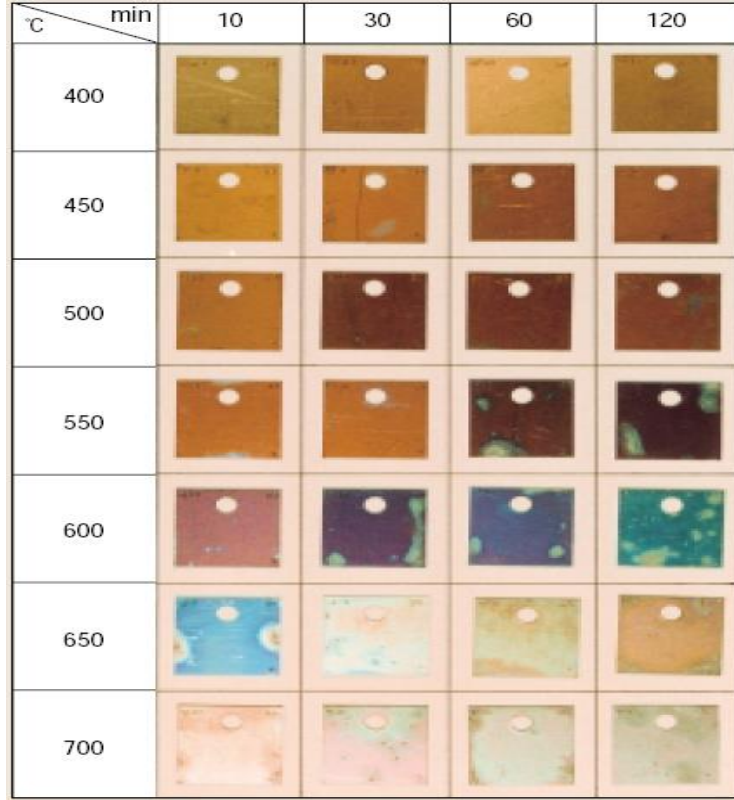
Şekil 1.10.'a göre, ortam sıcaklığının yükselmesi ile oksit film tabakası oluşum süresi kısalmaktadır. Aynı şekil, ortam sıcaklığının yükseltilmesi ve zamanın sabit olduğu durumda oksit film tabakası kalınlaşmaktadır şeklinde yorumlanabilir.



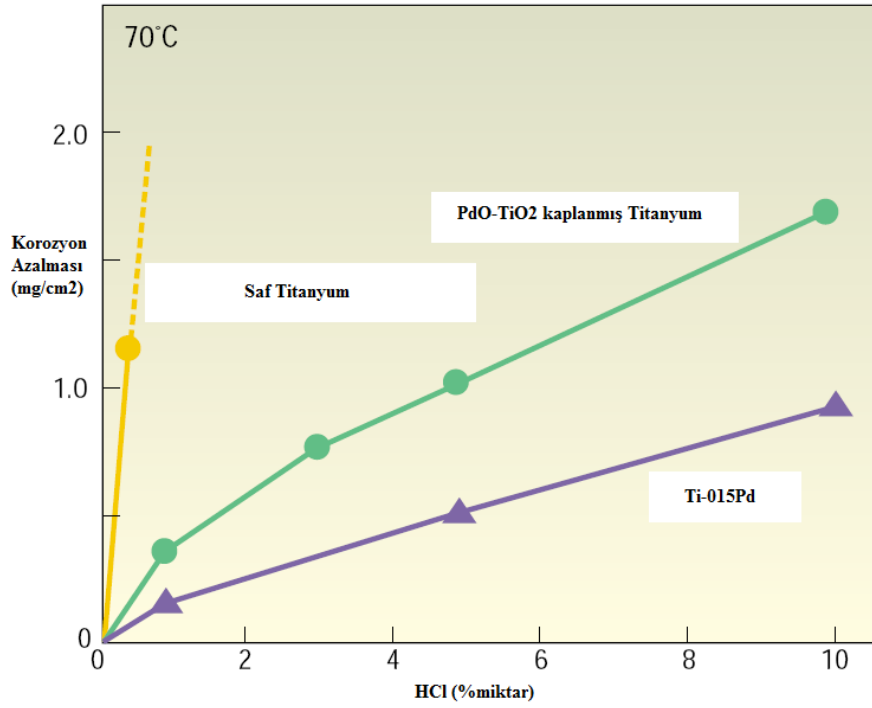
Şekil. 1.11. Hidroklorik asit çözeltisinde Titanyum için aktif bölgeden pasif bölgeye olan geçiş sınırının gösterimi [20]

Şekil 1.11.'e göre atmosferik oksidasyon işlemiyle, yüzeyde oluşan Titanyumoksit film tabakası kalınlaşır ve korozyon dayanımı artar. Aynı zamanda hidrojen absorpsiyonunu büyük ölçüde engellenir. Değerli Metallerle Kaplama ile Titanyumun genel korozyon dayanımı ve aralık korozyon dayanımı, malzeme yüzeyinin PdO-TiO<sub>2</sub> yapıya dönüşen film tabakası ile kaplanması ile arttırılabilir [20].

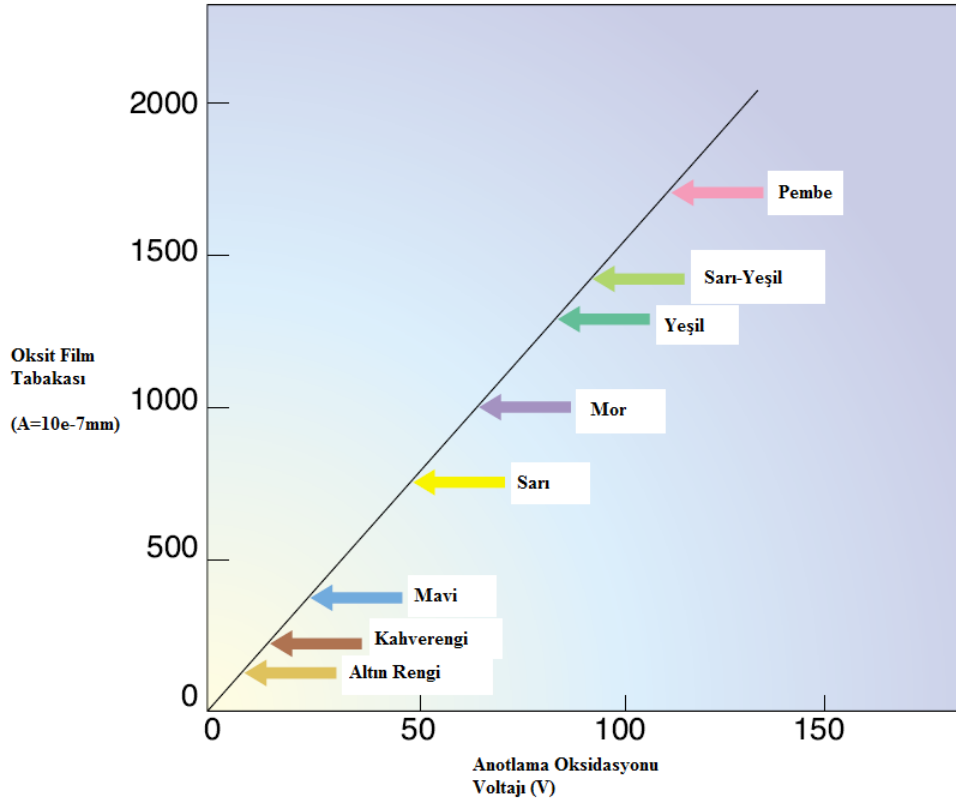
Yüzey Estetiği için farklı işlemler uygulanabilir. Örneğin Anotlama işlemi ile oksit tabakaya değişik renkler kazandırılabilir. Böylece estetik görünümünü iyileşir (Şekil 1.11).



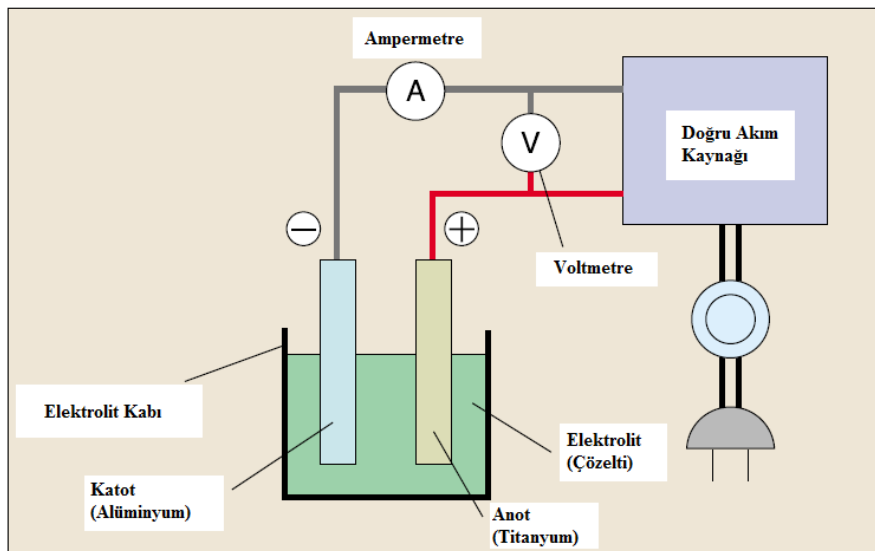
Şekil. 1.12. Titanyumun atmosferik oksidasyon işlemi sonrası yüzey görünümleri [20]



Şekil. 1.13. Saf Titanyum, Ti-0,15Pd Alaşımı ve PdO-TiO<sub>2</sub> kaplanmış Titanyumun hidroklorik asit çözeltisindeki dayanımı [20]



Şekil. 1.14. Atmosferik oksidasyon işlemi voltajı ile Titanyumoksit film tabakasının kalınlığı arasındaki ilişki [20]



Şekil. 1.15. Anotlama işleminin şematik gösterimi [20]



### 1.5. Titanyumun Şekillendirilebilme Kabiliyeti

Titanyuma oda sıcaklığında şekil vermesi zordur ve şekil verdikten sonra eski haline dönmeye (elastiklik) aşırı derecede isteklidir. Yırtılmaya olan meyili bir diğer dezavantajdır. Bu nedenle 595 – 815 °C aralığında sıcak şekil verme işlemi iyi bir alternatiftir. Sıcak şekil verme, malzemeyi şekil alabilmesi için hazır hale getirmekte, aynı zamanda şekil değiştiren malzeme oluşan iç gerilimlerini giderebilmekte ve malzemenin eski haline dönme isteğini düşürmektedir.

Yüksek sıcaklıklarda Titanyum sürünmeye eğilim göstermektedir. Bu nedenle, sürünme şekil vermesi, iş parçası şekil verme sıcaklığında yük altında tutularak yapılı ve aşırı olan eski şekline geri dönme etkisinin kompanze edilmesine gerek kalmaz. Birçok Titanyum alaşımı asal gaz ortamında yaklaşık 900 – 955 °C 'ye ısıtıldığında süper plastisite özelliği göstermekte ve %1000'lere kadar uzama bölgesel olarak aşırı incelme göstermeden veya kırılmadan sağlanabilmektedir.

Titanyum, işlenmiş grafit kalıplara dökülebilir. Hassas döküm, büyük ve komplike parçaların dökülmek için tercih edilen yöntemdir. Çünkü Titanyum dökümleri katılaşımları esnasında gözenekli bir yapı kazanabilir. Bu dâhili gözenekli yapının önüne geçmek için (HIP – Hot Isostatic Pressing) sıcak izostatik presleme yöntemi tercih edilir. Yüzeğe açılan gözenekleri kapatmak için kaynak işlemi yapılabilir.

Ti1, Ti2, Ti2Pd, Ti Gr1, Ti Gr7 gibi Titanyumlar soğuk da şekillendirilebilirler. Şekil verme oranı % 2 – 5 civarındaysa, 200 – 350 °C aralığında ön ısıtma tavsiye edilir.

Şekil verme oranı % 5'ten büyükse, 300 – 350 °C aralığında ön ısıtma tavsiye edilir. Şekil verme oranının %5'i aştığı durumlarda ayrıca, yumuşatma tavlama tavsiye edilir.

Malzemenin soğuk şekillendirilmesinde, Cr-Ni çelikleri için kullanılan ekipmanlar kullanılabilir. Şekil verme işlemi başlamadan önce malzeme yüzeyi temiz ve metalik parlak hale getirilmelidir. Yüzeyde kir, yağ, oksit kalıntıları bulunmamalı ve oksidasyondan temizlenmiş olmalıdır. Taşlama artıkları ve kumlama parçacıkları kabul

edilebilir değildir. Bu aynı zamanda ısı işlem ve kaynak için de geçerlidir. Temizlik için kullanılan kimyasal, temiz bezler veya fırça aracılığıyla tatbik edilmelidir. İş parçasının yüzeyi kurutulmalıdır. Tazyikli hava (içinde yağ olmamalı, kompresörlere dikkat edilmelidir) veya azot kullanılabilir.

Titanyum, soğuk şekil verilebilme ve preslenebilme özelliğinden dolayı genelde preslenecek ürünler için tercih edilir. Titanyum alaşımları ana olarak alfa, alfa-beta ve beta alaşımları şeklinde sınıflandırılır ve alaşım türüne göre şekil verilebilirliği de değişiklik göstermektedir. Ön ısıtma ile ve sıcak olarak yapılacak şekil verme alfa ve alfa-beta alaşımlarına uygulanır. Çünkü bu alaşımların soğuk şekil alma özellikleri yetersiz ve yüksek elastiklikliğe sahiptirler.

Normalizasyon edilmiş beta Titanyum alaşımlarına soğuk şekil verilebilir. Şekil verilmiş beta Titanyum alaşımlarına da yaşlandırılma ısı işlemi uygulanabilir, bu arada sertlik dayanımı da 1300 – 1500 Mpa 'a kadar çıkartılabilir.

Aşağıda bükme ve pres ile şekil vermede dikkat edilmesi gerekenler belirtilmiştir. Titanyum ve alaşımlarının şekil verildikten sonra ilk hallerine dönme eğilimleri, artan sertlik değerleri ile artar. Bu eğilim azaltmak için iş parçası ya bükülmesi gerekenden daha büyük bir açı ile bükülür ve malzeme ilk haline dönme eğilimiyle bir miktar geriye doğru şekil almasına rağmen halen istenen değer aralığında kalır. Bir diğer yöntem ise iş parçasının et kalınlığına uygun kalıpların kullanılması ve iş parçası tamamen kalıbın duvarlarına oturana kadar kalıpta bekletilmesidir.

Saf Titanyumlarda soğuk (oda sıcaklığında) büküm yapılması mümkündür. Fakat et kalınlığı arttıkça malzemenin gösterdiği tepki de değişecektir. Sıcak büküm işlemi sertlik dayanımları yüksek olan malzemeler için tercih edilmelidir.

Uygulanacak büküm yönünün dikkate alınarak iş parçasının levhadan kesilmesine dikkat edilmelidir. Beta alaşımlarında ise anizotropik durum çok daha olmasından dolayı sacın kesim yönünün mutlaka dikkate alınması gerekliliği yoktur.

Bazı durumlarda büküm özellikleri, malzemenin yüzey kalitesine göre de değişiklik gösterebilmektedir. Duruma göre yüzeyin bükümden önce parlatılması tavsiye edilir. Parlatma işlemi uygulaması büküm eksenine paralel istikamette olması gerekmektedir. Daha verimli bir yöntem ise malzeme yüzeyinin asitlenerek temizlenmesidir.

Tablo 1.10. Titanyum ve alaşımları için şekil verme sıcaklıkları [20]

Malzeme		Şekil Verme Sıcaklığı °C								
		0	100	200	300	400	500	600	700	800
Ticari Saflıkta Titanyum		Yellow	Yellow	Yellow	Yellow		Red	Red	Red	
Alfa Alaşımı	Ti-5Al-2.5Sn			Yellow	Yellow		Red	Red	Red	
Alfa Alaşımı	Ti-8Al-1Mo-1V				Yellow	Yellow		Red	Red	Red
Alfa-Beta Alaşımı	Ti-6Al-4V			Yellow	Yellow		Red	Red	Red	Red
Beta Alaşımı	Ti-15Mo-5Zr-3Al	Red	Red							

Sarı → Normal Şekil Verme , Kırmızı → Ağır Şekil Verme

Presle şekil verme genelde saf Titanyumlara oda sıcaklığında uygulanır. Titanyumun oda sıcaklığındaki presleme koşullarını iyileştirmek ve daha iyi akabilmesini sağlamak için gres, yağ veya mum bazlı yağlayıcıların ve grafit gresinin kullanılması doğru olur. Başka bir alternatif ise sacın polietilen folyo ile kaplanması ve kalıba öyle konulmasıdır [20].

### 1.5.1. Talaşlı İşlenebilme ve Kesilme Kabiliyeti

Titanyumun talaşlı imalatına önem verilmelidir. Çünkü malzeme yüksek reaktif yapıda, ısı iletkenliği düşük ve artan sıcaklıklarda yüksek sertlik dayanımına sahiptir. Titanyumun talaşlı imalatında işleme hızının düşük tutulmasına, yüksek paso ile ilerlenmesine, soğutma suyu kullanılmasına, sürekli keskin işleme takımları kullanılmasına ve işleme takımlarını ile iş parçasının sıkı şekilde bağlanmasına dikkat edilmelidir. Taşlama işlemi yapılırken aşırı derecede hassasiyet gösterilmelidir, çünkü bu işlem sonrasında malzemenin kırılma dayanımı aşırı şekilde düşmüş olabilir.

İşlenebilirlik paslanmaz çeliklerinkine benzer ve hatta biraz daha kolaydır da. Bu özelliği sorunsuz bir torna, freze, delme ve yüzey parlatma işlemine imkân verir. Saf Titanyum ve Alfa Titanyumları harika şekilde talaşlı imalata tabi tutulabilir. Beta

alaşimleri ise en zor işlenebilirliğe sahip gruptadır. Alfa-beta alaşımlarının talaşlı imalatı ise bu ikisinin arasındadır.

Titanyumun giyotinle kesilmesi mümkündür, fakat makasların en az Titanyumun sahip olduğu çekme dayanımına sahip olmaları gerekmektedir. Giyotinle kesmede çapak oluşumunu engellemek için üst ve alt bıçak arasındaki boşluk bir miktar azaltılır. Boşluk için sac kalınlığının %5'i tavsiye edilen yaklaşık değerdir, paslanmaz çelikler için bu değer %10 olarak verilmektedir. Termal kesmede oksiasetilen, plazma veya Lazer kullanılabilirken, malzemeyi yüksek basınçlı su ile kesmek de mümkündür. Titanyum taşlanırken oluşan Titanyum tozları ve hassas talaş kendiliğinden tutuşabilir.

Tablo 1.11. Titanyum ve eşdeğerlerinin kesme ve makaslanmasında karşılaşılan zorluklar [20]

Zorluklar	Nedenler	Karşı Önlemler
Kesme takımı erken aşınır	İş parçasında sıcaklığın artması ve düşük ısı iletkenliğinden dolayı ısının atılamaması Aktif malzeme oluşundan ötürü Titanyum, kesme takımlarından az etkilenir	Düşük kesme hızı (klasik çeliklere göre 1/3 oranda) ve oluşan ısının atılabilmesi için düşük pasoda ilerleme tercih edilir Kesme sırasında soğutucu sıvı kullanılır (düşük hız ve ağır talaş kaldırma ve kesme işleminde çözülmeyen yağ ve yüksek kesme hızında ise çözülebilir soğutma sıvısı tercih edilir) Kesme takımı normalden daha önce değiştirilir. Seramik veya TiC ve TiN kaplanmış kesme takımlarının ömrü normalden daha kısa olur. Genelde sert çelikten veya karbitten (yüksek kesme hızları için) imal edilen kesme takımları tercih edilir.
Titreme (Titanyum'da klasik çeliklere göre 10 kat daha fazladır)	Çıkan talaşın testere dişi formunda olmasından dolayı iş parçasına gelen kesme gücü değişken hissedilir (iş parçasında ısı yoğunlaşması olmasından dolayı yüzey deforme olmuştur)	Hem kesme takımı hem de iş parçasının soğuması beklenmelidir. Daha rijit, güçlü ve hız ayarı hassas yapılabilen bir takım tezgâhı tercih edilir.
Talaş tutuşması	Aktif metal olmasından dolayı Titanyum oksijen varlığında hemen reaksiyon gösterir.	Talaş birikiminin, takım tezgâhının daha sıklıkla temizlenmesi ile önüne geçilmesi gerekir. Tutuşma durumunda söndürücü etki oluşturması için takım tezgâhının yanında kuru halde kum veya grafit tozu bulundurulmalıdır.

Tablo 1.12. Titanyumun talaşlı imalatında tavsiye edilen kesme takımı malzemeleri [20]

Kesme Takımı Malzemesi	Malzeme Kodları (JIS Takımları)	
Tungsten	K-Sınıfı	K01, K05, K10*, K20*, K30, K40
Karbit	M-Sınıfı	M10, M20, M30*, M40*
Yüksek-Hız Çelik Elması	Vanadyum esaslı	SKH10*, SKH57, SKH54
	Molibden esaslı	SKH7, SKH9, SKH52, SKH53, SKH55, SKH56*
	Tozlandırılmış Yüksek-Hız Çelikleri	KHA*
		Suni elmas, doğal elmas
*: Sık tercih edilen malzemeler		

## **BÖLÜM 2. TİTANYUMUN KAYNAĞI**

### **2.1. Kaynak Kabiliyeti**

Metalik bir malzemenin kaynak işlemi için gerekli ön hazırlık, kaynak esnasında dikkat edilmesi koşullar ve kaynak sonrası uygulanacak işlemler ve muayeneler ne kadar az ise, malzemenin kaynak edilebilirliği o kadar yüksektir. Kaynak literatüründe kaynak edilemeyen bir malzemedен ziyade, kaynak edilebilirliği sınırlı olan malzemelerden bahsedilir.

Elbette seçilen malzemenin ergime sıcaklığı, genişleme katsayısı, mekanik işlenebilirliği bakımından sertliği, korozyon dayanımı ve diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri de ilk bakışta iyi bir fikir vermektedirler.

Ön hazırlık altında değerlendirilebilecek hususlar; malzemenin temizlenmesi ve kaynak ağzı açılması gerekliliğidir.

Kaynak esnasında dikkat edilmesi gereken koşullar ise, kaynak ortamının temizliği, ortam sıcaklık ve nemi, tercih edilmesi gereken kaynak yöntem veya yöntemleri, koruma gazı türü, ısı girdisinin ne derecede kontrollü yapılması gerektiği ve her pasodan sonra yapılması gereken mekanik temizlik veya çapak giderme olarak tanımlanabilir.

Kaynak sonrası uygulanabilecek işlemler ve muayeneler arasından en belirgin olanları ısıtım işlem gerekliliği, mekanik işlem gerekliliği, tahribatlı ve tahribatsız muayenelere olan ihtiyaçtır.

Yukarıda sayılanların uygulanması esnasında veya tamamlanmasından sonra malzemenin mekanik özelliklerindeki kayıplar, korozyon dayanımının azalması, şekil

verilebilirliğinin düşmesi dolayısıyla gevrekleşmesi, kaynak sonrasında doğrudan veya muayenelerle ortaya çıkan hatalar (kaynak dikişinde yırtılma, gözenek veya emişmezlik gibi), tercih edilen malzemenin kaynaklanabilirliği ile ilgili daha fazla bilgi vermektedirler.

### **2.1.1. Kaynak yöntemleri**

1. TIG
2. Plasma
3. Elektron Işını
4. Lazer Işını
5. MIG
6. Toz altı
7. Direnç Kaynağı
8. Soğuk Pres Kaynağı (Sürtünme Kaynağı)
9. Sert Dolgu Kaynağı (Electroslag Welding)
10. Patlatma Kaynağı (Explosion Welding)
11. Difüzyon Kaynağı

### **2.2. Titanyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti**

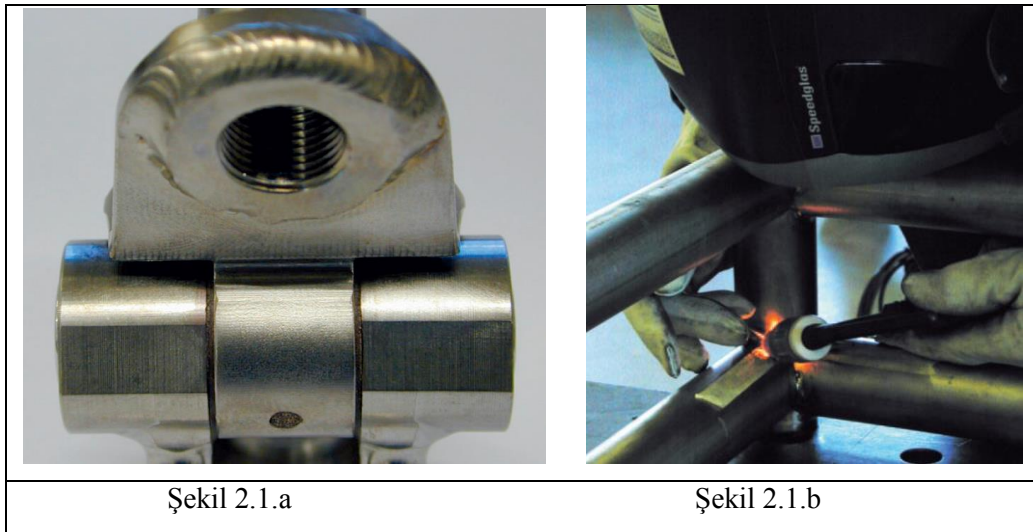
Titanyum kaynaklanabilirlik açısından iyi özellikler gösterir. Kaynak dikişinde ve kaynak bölgesinde malzemenin mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı çok az değişir.

Kaynak esnasında çevre şartlarının kontrol altında olması gerekmektedir. Amaç, çevreden oksijen, azot veya hidrojen alınmasını engellemektir. Küçük ve orta hacimli kaynak dikişleri çevrenin kontrol altında olduğu odalarda yapılabilir. Büyük hacimli kaynaklar ise parsiyel odaların kurulması ve bu odalarda sadece kaynak bölgesinin hem üst ve hem de alt taraftan koruyucu atmosfer altına alınması ile yapılırlar. Bu koruma ortamı, kaynak dikişi ve kaynak bölgesinin sıcaklıklarının 540°C altına düşmesine kadar sürdürülür.

ASTM International Titanyumun 31 farklı türünü tanımlamıştır. Birbirinden farklı mekanik ve kimyasal özellikler gösteren türlerin kaynaklanabilirlikleri paslanmaz çeliklerinkine benzerdir.

Malzeme, atmosferden gaz nüfuzuna ve kirlenmeye karşı korunmazsa, mekanik özelliklerinin kötüleşmesi, hatta malzemenin kullanılamaz hale gelmesi kaçınılmazdır. Kullanılan Argon veya Helyum koruyucu gazları yüksek saflığa sahip olmalıdırlar. Reaktif yapıdan dolayı oksiasetlen (gaz) kaynağının yapılması mümkün değildir.

Ergimiş haldeki Titanyum çok kolay akışkandır, bu da kaynak banyosunun sürekli ve dikkatle izlenmesi gerekliliğini beraberinde getirirken, kaynak dikişi görünümü kısa atlamalarla üst üste biner ve ince bir dikiş elde edilir. Atmosfer gazlarını alma eğilimi özellikle sıvı fazdayken çok yüksektir ve geri dönüştürülemez (sadece 650 °C 'deki ısıl işleme hidrojenin geri alınması hariç). Gaz alması ile malzeme büyük oranda gevrekleşir ve konstrüksiyon dayanımı açısından tamamen risk altına girer.



Şekil 2.1.a

Şekil 2.1.b

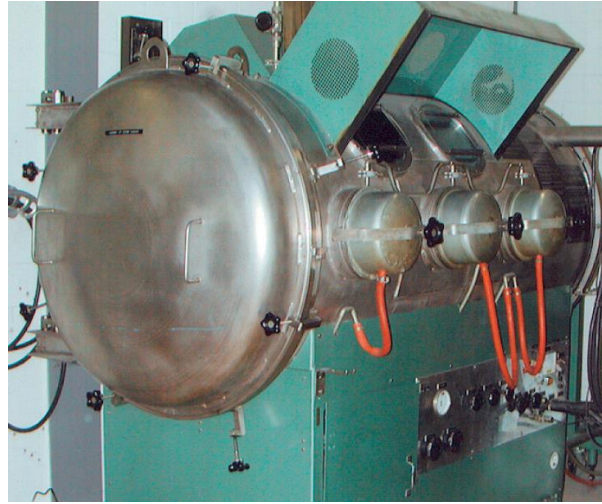
Şekil. 2.1. a ve b 'de numune kaynak dikişleri verilmiştir [12]

Ergimiş haldeki Titanyumun katılaşması esnasında malzemenin yüzey reaksiyonlarının yaklaşık 250 °C 'ye düşene kadar devam edebileceği ve düşük sıcaklıklarda gözlenen malzeme yüzeyindeki renk değişikliklerinin malzemenin gaz aldığına dair bir gösterge olduğu unutulmamalıdır.



Kural olarak en az %99,998 saflıkta Argon veya daha safi tercih edilirken sıvı faza geçme sıcaklığının  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  büyük olmamasına dikkat edilir. Yüksek saflıktaki Helyum da tercih edilebilirken, Argona göre pahalı olmasından ötürü sadece özel durumlarda tercih edilmektedir.

Boy kaynaklarında gaz koruması, kaynak dikişinin üst tarafında kaynak torcu ile beraber ilerleyen enjektörler sayesinde sağlanırken kaynak kökü tarafında ise perfore raylardan gaz koruması sağlanır. Bunlar çoğunlukla yapılan işe özgü özel ekipmanlardır. Şayet iş parçaları komplike geometrilere sahiplerse, kaynak işleminin koruyucu gaz odalarında yapılması tavsiye edilir.



Şekil. 2.2. Koruyucu gaz odası [12]

Kaynak torcunun koruyucu gaz verimliliği, düzgün kaynak yüzeyine sahip olmayan parçaların kaynağında yetersiz kalabilir. Bu durumlarda, kaliteli bir kaynağın yapılabilmesi için Şekil 2.2.'de gösterilen gaz odaları tercih edilir. Gaz odaları kaynakçının çalışabilmesi için şeffaf bir çatıya veya pencereye sahiptir. Sahip olduğu vakum pompası ile içerideki hava tahliye edilir ve aynı zamanda koruyucu gaz ile doldurulur. Bu işlemlerin tamamlanması ile kaynak işlemine başlanılabilir.

Kaynaklanacak parçaların tamamen temiz olmalarına dikkat edilmeli, aksi takdirde kaynak dikişlerinde hataların ortaya çıkabileceğinin bilinmesi gereklidir, özellikle de gözeneklerin.

Yüzeydeki kirlilik (kir, yağ vb) ve kaynak sonrası renklenmelerin ve oksidasyonların tamamen giderilmesi gerekmektedir. Çünkü yüksek sıcaklıkta ergimiş halde Titanyum kendi oksitlerini de çözmektedir. Bu durum kullanılacak kaynak teli için de geçerlidir, o yüzden tel sadece temiz deri eldivenlerle tutulmalıdır.

Mekanik işleme hazırlanan kaynak ağızları kaynaktan önce çapaklardan arındırılmalı ve asitleme işlemine tabi tutulmalıdır. Bu işlemin, en iyi olarak 60°C 'ye yakın sıvı kıvamındaki Nitrik Asit (HNO<sub>3</sub>) ve % 2 – 4 oranında hidroflorik asit (HF) çözeltisi ile yapılabilir. Ardından yapılacak durulama ve kurutma kaçınılmazdır. Kaynak işlemine başlamadan hemen önce de aseton veya etanol ile temizlik yapılmalıdır. Tavsiye edilmeyen ise, klor iyonları barındıran çözeltilerin (trikloretilen gibi) tercih edilmesidir, bu kimyasal gerilim yırtılması korozyonuna neden olabilir. Şayet bu kurallara uyulursa, Titanyumun kaynağı sorunsuzca yapılabilir ve zorluk çekilmez. Aşağıda farklı kaynak yöntemleriyle Titanyumun kaynatılması hakkında bilgiler verilmektedir.

Kumlama işlemi esnasında kirlerin yüzey içine doğru bastırılmaları riski vardır. Basıncılı kap ve aparat imalatında TIG kaynağı, daha kalın iş parçalarının kaynağında ise Plazma Kaynağı yaygındır. Havacılık ve uzay endüstrisinde ise ağırlıklı olarak Elektron Işını Kaynağı ve Lazer Kaynağı tercih edilmektedirler.

Özenle yapılmayan kaynakta, malzemedeki kaynak dikişi bölgesinde sünekliğin ve korozyon direncinin aşırı şekilde azalması kaçınılmazdır.

Normalde kaynak dikişlerinin farklı kimyasallara olan dayanıklılığı, ana malzeme kadar iyi durumda olmaktadır. Ama ana malzemenin de direnç gösteremediği kimyasal ortamlarda ise, kaynak dikişin direnci ana malzemeye göre daha az olabilir, korozyona daha erken uğrayabilir. Saf Titanyumlarda yapılan kaynak işlemi sonrasında ısı işleme normalde ihtiyaç duyulmamaktadır. Fakat komplike iş parçalarında, et kalınlığının artmasından dolayı çok pasolu kaynak dikişlerinde veya Titanyum alaşımlarında kaynak sonrası gerilim giderme ve rekristalizasyon tavları, kaynak esnasında oluşan iç gerilimleri almak adına tavsiye edilir.

### 2.3. Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Uygulanabilir Birleştirme Yöntemleri	Kaynak Yöntemleri	Ark Kaynağı	TIG Kaynağı	
			MIG/MAG Kaynağı	
			Plazma Kaynağı	
		Elektron Işımları Kaynağı		
				Lazer Kaynağı
		Direnç Kaynağı	Spot Kaynağı	
	Dikiş Kaynağı			
	Flaş Alın-Alına Kaynak			
		Lehimleme	Baskı ile Kaynak	Patlatma Kaynağı
				Hadde Kaynağı
Sürtünme ile Kaynak				
Difüzyon Kaynağı				
Mekanik Birleştirme (Cıvata, vb)				

Şekil. 2.3. Titanyum kaynak yöntemleri [20]

#### 2.3.1. Koruyucu Gaz Altında Kaynak (TIG / MIG Yöntemleri) [18]

TIG kaynağı; kaynak için gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanan ve kaynak bölgesi de elektrodu çevreleyen bir nozuldaki gaz tarafından korunan kaynak yöntemidir [21-23].

Titanyumun ergitilmesinde olduğu gibi, kaynağı esnasında da atmosferden kaynak dikişine, ısıdan etkilenen bölgeye ve buraya komşu kısımlara gazların nüfuzu engellenmelidir. Ayrıca kök tarafının hava ile temasının kesilmesi gerekmektedir. Tüm

bu koruma işlemi, malzemenin kaynak sonrası soğuması esnasında da, sıcaklık 300°C altına düşüne kadar sürdürülmeye devam edilmelidir.

Bu koruma işlemi iş parçasının geometrik yapısına göre; koruyucu gaz memeleri, gaz ayakkabıları, gözenekli yapıdaki sinter metal plakaları veya havanın olmadığı vakum ortamı ve koruyucu gaz ile doldurulmuş hacimler içerisinde sağlanabilir.

Kaynak sarf malzemesi olarak uygunluğu denetlenmiş, aynı malzeme grubundan olan kaynak telleri kullanılmalıdır. Kaynak sarf malzemelerinin uygunluğunda VdTÜV – Merkblatt 1153 kriterleri belirleyicidir.

Uygulamada iş parçasının koruyucu gaza rağmen bir miktarda ortamdan gaz alması ve kaynak dikişinde sertleşme olması göz önünde bulundurularak, kaynak sarf malzemesi seçiminde ana malzemeye göre daha alt Titanyum grubuna ait kaynak sarf malzemesi seçilebilir.

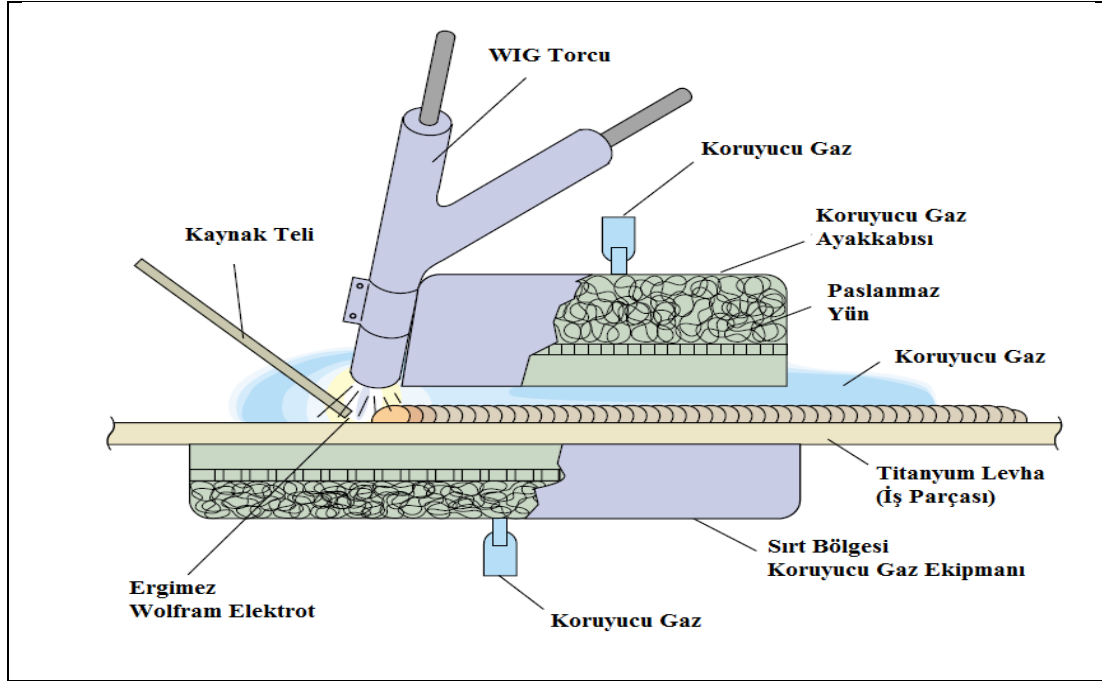
Farklı sertlik dayanımlarına sahip Titanyum iş parçalarının birbirlerine kaynakları yapılıyorsa da, kaynak dikişinden istenen özellik göz önüne alınarak kaynak sarf malzemesi seçimi yapılır. Sertlik dayanımının yüksek olması isteniyorsa, sertliği yüksek iş parçasının ana malzemesine uygun kaynak teli seçilir. Daha alt gruptan malzemedan kaynak teli ise, kaynak dikişinde sünekliğin ön planda tutulduğu uygulamalarda tercih edilir. Bütün bunların yanında, iş parçasının sonradan hangi sıcaklık ortamında kullanılacağı da, kaynak teli seçiminde dikkate alınmalıdır.

2 – 2,5mm kalınlığa kadar olan saclar tek paso ile kaynatılabilirler. Daha büyük et kalınlıklarındaki iş parçalarında ise kaynak dikişinin en az iki veya daha fazla paso ile tamamlanması gerekmektedir. Yapılan her pasodan sonra kaynak bölgesinin oluşan muhtemel yüzey renklemelerinden iyice arındırılmalıdır. Bu kural yapılan punta kaynakları için de geçerlidir. Ayrıca punta kaynaklarının da kullanılacak uygun bir yardımcı ekipman sayesinde asgaride tutulmasında fayda vardır. Bölgesel oksijen zenginleşmesini engellemek amacıyla da kaynağa başlamadan önce her defasında oksidasyon tabakasının (şayet oluşmuşsa) temizlenmesi gereklidir. Bu aynı zamanda kaynak telinin ucu için de geçerlidir.

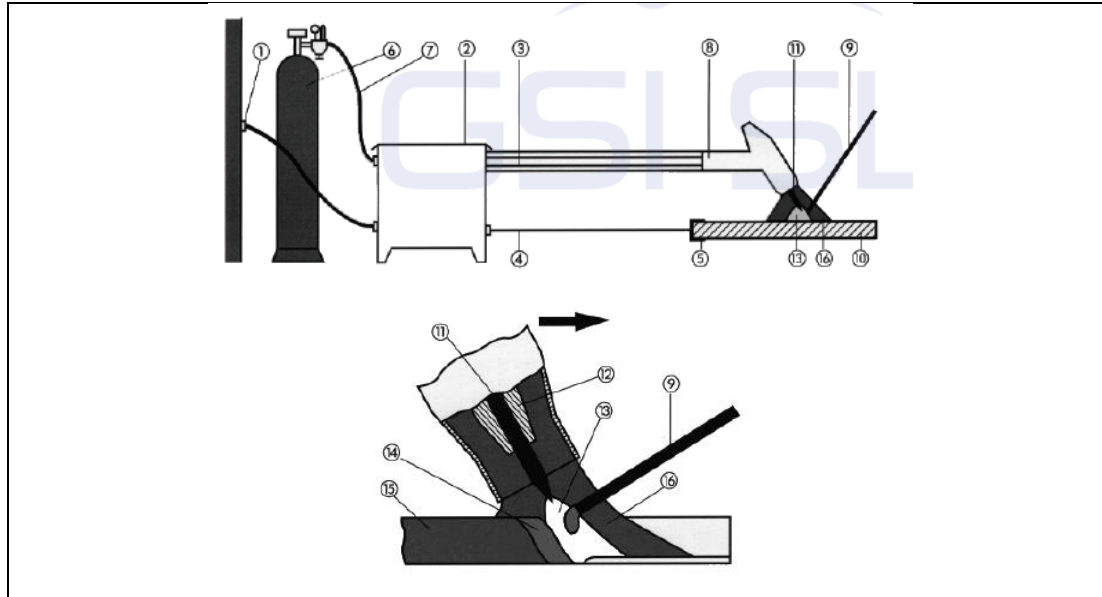
TIG Kaynağı doğru akım kullanılarak ve ergimez tungsten elektrot için (-) kutbun seçilmesi ile yapılır. Koruyucu gaz olarak Argon'un yanı sıra Helyum da kullanılabilir. Saf Helyum enerji aktarımını daha kolaylaştırırken dezavantajı ark oluşturmayı Argon kullanımına göre daha zorlaştırması, kaynak banyosunu görme kalitesini düşürmesidir. Ayrıca miktar olarak çok daha fazla kullanılmalıdır.

MAG (Metal Aktif Gaz) kaynağı esnasında şartlar öyle oluşturulmalıdır ki, bitmiş olan kaynak dikişi metalik olarak temiz (kısmen parlak) bir yüzeye sahip olmalıdır. İyi sayılan bir kaynak dikişinin sertliği, rekristalize edilmiş ana malzemenin sertliğinden en fazla 50 birim daha yüksek sertlikindedir. Şayet iş parçası yüzeyi hafifçe taşlandıktan sonra yapılan sertlik testinde halen yüksek sertlik değerleri ölçülmeye devam ediliyorsa, bu kaynak dikişi gevrekleşmiştir demektir.

MIG kaynağı günümüz itibariyle, verimlilik anlamında iyi bir seçenek olmasına ve yüksek oranda kaynak kapasitelerine cevap verebilme yeteneğiyle istenmesine rağmen pratikte uygulanması Titanyum için tavsiye edilmemektedir. MIG kaynağının kaynaklanacak iki malzeme arasındaki boşluğu güzelce doldurabilmesi anlamında da teknik olarak bu yöntemi avantajlı kılar. Pratik olarak bu uygulama, aşırı uzun enjektörlerle çalışmayı gerektirdiği ve kabul edilemeyecek derecede yüzeye fazlaca malzeme sıçrayıp yapışmasına neden olduğu sürece yaygın bir alternatif haline gelmeyecektir.



Şekil. 2.4. TIG Kaynağı [20]



Şekil. 2.5. TIG Kaynağı düzeneği [24]

1. Enerji bağlantısı
2. Kaynak makinası
3. Elektrot için akım kablosu
4. İş parçası için akım kablosu
5. İş parçası topraklama
6. Koruyucu gaz
7. Koruyucu gaz hortumu
8. Kaynak torcu

9. Kaynak teli
10. İş parçası
11. Ergimez Wolfram elektrot
12. Ergimez Wolfram elektrot tutucusu ve akım iletimi
13. Kaynak arkı
14. Ergimiş halde kaynak banyosu
15. Katılaşmış halde kaynak
16. Koruyucu gaz örtüsü

Tablo 2.1. Kaynak parametreleri ve kaynağa etkileri [19]

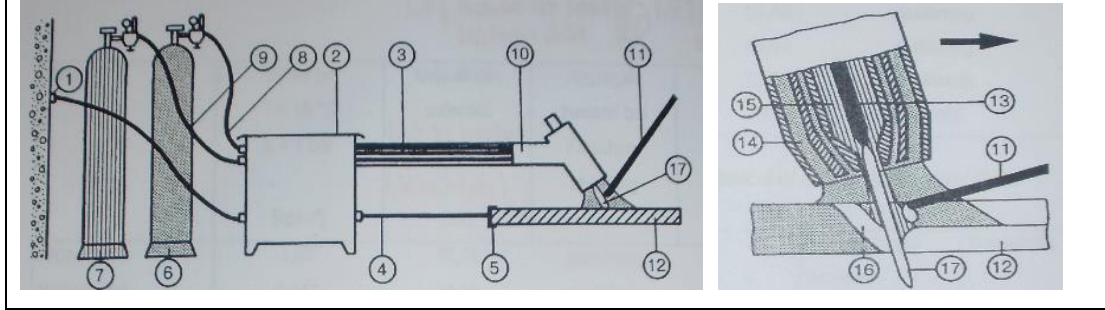
Parametre	Etkisi
Akım Gücü	Elektrik Arkı Kuvveti, Nüfuziyet
Voltaj	Akım gücüne bağlı olarak değişir
İlerleme Hızı	Kaynak dikişinin görünümü ve iş parçasına ısı girdisi
Koruyucu Gaz Seçimi	Kaynak banyosunun yeterince korunması
Tel Verme Hızı	Kaynak dikişinin kalitesi
Kaynak Pozisyonu	Kaynak dikişinin kalitesi

### 2.3.2. Plazma Kaynağı [18]

Plazma kaynağı, 2 ila 20 mm et kalınlığı aralığındaki iş parçalarının kaynatılmasında tercih edilir. TIG kaynağına göre avantajları; iyi nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve daha homojen yüzey görünümüne (kökte ve kapak pasoda) sahip ve küçük hacimdeki kaynak dikişleridir. Plazma kaynağının bu özelliklerini sadece Elektron Işınları Kaynak Yöntemi geçebilmektedir. I – Kaynak ağzına sahip iki iş parçasının alın altına olan kaynağında boşluk iyi ayarlanırsa (0,2mm maksimum boşluk ve yükseklik farkı 0,2mm ‘den küçük olursa) 10 – 12 mm’ye kadar olan kaynak dikişleri kaynak teli kullanmadan da kaynatmak mümkündür. Plazma Kaynağı çoğunlukla tam otomasyon şeklinde uygulanır.

Plazma kaynak arkının alışıl gelmiş kaynak arkından en büyük farkı, kaynak arkının iyi bir sulu soğutma sistemine sahip bakır meme ile çapının küçültülerek yoğunlaştırılmış olmasıdır. Kaynak arkı, ergimeyen bir elektrot ile iş parçası arasında oluşturulmaktadır. Plazma memesinde herhangi bir akım bulunmamaktadır. Memeden

verilen asal gaz (Argon), kaynak arkında yüksek sıcaklığa ısıtılır ve elektrik iletkenliği kazandırılır. Buna da plazma etkisi denilmektedir.



Şekil. 2.6. Plazma kaynağı düzeneği [24]

1. Enerji
2. Kaynak makinası
3. Elektrot için akım kablosu
4. İş parçası için akım kablosu
5. İş parçası topraklama
6. Koruyucu gaz
7. Plazma gazı
8. Koruyucu gaz hortumu
9. Plazma hortumu
10. Kaynak torcu
11. Kaynak teli
12. İş parçası
13. Ergimez Wolfram elektrot
14. Koruyucu gaz
15. Plazma gazı
16. Kaynak banyosu
17. Plazma akımı

### 2.3.3. Elektron ışınları kaynağı [18]

Elektron ışınları kaynağının en büyük avantajı, ısı girdisinin az olmasıyla malzemede kaynak gerilimlerin oldukça düşük olması ve soğuma çekmesinin düşük kalmasıdır. Yaklaşık 100mm et kalınlığına sahip iş parçalarının I-Kaynak ağzı ve kaynak sarf malzemesi kullanılmadan kaynaklarının yapılabilmesi mümkündür. Bu kaynağın vakum ortamında yapılıyor olması da, beraberinde bir dizi avantajı getirmektedir.



Kaynak dikiş ve ısıdan etkilenen bölge atmosferde bulunan gazlara karşı tamamen izole edilmiştir. Elektron ışınlarının yüksek güç yoğunluğu, normalden çok daha dar ve genişliği sınırlandırılmış, ısıdan etkilenen bölgede yüzey renklenmelerinin olmadığı dikişler elde edilmesini sağlarken, yüksek et kalınlıklarındaki parçaların kaynatılmasını ve yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilmesini, bir kaynağın bire bir tekrarının yapılabilmesini ve komplike iş parçalarının kaynaklarında da aynı düzeyde kalite sağlanmasını temin eder.

Et kalınlığı 10mm'den fazla olan iş parçalarında yüzey hassasiyetinin  $Ra < 3,2 \mu m$  olması ve boşluksuz ağız 42ğza getirilmiş olması beklenir. Kaynak ağızları, kaynak dikişinin kontrolünün sağlıklı şekilde yapılabilmesi ve çentik etkisinin olmadığı kaynak dikişlerinin elde edilebilmesi için her şartta mekanik işlenmelidir.

Kaynak parametrelerinin seçimi burada da çok önemlidir. Parametrelerin birbirlerine göre en iyi şekilde seçilmiş olmaları gerekmektedir. Bu sayede kaynak dikiş üst ve alt tarafında oluşabilecek boyuna çukurluklar ve çentik etkisi oluşturabilecek boyuna kusurlar oluşmadan engellenmiş olurlar. Bu durum her zaman sağlanamadığından bazen normal kaynak dikişinin tamamlanmasından sonra kozmetik kaynak dikiş yapılır. Yani çukurlukların veya kusurların giderilmesi için düşük akım yoğunluğunda ince bir son sıra kaynak yapılır ve yüzey düzlenmiş olur. Bir diğer alternatif ise daha kalınca bir son sıra kaynağının yapılması ve fazlalığın mekanik işleme alınmasıdır.

#### **2.3.4. Lazer kaynağı [18]**

Son zamanlarda lazer kullanılarak yapılan kesme ve kaynak işlemleri oldukça ivme kazanmıştır. Dar kaynak dikiş oluşumu, dar ısıl etki bölgesi ve oldukça homojen görünümlü kaynak dikiş yapısı teknik anlamda öne bu yöntemi öne çıkarırken, yüksek hızda kaynak yapabilme özelliği de verimliliği oldukça arttırarak yöntemin ekonomik anlamda da öne çıkarmaktadır. Böylece kaynak kapasitesi TIG yöntemine göre yaklaşık 100 kata kadar arttırılabilir. Hem CO<sub>2</sub> ve hem de Nd:YAG Lazerleri kullanılarak 12mm'ye kadar olan Titanyum ve alaşımları sorunsuzca kaynatılabilmektedirler.

Elektron ışınları kaynak yöntemindeki gibi lazer kaynağında da en büyük avantaj, düşük olan kaynak gerilimlerinde ve buna bağlı olarak konstrüksiyonda düşük oranda kaynak çekmesinin görülmesidir. Lazerin yüksek enerji yoğunluğu ile oluşan dar ergime bölgesi ve kaynak esnasındaki yüksek ilerleme hızı sayesinde bu bahsedilen olumlu etkiler gözlenir. Titanyumun lazer kaynağında kaynak sarf malzemesine ihtiyaç duyulmaması bir avantajken, malzemenin kaynak bölgesinde sertleşmesini engellemek için koruyucu gaz kullanmak yeterlidir.

Kaynak dikişinin derinliği ve ona bağlı olan kaynak edilebilir et kalınlığı ilk olarak lazer ışının gücü ile belirlenir. Lazer kaynağı ile genişliğinin derinliğine oranı 1:5 'e kadar olan kaynak dikişlerini yapabilmek mümkündür. Lazer kaynağı sayesinde kompleks iş parçalarının erişebilirlikleri zor olan bölgeleri (kenarları) da kaynatılabilir. Çünkü lazer ışını farklı mercek, ayna veya ışık ileten fiber iletim elemanları sayesinde kaynak bölgesine yönlendirilip odaklanabilir.

Lazer kaynağının elektron ışınları kaynak yöntemine göre avantajı, iş parçasının içerisine sığabileceği bir vakum hacmine ihtiyaç duyulmaması ve bu hacmin bir pompa vasıtası ile boşaltılarak vakum ortamı yaratılmasının gerekli olmamasıdır. Ama koruyucu gazın kullanımı burada da bir gerekliliktir.

Kaynak arkı çapının lazerde klasik kaynak yöntemlerine göre çok daha küçük olmasından dolayı kaynak dikişi genişliğinin daha dar olacağı aşikârdır. Bu nedenle birleştirilecek olan iş parçalarının birbirlerine olan paralellikleri çok iyi sağlanmış olmalıdır. Böyle olduğu takdirde ilave kaynak sarf malzemesi kullanımına da gerek olmayabilir. Kaynak ağzı ön hazırlığındaki bozuklukları telafi etmesi amacı ile ilave bir tarayıcı kullanılarak lazerin kaynak esnasında otomatikman sağa sola hareketi sağlanarak bu olumsuz durum telafi edilebilir. Parametrelerin en uygun şekilde seçilmesine rağmen dikiş boyunca çukurluklar veya çentik etkisi yaratabilecek kusurlar görülüyorsa, kaynak sarf malzemesi kullanılarak son sıralar kaynatılır.

### 2.3.5. Direnç kaynağı [18]

Herhangi ilave önlem alınmaksızın, paslanmaz çeliklerin ihtiyaç duyduğu aynı şartlar altında Titanyum, direnç kaynağı yöntemi ile kaynaklanabilir. Kaynak esnasında iş parçasına verilen akımın çok kısa süreli olması ve Titanyumun düşük sayılabilecek elektrik ve ısı iletkenliğinden ötürü koruyucu gaz kullanımına da ihtiyaç duyulmamaktadır. Kaynak dikişinde görülen hafif renklemeler ise tecrübeler ışığında iş parçasında olumsuz bir etki oluşturmamaktadırlar. Piyasada bulunan alışılmış bakır esaslı düz başlı elektrotlar kullanılarak kısa süreli ark ile kesme dayanımı yüksek, kaynak çekmeleri düşük, çapak oluşumu az ve neredeyse gözeneksiz punta kaynağı elde edilebilir.

Direnç kaynağı ile 0,1mm'den 3,5mm kalınlığa kadar saclar sorunsuzca birleştirilebilirler. Bu kaynak yönteminin önemli parametreleri olan malzemenin elektriksel iletkenliği ve ısıl iletkenliği, Titanyumun alaşımsız çeliklerinkine kıyasla daha düşük olması nedeniyle bir avantaj olarak görülebilir. Böylece bu yöntemin Titanyuma uygunluğu baştan verilmiştir.

### 2.3.6. Difüzyon kaynağı [18]

Difüzyon kaynağında iki farklı metalik yüzey, vakum ve koruyucu gaz ortamında, yüksek sıcaklıkta ve basınca maruz bırakılarak, herhangi bir lokal ergime olmadan birbirlerine bağlanırlar. Bu yöntemle malzemelerin birleşme noktaları, ana malzemenin içyapısı ile aynı özellikte bir içyapıya sahip olur. En ideal şartlarda, birleştirilen iki iş parçası da aynı malzemedendir ise, bu kaynak işlemi sonrasında yapılan kaynak ana malzemeye göre ayırt edilemez hale gelir, çünkü ana malzeme ile aynı sertlik ve korozyon dayanımına sahip olur.

Difüzyon kaynağı yönteminin özellikle Titanyumda enteresan olmasının nedeni, Titanyumun diğer metallere göre katı halde daha kolayca homojen bir bağlantı oluşturmasındandır. Difüzyon kaynağı aynı zamanda sadece dar bir hatta bağlı kalmayarak, daha geniş yüzeyde bağlantıların oluşturulmasını sağlayabilmektedir. Bu sayede de kaynak yapılamayıp dolu malzemedendir mekanik işlem ile elde edilen

parçalardan da tasarruf ettirebilmektedir. Çoğunlukla Difüzyon kaynağı, süper plastik şekil verme (SPF/DB) ile kombine edilir.

### **2.3.7. Sürtünme kaynağı [18]**

Sürtünme kaynak yönteminde, kaynak bölgesinde ergime görülmez. İş parçalarının birbirlerine olan bağlantıları, sıcak şekil verme sıcaklığında malzemenin hamurlaşmış hale gelmesiyle oluşturulur. Bu nedenle normal kaynakta ergimeden ve yeniden katılaşma esnasında gözlenen kaynak hatalarına (gözenek, boşluk), çekme yırtılmaları, laminasyon, tane irileşmesi ve dökümsü içyapıya bu yöntemde rastlanmaz. Malzemenin atmosferden gaz almasına karşı olan tehlike de, kaynak süresinin kısa olmasından ötürü yok sayılır. Ayrıca kiri oluşturan artıklar, partiküller ve oksitler doğal olarak kaynak bölgesinin ortasından dışarıya doğru itilirler. İşlemin tamamlanmasından sonra bu kirin yaratacağı çentik etkisini kaldırmak için bu son katman mekanik işlemlerle alınır. Kaynak parametrelerinin çok fazla değişkene bağlı olmasından dolayı geçerliliği kesin olan değerler vermek zordur. Kullanılan makinaya, malzemenin kimyasal içeriğine, iş parçasının şekline ve birleştirme yüzeyinin büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir.

### **2.3.8. Toz altı kaynağı [18]**

Titanyumun Toz altı kaynak yöntemi kullanılarak kaynatılması denenmiştir. Hem natriyumflorid (NaF) içerikli ve hem de içinde natriyumflorid olmayan tozlar kullanılabilir. Sağlıklı derecede toz örtüsü ile kaynak dikişi atmosferden nüfuz edebilecek gazlara karşı yeterli oranda korunmuş olacaktır.

### **2.3.9. Koruyucu gazlar [18]**

Argon, Helyum, Argon-Helyum Karışımları tercih edilir. Gaz kalitesi asgari 4.8 olmalıdır (%99,998 saflıkta – DIN EN 439'a göre).

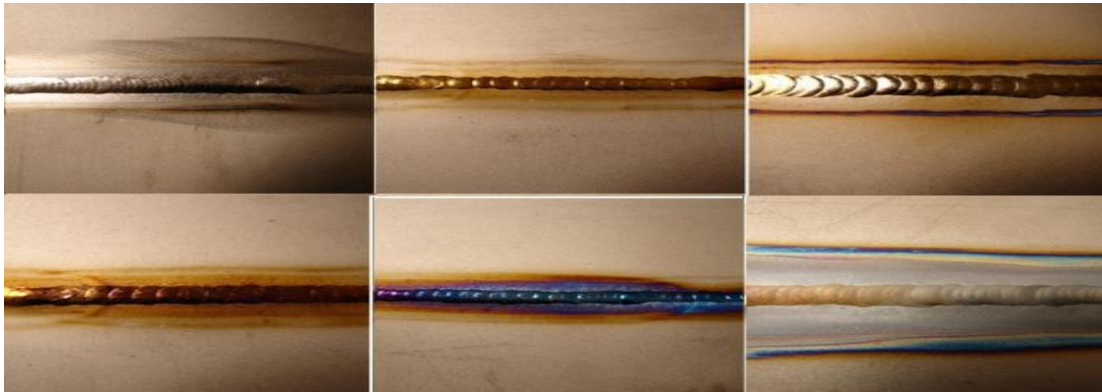
Titanyumun ısı iletkenliği düşük olduğundan, kaynak dikişi uzun süre yüksek sıcaklıkta kalmakta ve dolayısıyla havanın etkisinden korunması gereken dikiş uzunluğu artmaktadır. Yavaş soğuma tane büyüklüğü üzerinde etkili olduğundan

soğuma süresinin artması tane irileşmesine neden olmaktadır. Soğuma hızını arttırmak için kaynak bölgesinde ısı yoğunluğu dar bir alanda tutulmalı ve kaynak hızı da yükseltilmelidir [25].

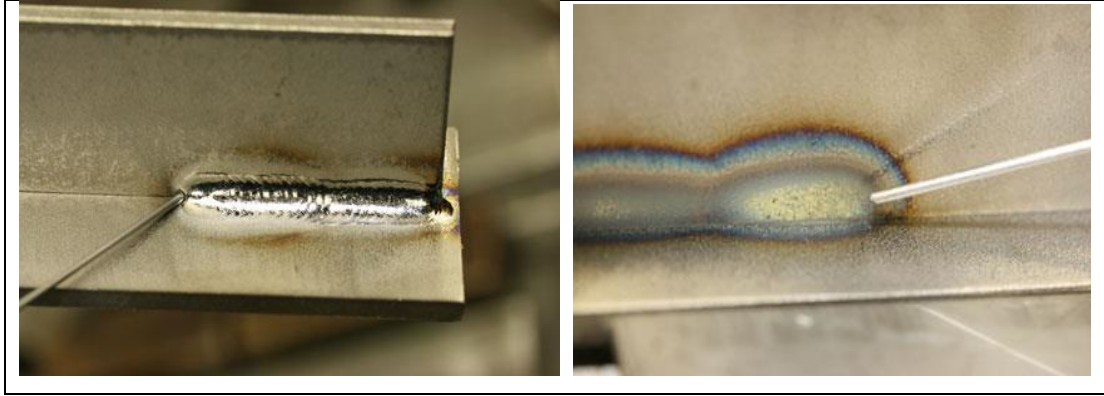


Şekil. 2.7. Koruyucu gaz oranlarının değiştirilmesi ile elde edilen kaynak dikişleri [20]

Solda koruyucu gazın yeterli olduğu ortamda yapılan kaynak dikişi, ortada ve sağda ise koruyucu gazın yeterli olmadığı ortamlarda yapılan kaynak dikişleri gösterilmektedir.



Şekil. 2.8. Kaynak dikişini kalitesinin koruyucu gaz ile ilişkisi [26]

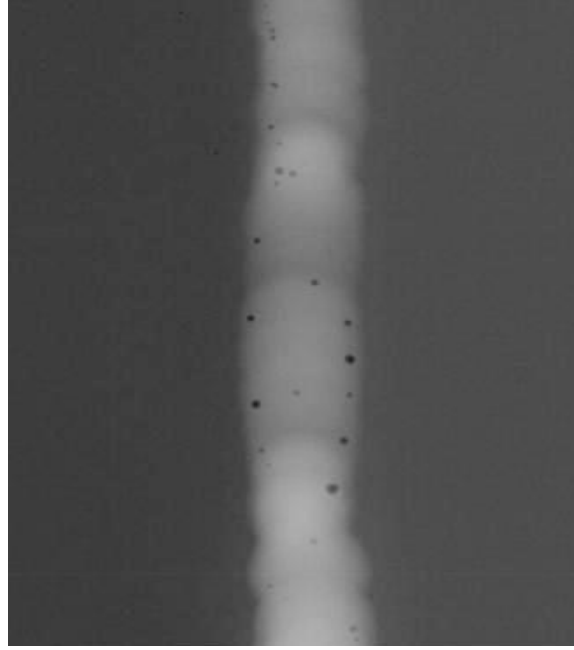


Şekil. 2.9. Sadece kaynak Argon ile korunmuş deneme kaynağı [27]

Solda argon ile korunan kaynak dikişi ön yüzeyi, sağda ise argon koruması yapılmamış kaynak dikişi arka yüzeyi gösterilmektedir. Arka yüzey soğuma sırasında aşırı sertleşerek çatlamıştır [20, 27-31].

Tablo 2.2. Kaynak Dikişi Renklenmesine Göre Dikiş Kalitesinin Tayini [27]

Kaynak Rengi	Kalite Kontrol Değerlendirmesi
Parlak Gümüş Rengi	Kabul
Gümüş Rengi	Kabul
Açık Pembe	Kabul
Koyu Pembe	Kabul
Bronz	Kabul
Kahverengi	Kabul
Eflatun	Ret
Koyu Mavi	Ret
Açık Mavi	Ret
Yeşil	Ret
Gri	Ret
Beyaz	Ret



Şekil. 2.10. Kaynak dikişine ait Röntgen filmi [26]

Şekil 2.10. 'daki röntgen filminde, kaynak dikişinde oluşan gözenekler görülmektedir.

#### 2.4. Titanyumun Diğer Malzemelerle Kaynak Kabiliyeti

Titanyumun diğer metalik malzemeler ile olan kaynak bağlantılarında, intermetalik fazların oluşumundan ötürü ortaya çıkan aşırı derecede sertleşmeler, bu bağlantıları zorlaştırmaktadır. Titanyum TIG kaynak yöntemi tercih edilerek, kaynak sarf malzemesi kullanılmadan Molibden, Tantal, Gümüş ve Vanadyum ile çok sayıdaki kaynak denemeleri Vanadyum, Gümüş, Niob ve Hafniyum ile olan kaynaklar dışında, şekil verilebilirliği çok düşük olan bağlantılar elde edildiğini göstermiştir. Çelik ve Titanyumun birbirine kaynatılmaları ise, demirin oda sıcaklığında Titanyumda çok az çözünebilir olmasından dolayı oldukça zordur. Çünkü Titanyum çelik ile kaynatıldığında, kaynak bağlantısında TiFe ve TiFe<sub>2</sub> gibi çok sert ve gevrek olan intermetalik fazla oluşmakta ve teknik olarak kullanımı mümkün olmayan kaynak bağlantıları elde edilmektedir.

Titanyum ve çeliğin sağlıklı bir şekilde bir araya gelmesi, her ikisinin de kaynaklanabilir olduğu ara kademe malzemeleri tercih edilerek sağlanabilmektedir. Bu durumda gevrekleşmeye neden olan fazlar ortaya çıkmamaktadır. Böyle bir geçiş

malzemesi olarak Vanadyum tercih edilebilir. Titanyum/Vanadyum/Çelik bağlantıları, direnç kaynağı, elektron ışınları kaynağı ve difüzyon kaynağı kullanılarak başarılı şekilde elde edilmiştir. Aynı şekilde Titanyum Sınıf 2 ve Titanyum Sınıf 12, Plazma Kaplama Kaynağı yöntemi ile çelik malzemeyle birleştirilmiştir. Bu bağlantıda ara kademe (geçiş) malzemesi olarak Bakır tercih edilmiştir. Bakır/Titanyum bağlantılarının sağlıklı kaynağı için Niob malzemenin ara kademe (geçiş) malzemesi olarak kullanılması, Alüminyum/Titanyum bağlantılarında ise Gümüş malzemenin ara kademe (geçiş) malzemesi olarak kullanılması, yapılan deneyler sonucunda kendisini başarılı olarak kabul ettirmiştir.

Titanyumun diğer metalik malzemeler ile kaynağında Sürtünme Kaynak yöntemi de ortaya çıkmaktadır. Bu sayede korozyon dayanımlı çelik veya alüminyum ile bağlantılar elde edilmektedir. Sadece kaynak dikişinde sertlik dayanımının düştüğünün göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilenlerle, Titanyumun çelik ve diğer metalik malzemelerle olan kaynak bağlantılarının her birinin özel bir durum olduğu belirginleştirilmektedir. Bu nedenle bu yöntemler, sadece gerçekten ihtiyaç duyuldukları özel uygulama alanlarında kullanılmakta ve seri imalatta henüz tercih edilmemektedirler. Gerek iş parçalarının geometrisinden gelen sıkıntılar, gerekse de çok emek isteyen ara kademe malzemesi kullanımı ihtiyacı buna neden olarak gösterilebilir.

Titanyum ve diğer metalik malzemelerin daha büyük yüzey alanlarında bir araya getirilmeleri ise, patlatma kaynak yöntemi tercih edilerek sağlanır. Bu yöntem, daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Titanyum iş parçaları, geometrilerinin komplike olmasından dolayı veya birleştirilecekleri parçaların malzemeleri Titanyum ile kaynağa elverişli yapıya sahip olmadıkları durumlarda lehimleme yöntemi tercih edilir. Aynı şekilde lehimleme işlemi de vakum veya asal gaz ortamında yapılır.



## 2.5. Uygulanan Isıl İşlemler

Titanyum ve alaşımlarına gerilim giderme tavlaması, ısıl işlem, normalizasyon ve yaşlandırma işlemleri uygulanır.

Isıl işlemler; malzemenin sünek olması, talaşlı imalata uygunluğu, boyutsal ve yapısal stabilitesi için gereklidir. Gerilim giderme işlemi, imalat esnasında malzemede oluşan iç gerilimleri kaldırmak için uygulanır. Bu ısıl işlem, deforme olmuş olan mikro yapıyı yeniden rekristalize etmek için de tercih edilir. Bu tavdan sonra iş parçası stabil bir mikro yapıya, iyi işlenebilirliğe ve mekanik özelliklere sahip olur. Normalizasyon ve yaşlandırma tavlaması ise malzemenin sertlik dayanımını arttırmak için uygulanır. Normalizasyon, yaşlandırma ısıl işlemleri ve çiftleri (hem normalizasyon ve hem de yaşlandırmanın bir arada olduğu durumlar) malzemelerinin sertliklerini, sünekliklerini ve kırılma özelliklerini iyileştirmek için uygulanır. Beta Titanyum özelliğine daha yatkın Titanyum alaşımlarının ısıl işlem özellikleri daha iyidir. Beta Titanyum alaşımlarında yapılan normalizasyon işlemi sonrasında iki kademeli yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak (düşük sıcaklık yaşlandırması ve yüksek sıcaklık yaşlandırması) 1600 Mpa civarında çekme dayanımlarını elde etmek mümkündür. Isıl işlemler ayrıca malzemenin kırılma dayanımını, kırılma sünekliğini ve yüksek sıcaklık ortamında sürünme özelliklerinin iyileştirilmesi için tercih edilir.

Titanyumun ısıl işlemlerinin fanlı elektrik fırınlarında yapılması, ısı düzeyinin daha iyi kontrol edilebilir olmasından dolayı tercih edilmelidir (Şekil 19). Isıl işlem için gazlı brülörlü fırın tercih edilmesi durumunda Titanyumun hidrojen almasını engellemek adına hava miktarının sirkülasyon ile arttırılması ve parçaların doğrudan brülörden gelen ateşe maruz kalmaması gerekmektedir.

Tablo 2.3. Tipik ısıtım işlem değerleri [20]

Malzeme		Uygulanabilir Isıl İşlem Türleri			
		Gerilim Giderme	Isıl İşlem	Normalizasyon	Yaşlandırma
Ticari Saflıkta Titanyum Malzeme		480 – 595 °C 15-240 dak	650 – 815 °C 15-120 dak	-	-
Alfa – Beta Titanyum Alaşımları	Ti-3Al-2.5V	370-595 °C 15-240 dak	650 – 790 °C 30-120 dak	-	-
	Ti-6Al-4V	480 – 650 °C 60-240 dak	705 – 870 °C 15-60 dak	900 – 970 °C 2-90 dak	480 – 690 °C 2-8 saat
Beta Titanyum Alaşımları	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	790 – 895 °C 30-60 dak	760 – 815 °C 3-30 dak	760 – 815 °C 2-30 dak	480 – 675 °C 2-24 saat

## BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Kaynak denemelerinin tamamında özellikleri Tablo 3.1. 'de verilen Titanyum Grade 7 kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Kullanılan Titanyum 3.7235 iş parçalarının kimyasal bileşimi [31]

Şarj Numarası	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıktaki Miktar)					
	Fe	C	N	O	H	Pd
Olması Gereken	≤ 0,30	≤ 0,08	≤ 0,03	≤ 0,25	≤ 0,015	0,12~0,25
200202211	0,12	0,01	0,02	0,15	0,004	0,16
151112PD	0,03	0,01	0,01	0,14	0,001	0,165
15858PDE	0,04	0,01	0,01	0,13	0,001	0,16
151221PD	0,03	0,003	0,007	0,156	0,032	0,158

Tablo 3.2. Titanyum Grade 7' nin mekanik ve fiziksel özellikleri [31]

Akma Dayanımı	390	N/mm <sup>2</sup>	Yoğunluk	4,5	Gr/cm <sup>3</sup>
Çekme Dayanımı	Min. 250	N/mm <sup>2</sup>	Spesifik Isı	520	J/kgC
Gerilme	Min. %20		Isı İletkenliği	17	W/mC

Titanyum Grade 7 'nin alaşımsız Titanyum'a göre farkı, indirgeyici ortamlara karşı dayanımının iyileştirilmiş olmasıdır. İndirgenme, bir atomun elektronu almasını sağlayan kimyasal tepkimedir. Nötr haldeki bir atom indirgendiğinde (-) değerlikli bir iyon dönüşür.









Kimya sektörüne özel üretim yapan ve tezin hazırlanmasında gerekli malzeme ve ekipmanları kullanıma sunan fabrikada sadece Titanyum Grade 7 işlenmektedir. Kaynak deneylerinin tamamı bu nedenle Titanyum Grade 7 kullanılarak tamamlanmıştır.

### 3.1.1. Malzemelerin şekil ve boyutları ve bunların tercih nedenleri

İş parçaları olarak boru ve sac malzemeleri kullanılmıştır. Kullanılan parçaların boyutları, AD 2000 Merkblatt ve yapılacak tahribatlı malzeme muayenesi standartlarının öngördüğü asgari ölçüler ile kaynakçı ve kaynak otomatının gereksinimleri göz önünde tutularak belirlenmiştir. Hem kaynakçı ve hem de kaynak otomatu için iş parçalarının sehpalara sabitlenmesi gerekiyken, yine kaynakçı ve kaynak otomatının kaynağa ilk başladıkları noktada oluşan kaynak dikişinin olması gereken kalitede olmadığı düşünülmüştür.

Boyut tercihi yaparken yukarıdaki standartların yanında; homojen yapıdaki kaynak dikişinin incelenebilmesi, yapılan numune kaynaklardan yeterince deney parçası çıkarılabilmesi, metalografik incelemede ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak dikişinin kendisinin rahatlıkla incelenebilmesi ve ayrıca sertlik testine olanak verilebilmesi dikkate alınmıştır.

Tablo 3.3. Deney kaynağı için seçilen iş parçaları [19]

	İş Parçası Türü	İş Parçası Geometrik Şekli	En x Boy (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Kaynak Ağzı Şekli	Malzeme
1	Boru-Boru		Çap 50 x 100	4		Ti Gr7
2	Levha-Levha		300 x 300	5,5		Ti Gr7
3	Levha-Levha		280 x 290	15		Ti Gr7
4	Levha-Levha		250 x 300 300 x 300 300 x 300 335 x 340 300 x 300 250 x 500	3 5,3 5,5 10 10,2		Ti Gr7

İş parçalarının et kalınlığı aralıkları sektörde yaygın kullanım bulan 3mm – 15mm aralıklarında seçilmiştir. Deneylede AWS 5.16 ErTi-7 TIG kaynak teli kullanılmıştır.

### **3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak yöntemleri**

TIG ve Plazma kaynak yöntemleri hem ayrı ayrı ve hem de birlikte uygulanmışlardır. TIG ve Plazma kaynağının birlikte uygulanması ile, kalın sacların kaynakları daha ekonomik olarak tamamlanmıştır.

#### **3.2.1. Titanyumun TIG yöntemi ile kaynatılması**

1. TIG deney kaynaklarında kullanılan parçalar düzgün şekilli seçildiklerinden, gaz odası kullanımına gereksinim duyulmamıştır.
2. Kaynak ağızı bölgeleri ve kaynak yapılacak komşu bölgeler 20mm genişliğe kadar mekanik işlem tercih edilerek (torna ve freze) hazırlanmıştır. Bu bölgelerin taşlanarak (spiral) hazırlanması kesinlikle uygun değildir.
3. Kaynak başlamadan hemen önce iş parçalarının kaynak ağızları bölgesi kaynak dikişinden 30mm genişliğe kadar (her iki tarafta) ve üst ve alt yüzeyde (kök ve kapak) temizlenmiştir.
4. Küçük iş parçalarının hazırlığında paslanmaz tel fırça kullanılırken, daha büyük iş parçaları kimyasal malzeme ile temizlenmiştir. Kaynağa başlamadan önce malzeme yüzeyinde kesinlikle bir renklenme kalmamış olmasına dikkat edilmiştir.
5. Kaynak Sarf Malzemeleri kullanılmadan da kaynatılabilen Titanyum için kaynak sarf malzemesi kullanımı gerekli olduğunda, bunların da metalik parlak, temiz ve yağdan arındırılmış olmasına dikkat edilmiştir. Kaynak ağızları ve kaynak sarf malzemeleri temizlenmelerinin ardından çıplak el veya kirli eldivenlerle tutulmamalıdır.
6. İş parçasını doğrultmak için soğuk halde çekiçlemeden kaçınılmalıdır.
7. Koruyucu gaz veren düzenekteki gaz akışının laminer olmasına dikkat edilmiştir.

8. TIG kaynağında ergimez Wolfram elektrodunun renklenip renklenmediğine dikkat edilmiştir. Renklenme oksijen nüfuziyetini göstermektedir ve sakıncalıdır.
9. Renklenme gösteren kaynak dikişi, kaynağa devam edilmeden önce temizlenmelidir. Şayet emin olunamıyorsa, kaynak dikişine sertlik testi uygulanarak ortaya çıkan sertlik değerine bağlı olarak dikişin kalıp kalamayacağına karar verilir.
10. TIG kaynak telinin kaynak esnasında koruyucu gaz hacmi içinde kalmasına özen gösterilmiştir. Kaynak arkı kapatıldığında bile, kaynak teli soğuyana kadar koruyucu gaz hacmi içinde tutulmuştur (Şekil 3.1.)

Kaynak edilecek yüzeyin tüm kir ve yağlardan uzak tutulabilmesi için pnömatik ekipmanların kullanımından kaçınılmıştır. Bilindiği üzere, kompresörden gelen basınçlı havada az da olsa yağ bulunmaktadır. Kaynakta iş parçalarının, kaynak telinin, ortamın ve kaynakçının giysilerinin temiz olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.7.).

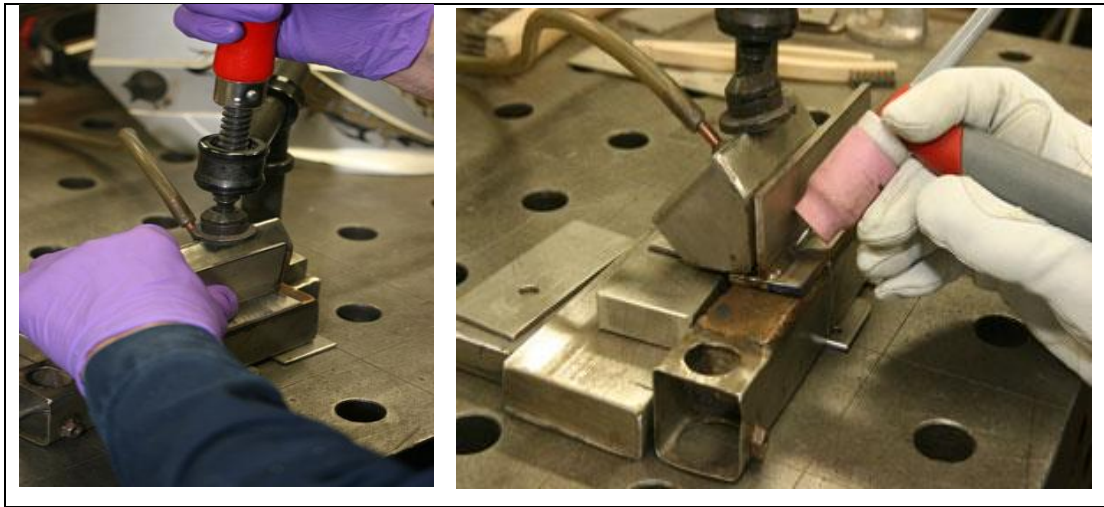


Şekil 3.1. TIG torcu, kaynak teli ve kaynak arkı [27]



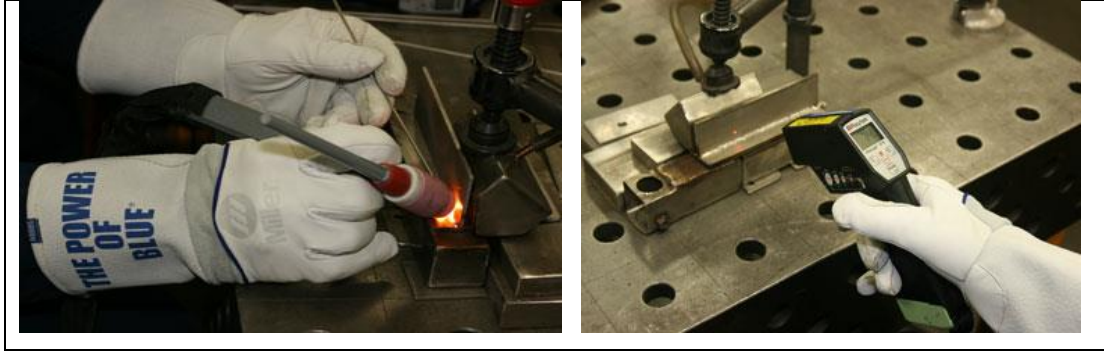
Şekil. 3.2. Kaynak öncesi ve sırasında temizlik [27]

11. Çalışma kış aylarında yürütüldüğünden, kaynak ortamının asgari 10 °C 'de olması sağlanmıştır.
12. İş parçalarındaki ısıya dayalı uzama ve çekmeleri kontrol altında tutabilmek için, iş parçaları sabitlenmiştir (Şekil 3.3.).

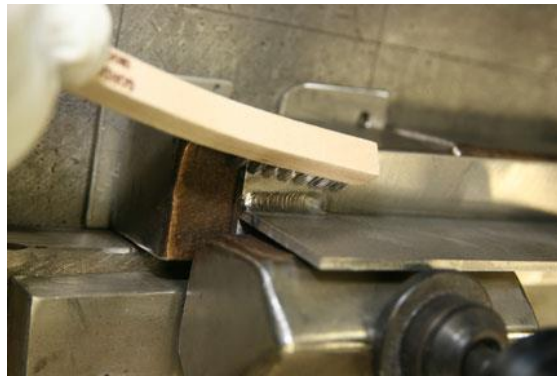


Şekil. 3.3. İş parçalarının ve gaz ayakkabılarının sabitlenmesi [27]

13. Kaynak esnasında kaynak banyo sıcaklığı lazer sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülerek sürekli kontrol altında tutulmuş ve her tamamlanan dikiş, bir süre daha koruyucu gaz ile beslenmiş (425 °C altına kadar) ve ardından paslanmaz tel fırça ile temizlenmiştir (Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.).



Şekil. 3.4. Solda kaynak işlemi ve argon gazı ile koruma, sağda lazer ile sıcaklık ölçümü [27]



Şekil. 3.5. Dikiş yüzeyinde oksit tabakasının paslanmaz tel fırça ile temizlenmesi [27]

### 3.2.2. Uygulanan ısı işlemler

Deneyde kullanılan iş parçasının hiçbirinde ısı işlem gerekliliği yoktur. En büyük et kalınlığı 15mm 'dir.

### 3.2.3. Kullanılan makinalar

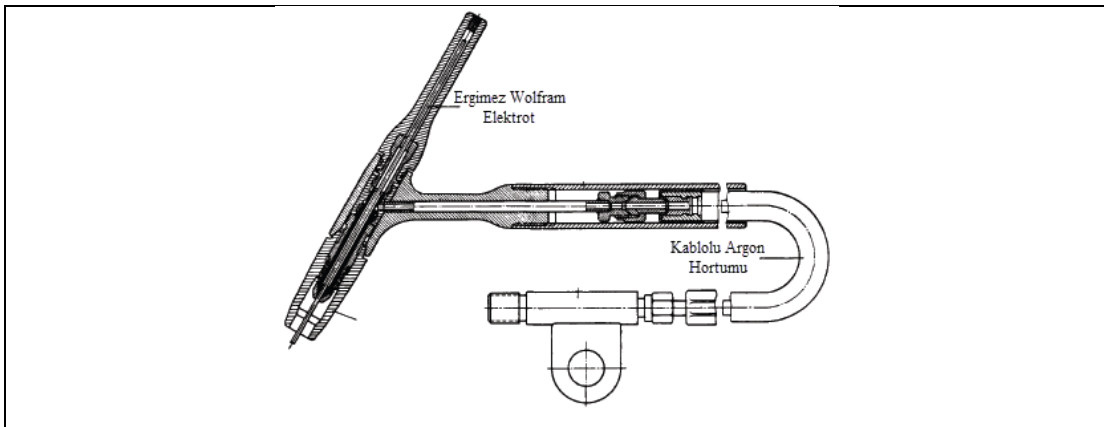
Kaynak otomatları kaynakçılar tarafından kumanda edilmiştir. Kaynakçı iş parçasının kaynağına başlamadan önce kendi yeterliliğini numune kaynağı yaparak sınamalıdır.



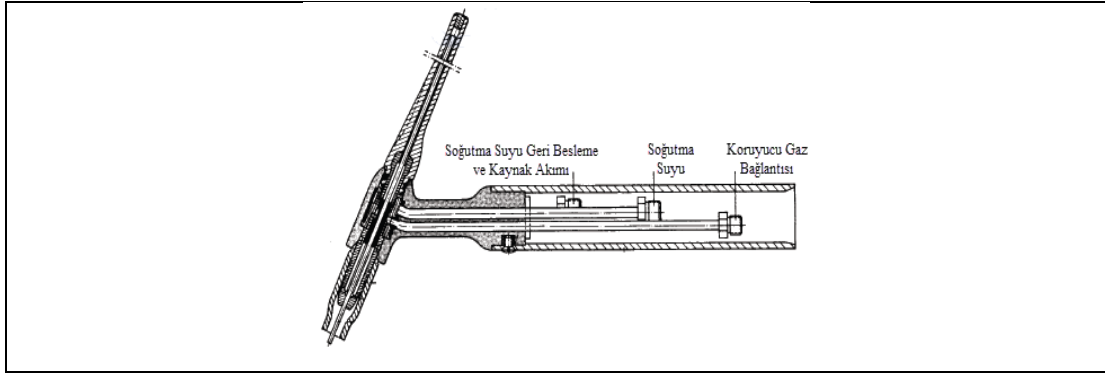


Şekil. 3.6. Kaynak işlemi ve kaynak torcu tutucusu [27]

Şekil 3.6.'de solda TIG kaynaklarında tercih edilen modern bir kaynak makinası gösterilmektedir. Yüksek frekans ark starterli, akım kontrollü ve zaman ayarlı gaz akış sistemi. Sağda ise hava soğutmalı torç gösterilmektedir ve kaynak torcu ile beraber ergimez Wolfram elektrodun kullanılmadığı sırada kirlenmesini önlemek amacı ile yapılan basit torç askısı gösterilmektedir.



Şekil. 3.7. Hava soğutmalı kaynak torcunun şematik gösterimi [24]



Şekil. 3.8. Su soğutmalı kaynak torcunun şematik gösterimi [24]

Hava soğutmalı torçlar düşük akım ve kısa kaynak dikişleri için kullanılırken, su soğutmalı torçlar daha yüksek akım ve daha uzun boyda kaynak dikişleri için tercih edilmektedirler.



Şekil. 3.9. Gaz ayakkabısı [27]

Kaynak dikişi hızı arttıkça, kaynak torcunun oluşturduğu koruyucu gaz hacmi yetersiz kalabilmektedir. Dikiş henüz soğumamışken koruyucu gazın ortadan kalkması, kaynak dikişinde sertleşme ve çatlamalara neden olur. Bu gaz ortamının artırılması ise, Şekil 3.9.'da gösterilen koruyucu gaz ayakkabıları kullanılarak sağlanır.

Dar bölgelere ulaşabilmek veya girintili çıkıntılı yüzeyleri sorunsuzca kaynatabilmek için, kaynak torcundaki ergimez wolfram elektrot daha uzun ayarlanabilir. Bu durumda fincan çapı büyütülerek koruyucu gaz hacminin de genişletilmesi gereklidir.

### **3.2.4. Plazma kaynak yöntemi**

#### **3.2.4.1 Uygulanan Isıl İşlemler**

Deneyde kullanılan is parçasının hiçbirinde ısıl işlem gerekliliği yoktur. En büyük et kalınlığı 15mm 'dir.

#### **3.2.4.2 Kaynak Şartları**

Tercih edilen kaynak parametrelerinin tamamı deney çalışmasına ait kaynak protokolleri ile kayıt altına alınmıştır. Protokollerde tercih edilen kaynak yönteminden, tercih edilen sarf malzemeye ve seçilen kaynak ağzı şeklinden ısıl işlemin gerekli olup olmadığına kadar tüm bilgiler yer almaktadır.

### **3.3. Deney Numunelerine Uygulanan Testler**

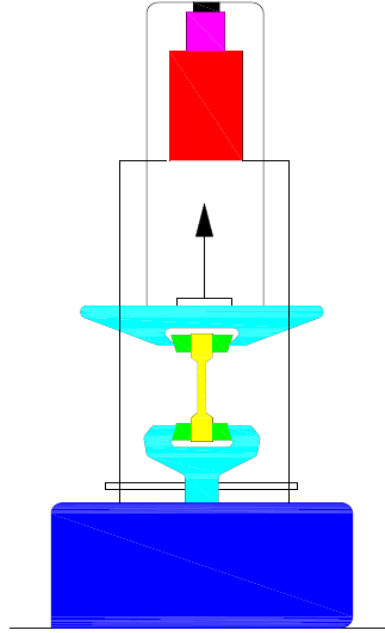
Bağımsız denetim kuruluşu (TÜV, Lloyds Register vb.) onaylı ve makine geçerliliği olan kaynak yöntem testlerine sahip olmak, metal işçiliği yapan tüm şirketler için önemlidir.

Mevcut yöntem testleri, takip eden işlerde aynı veya benzer yöntem testlerinden gerekliliğini de ortadan kaldırmaktadır. Mekanik testlerin böylelikle azaltılması üreticiye ekonomik avantaj sağlar.

Deney kaynaklarına çekme testi uygulanmış ve Vickers sertlikleri ölçülmüştür. Kaynak sonrası yapılan muayenelerin sonuçlarının kıyaslanabilmesi için, malzemenin kaynak öncesindeki özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Referans olarak üretici sertifikasındaki değerler kullanılabilir.

### 3.3.1. Tahribatlı testler

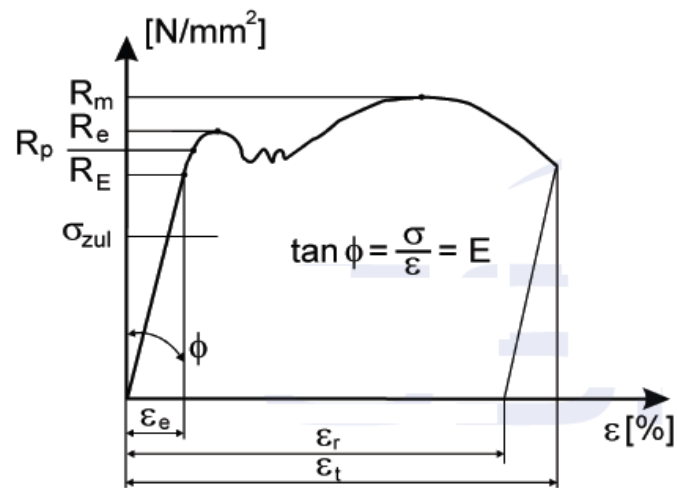
#### 3.3.1.1 Çekme testi DIN EN 895



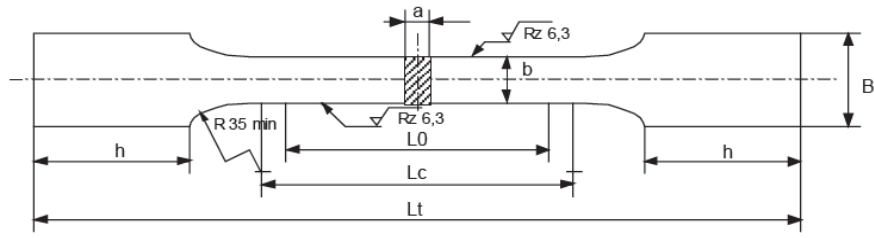
Şekil. 3.10. Çekme testi cihazının şematik gösterimi [19]

Çekme deneyi ile, belirli şartlar altında malzemenin sertlik ve şekil değiştirme ile ilgili bazı büyüklükleri belirlenir [24]

Çekme numunesi çekme kuvvetinin belirlenebilmesi için kopana kadar çekilir.



Şekil. 3.11. Çekme testi diyagramı [24]



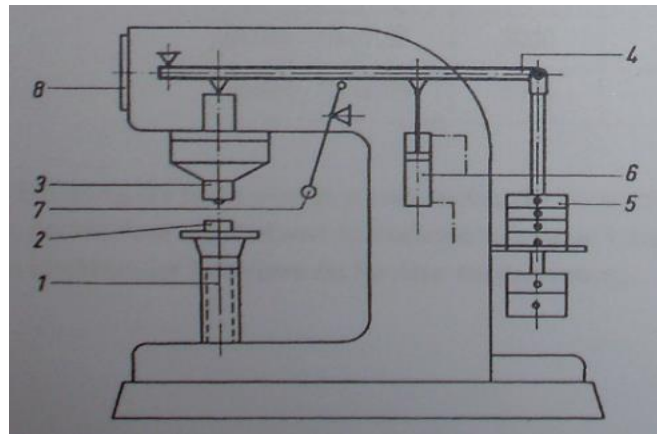
Şekil. 3.12. Çekme deneyi numunesi [24]

- |   |   |       |  |
|---|---|-------|--|
| a | : Numune kalınlığı                              | $L_0$ | : Başlangıç boyu                                       |
| b | : Numune genişliği                              | $L_c$ | : Deney boyu ( $L_c > L_0 \cdot 1,5 \cdot S_0^{0,5}$ ) |
| B | : Alın genişliği ( $\sim 1,2 \cdot x_b + 3$ mm) | $L_t$ | : Toplam boy   |
| h | : Alın yüksekliği ( $\sim 2 \cdot x_b + 10$ mm) |       |  |

### 3.3.1.2 Vickers sertlik testi dın en iso 6507 – 1

Sertlik malzemeye sert bir elmas ucun bastırılması sırasında, malzemenin bu elmasa karşı gösterdiği dirençtir [24].

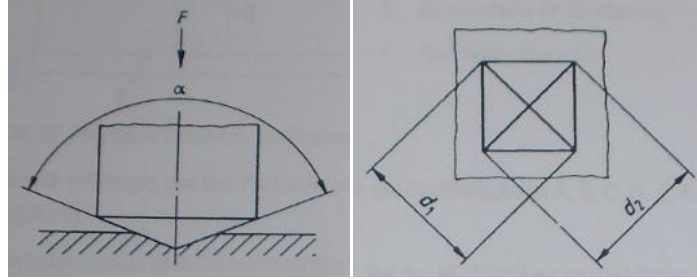
Sertlik hem statik ve hem de dinamik yükleme ile tesbit edilebilir. Elde edilen değer, birimi olmayan bir sayıdır ve uygulanan yükün elmasın malzemede bıraktığı izin alanına bölünmesi ile elde edilir [24].



Şekil. 3.13. Sertlik testi düzeneği [24]

1. Ayarlanabilir tabla
2. Numune

3. Sert elmas
4. Kaldırma düzeneği
5. Deney kuvveti ayarında kullanılan ağırlıklar
6. Darbe emici silindir
7. Serbest bırakma kolu
8. İz okumak için optik ekran



Şekil 3.14. Vickers sertlik ölçüm elmasının şematik gösterimi [24]

Sert elmas şematik olarak Şekil 3.15.'te gösterilmiştir. Dört köşeli bir piramiti andıran elmasın tepe açısı  $\alpha$  ,  $136^\circ$  'dir [24]. Numunenin tablaya bağlanıp gerekli ayar işlemlerinin tamamlanmasından sonra asıl deney yaklaşık 10 – 15 saniye sürmektedir [24].

### 3.3.2. Tahribatsız testler

Her kaynak tamamlandığında iş parçasında çekme, çarpılma, burulma, renklenme ve dikişte gözeneklenme olup olmadığı kontrol edilmiştir. Gözle yapılan bu muayeneyi geçemeyen iş parçaları, kusurun giderilmesi ayrılmış veya doğrudan hurdaya atılmıştır. Ayrıca kök tarafında yanma veya kaynak başlama ve bitiş noktalarında krater oluşan parçalar da hurdaya ayrılmıştır. Göz ile görülemeyen kılcal yırtılmaların varlığının belirlenebilmesi için penetran testi uygulanmıştır.

## **BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI**

### **4.1. Tahribatsız Testler ve Sonuçları**

Metalografik incelemelerde, kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede tane irileşmesi gözlenmiştir. Tane irileşmesinin malzemenin ısıya maruz kalmasından ötürü oluştuğu düşünülmektedir. Mekanik özelliklerin değişimi de buna bağlanmaktadır. Şekiller mikroskobik görüntüler kısmında verilmiştir.

Oldukça düzenli haldeki tane irileşmesi ise, ısı girdisinin kontrollü ve eşit dağılımlı olduğu yargısını oluşturmuştur. Kaynak kalitesi hakkında tek başına yeterli olmamasına rağmen, gözlenen düzenli tane yapısı ve tane sınırları, kaynaklarda ağır kusurlar olmadığını ve kaynak öncesi temizliğin ve kaynak esnasında gaz korumasının yeterli olduğunu düşündürmektedir.

### **4.2. Makroskobik Görüntüler**

Koruyucu gaz kullanımı azalınca renklenmelerin yoğunlaştığı görülmüştür. Bu durum atmosfer gazları nüfuziyetinin arttığını gösterir (Şekil 4.1.). Argon gazı azaltıldıkça sarımsı, altınımsı ve kahverengimsi renklenmeler oluşmuştur. Bu dikişler kabul edilebilirdir, fakat sertlik kısmen artmış, süneklik ise düşmüştür.

Argon gazının yok denecek seviyeye düşmesi ile renkler koyulaşmaya başlamıştır. Kaynak banyosu ve sıcak iş parçası, atmosfer gazları ile fazlasıyla reaksiyona girmişlerdir. Bu kaynak dikişleri, sertlik testine tabi tutulmadan doğrudan hurdaya ayrılır. Asitleme ile renklenmeler yok edilebilir, fakat mekanik özellikler iyileştirilemezler.

#### 4.2.1. Deney Verileri, Mekanik Testler ve Mikroskobik Görüntüler

Tablo 4.1. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları [19]

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi ve Şarj Nosu	Kaynak Ağzı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
4	3.7235 200202211	V	TIG	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	120 – 140	Eksi	El ile	
2	Doğru	110 – 120	Eksi	El ile	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
4,2 x 12,2	338 (~450)	421 (>345)	57,5	69	Kaynak Dikişinde
Vickers Sertlik Deneyi DIN EN ISO 6507 – 1 , HV10					
Numune	Sertlik Ölçümü	Dikişte	Isıdan Etkilenen Bölgede	Ana Malzemede	
Dikiş üst bölgesi	Sertlik Değeri Vickers	134 – 141 (<236)	157 – 190 (<236)	186 (<236)	

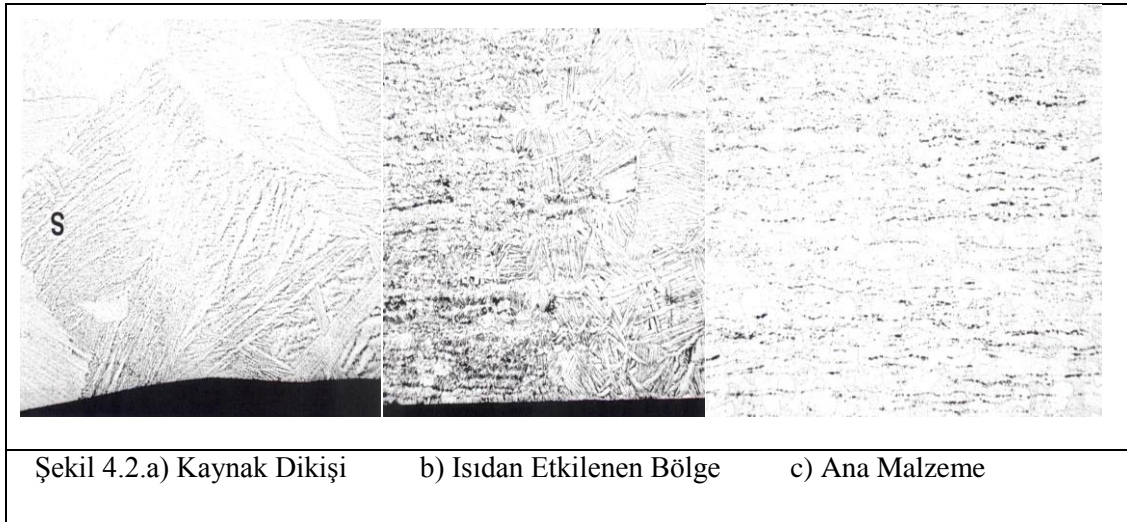


Şekil. 4.1. Tablo 4.1.'deki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskobik görüntüsü [19]



Şekil 4.1.'de Tablo 4.1.'de ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü verilmiştir. Et kalınlığının ince, 5mm olmasından ötürü numunede kaynak sonrası bir deformasyon veya çekme görülmezken, içyapıda değişiklikler olduğu görülmektedir. Kaynak dikişi mikroyapısı (A) oldukça iri taneli, ısıdan etkilenen bölge iri taneli (B) hale gelmiştir. Numuneye ısının etki etmediği kısımda ise (C) iç yapının değişmediği görülmektedir. Mikro yapının dikişin sertlik ve çekme dayanımlarına etkisi Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Çekme deneyi ve sertlik değerleri kabul edilebilir azami değerleri aşmamıştır. Bu durum dikişte gevrekleşme olmadığını düşündürmektedir. Kaynak dikişinde sertliğin numunenin sertliğine göre daha düşük olması, kaynak telinin doğru seçildiğini ve sünek bir bağlantı elde edildiğini doğrulamaktadır.

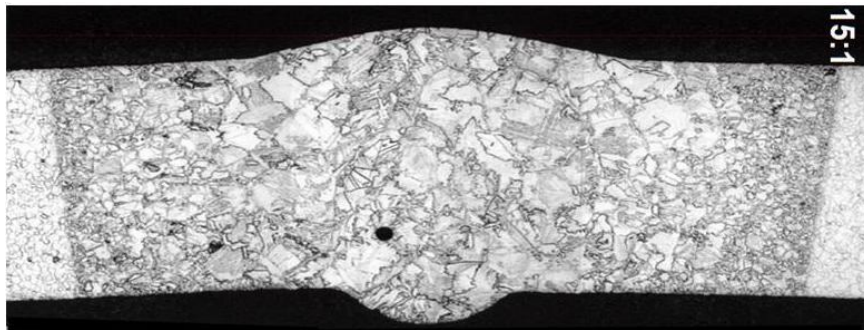


Şekil. 4.2. Tablo 4.1.'deki kaynak şartlarındaki numunenin 100:1 oranındaki mikroskopik görüntüsü [19]

1. Şekil 4.2.a'da kaynak dikişinde tane irileşmesi ile beraber iğneli mikro yapı görülmektedir.
2. Şekil 4.2.b'de ısıdan etkilenen bölgede tane irileşmesi görülmektedir.
3. Şekil 4.2.c'de ana malzemenin ince tane yapısı görülmektedir.

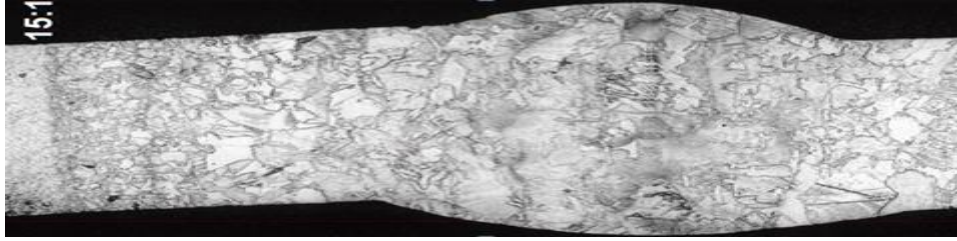
Tablo 4.2. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları [19]

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi ve Şarj Nosu	Kaynak Ağzı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
5,5	3.7235	I	Plazma	Argon	
5,5	T72310102V	V	TIG	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	170	Eksi	22 cm/dk	
1 – 2	Doğru	120	Eksi	El ile	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
Plazma 5,4 x 25	328 – 385 (~450)	438 (>345)	4	44	Ana Malzemede
TIG 5,4 x 25	347 – 398 (~450)	458 (>345)	81,5	42	Kaynak Dikişinde
Vickers Sertlik Deneyi DIN EN ISO 6507 – 1 , HV10					
Numune	Sertlik Ölçümü	Dikişte	Isıdan Etkilenen Bölgede	Ana Malzemede	
Dikiş üst bölgesi Plazma	Sertlik Değeri Vickers	172 – 180 (<236)	162 – 187 (<236)	155 – 167 (<236)	
Dikiş üst bölgesi TIG		142 – 144 (<236)	160 – 178 (<236)	155 – 165 (<236)	



Şekil. 4.3. Tablo 4.2.'deki kaynak şartlarındaki numunenin Plazma yöntemi ile kaynağı sonrası mikroskobik görüntüsü [19]

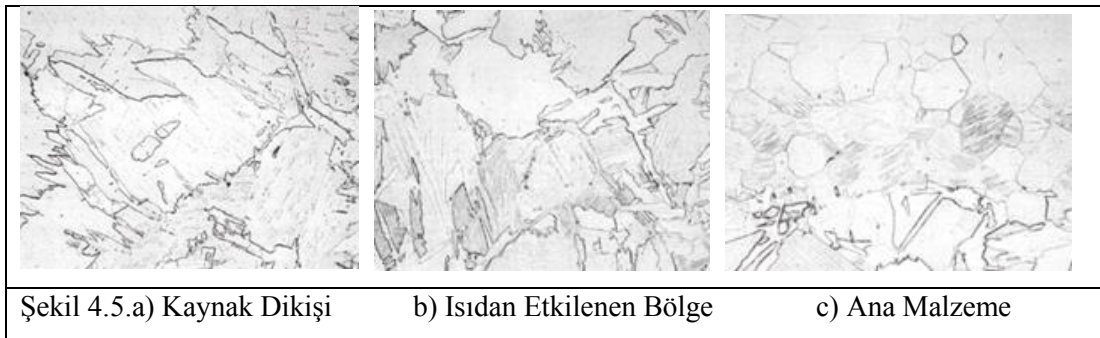
Şekil 4.3.'te Tablo 4.2.'de ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin Plazma kaynağı sonrası mikroskopik görüntüsü verilmiştir. Et kalınlığının ince, 5,5 mm olmasına rağmen numunede kaynak sonrası deformasyon gözlenmektedir. Tane irileşmesi kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede açıkça görülürken kaynak dikişi kökünde bir gözeneklenme olduğu da görülmektedir. Mikro yapının dikişin sertlik ve çekme dayanımlarına etkisi Tablo 4.2.'de verilmiştir.



Şekil. 4.4. Tablo 4.2.'deki kaynak şartlarındaki numunenin TIG yöntemi ile kaynağı sonrası mikroskopik görüntüsü [19]

Şekil 4.4.'de Tablo 4.2.'de ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin TIG kaynağı sonrası mikroskopik görüntüsü verilmiştir. Et kalınlığının ince, 5,5 mm olmasına rağmen numunede kaynak sonrası deformasyon gözlenmektedir. Tane irileşmesi kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede açıkça görülmektedir. Mikro yapının dikişin sertlik ve çekme dayanımlarına etkisi Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Burada iki farklı kaynak yöntemi aynı numune kaynatılmıştır. TIG yönteminde kaynak dikişi sertliği düşerken, Plazma yönteminde kaynak dikişi sertliği düşmemiş, aksine bir miktar artmıştır. Plazma yönteminde birleştirme kaynak ağzı olmadan boşluksuz yapıldığından, ısıdan etkilenen bölge neredeyse yok denecek kadar dardır ve bu nedenle sertlik değerleri de aynı aralıkta kalmıştır.



Şekil 4.5.a) Kaynak Dikişi

b) Isıdan Etkilenen Bölge

c) Ana Malzeme

Şekil. 4.5. Tablo 4.2.'deki kaynak şartlarındaki numunenin 100:1 oranındaki mikroskopik görüntüsü [19]

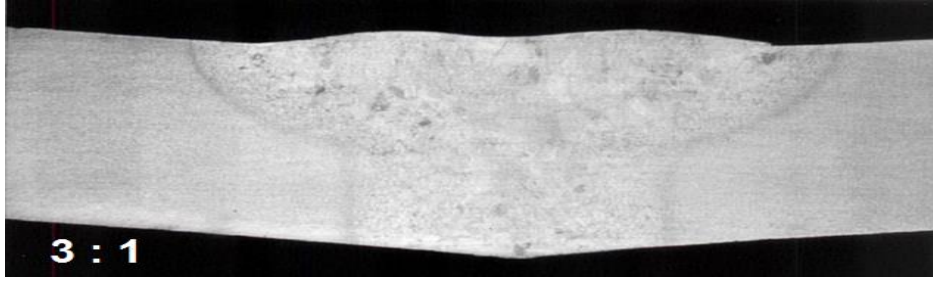
1. Şekil 4.5.a'da kaynak dikişinde tane irileşmesi ile beraber iğneli mikro yapı görülmektedir.
2. Şekil 4.5.b'de ısıdan etkilenen bölgede tane irileşmesi görülmektedir.
3. Şekil 4.5.c'de ana malzemenin ince tane yapısı görülmektedir.

Çekme deneyi ve sertlik değerleri kabul edilebilir azami değerleri aşmamıştır. Bu durum dikişte gevrekleşme olmadığını düşündürmektedir. TIG yönteminde kaynak dikişinde sertliğin numunenin sertliğine göre daha düşük olması, kaynak telinin doğru seçildiğini ve sünek bir bağlantı elde edildiğini doğrulamaktadır.

Ayrıca TIG yönteminde kaynak dikişinin köküne doğru orasında bir gözeneğin varlığı görülmektedir. Kaynak bölgesinde nem oluşu veya kaynak bölgesinin yeterince temiz olmayışı, koruyucu gazın verilmesinde yetersizlik oluşu veya gazın genişlemesinin beklenmeden hızlıca kaynağa devam edilmiş olması nedenler arasında sayılabilir.

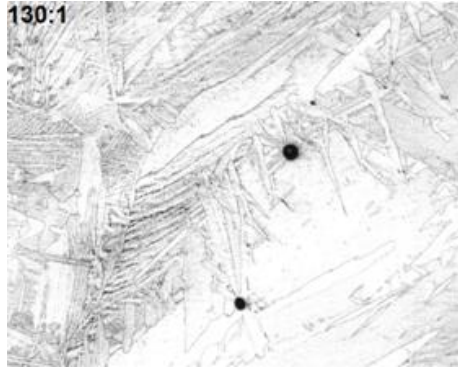
Tablo 4.3. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları [19].

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi ve Şarj Nosu	Kaynak Ağızı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
15	3.7235 TP28921	Y	Plazma	Argon	
			TIG	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	242	Eksi	16 cm/dk	
2 – 6	Doğru	302	Eksi	9 – 14 cm/dk	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
13,8 x 25,2	471 (~450)	531 (>345)	35,5	42	Kaynak Dikişinde
Vickers Sertlik Deneyi DIN EN ISO 6507 – 1 , HV10					
Numune	Sertlik Ölçümü	Dikişte	Isıdan Etkilenen Bölgede	Ana Malzemede	
Dikiş üst bölgesi	Sertlik Değeri Vickers	155 – 168 (<236)	176 – 190 (<236)	167 – 181 (<236)	
Dikiş alt bölgesi		172 – 182 (<236)	170 – 176 (<236)	170 – 181 (<236)	



Şekil. 4.6 . Tablo 4.3.'deki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü [19]

Şekil 4.6.'de Tablo 4.3.'de ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü verilmiştir. Et kalınlığının 15 mm'ye artırılması ile kaynak sonrası deformasyonun arttığı görülmektedir. Alınan kesitte tercih edilen Y kaynak ağzı belirgin şekilde görülmektedir. Alt kısım boşluksuz halde Plazma yöntemi ile birleştirilmişken, üst kısım V kaynak ağzı formunda TIG yöntemi ile doldurulmuştur. Mikro yapı alt kısımda daha homojen bir görünüme sahipken (kaynak bölgesi ile ısıdan etkilenen bölge birbirinden farklılık göstermemektedir), üst kısımda kaynak dikişi bölgesi ile ısıdan etkilenen bölge birbirine göre farklılık göstermektedir. Mikro yapının dikişin sertlik ve çekme dayanımlarına etkisi Tablo 4.3.'de verilmiştir.

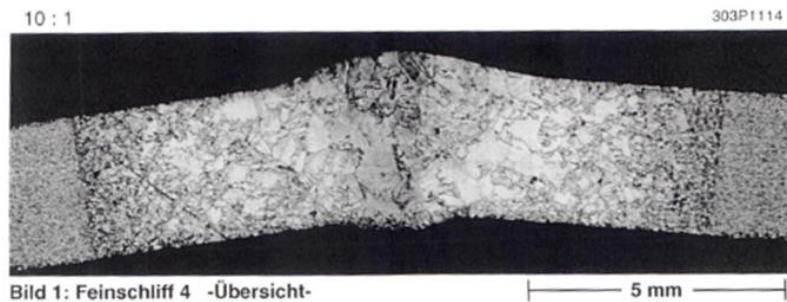


Şekil. 4.7. Kaynak dikişi

Şekil 4.7.'de iğneli yapıdaki kaynak dikişinde gözenekler görülmektedir. Kaynağın Plazma yöntemi ile yapıldığı kısımda sertlik değerleri, numunenin kendi değerlerine benzer kalmışken TIG yöntemi ile kaynatılan kısımda sertlik değeri düşmüştür. Böylelikle Plazma kaynak yönteminin, malzemenin hem tane yapısına hem de mekanik özelliklerine daha az etki ettiğini anlamaktayız.

Tablo 4.4. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları [19]

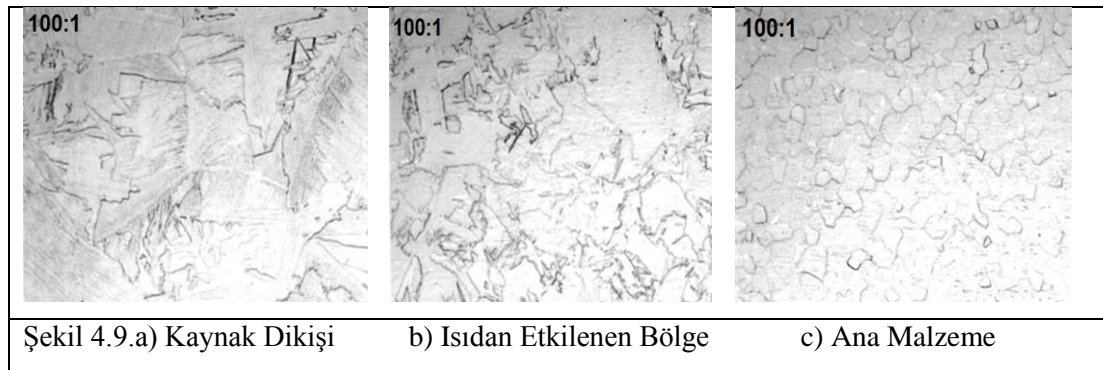
Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi ve Şarj Nosu	Kaynak Ağızı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
3	3.7235 151112	I	Plazma	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	135	Eksi	43 cm/dk	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
2,8 x 25	365 – 433 (~450)	469 (>345)	34	50	Kaynak Dikişi Kenarı



Şekil. 4.8. Tablo 4.4.'teki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskobik görüntüsü [19]

Şekil 4.8.'te Tablo 4.4.'te ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin mikroskobik görüntüsü verilmiştir. Et kalınlığının ince, 3 mm olmasına rağmen numune kaynak sonrasında çarpılmıştır. Buna Plazma yönteminde kaynak ağızı olmadan yapılan birleştirmede daha TIG yöntemine göre daha yüksek akımın tercih edilmesi ve kaynak sarf malzemesi kullanılmamasının neden olduğu düşünülmektedir. Kaynak dikişi ve ısıdan etkilenen bölge mikro yapılarında tane irileşmesi gözlenmektedir. Mikro yapının dikişin çekme dayanımına etkisi Tablo 4.4.'de verilmiştir. Çekme deneyi değerleri, malzeme için kabul edilebilir sınıra yaklaşmıştır. Dikişte gevrekleşme olması beklenmezken, kopmanın kaynak dikişi kenarında olması (Tablo 4.4.) dikişteki tane irileşmesine bağlanabilir.



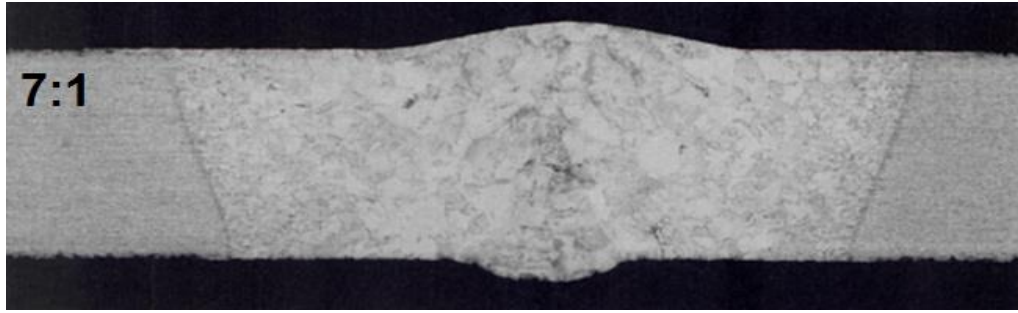


Şekil. 4.9. Tablo 4.4.'teki kaynak şartlarındaki numunenin 100:1 oranındaki mikroskobik görüntüsü [19]

1. Şekil 4.9.a'da kaynak dikişinde tane irileşmesi ile beraber iğneli mikro yapı görülmektedir.
2. Şekil 4.9.b'de ısıdan etkilenen bölgede tane irileşmesi görülmektedir.
3. Şekil 4.9.c'de ana malzemenin ince tane yapısı görülmektedir.

Tablo 4.5. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları [19]

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi ve Şarj Nosu	Kaynak Ağzı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
5,1	3.7235 15858 PD 698	I	Plazma	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	180	Eksi	23 cm/dk	
2	Doğru	150	Eksi	19 cm/dk	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
5,1 x 25	343 – 410 (~450)	476 (>345)	74,7	52	Kaynak Dikişinde



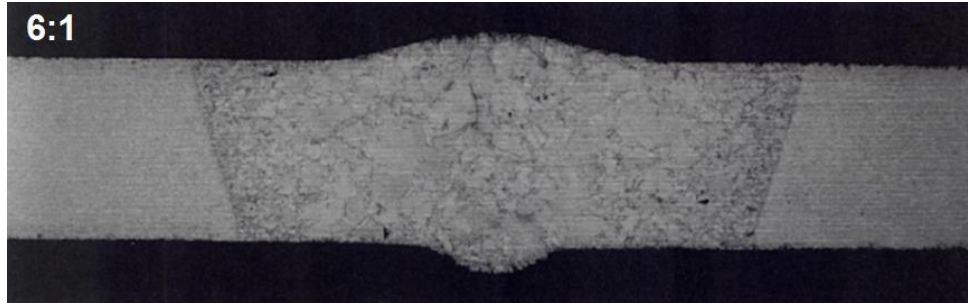
Şekil. 4.10. Tablo 4.5.'teki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskobik görüntüsü [19]

Şekil 4.10.'de Tablo 4.5.'te ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin mikroskobik görüntüsü verilmiştir. Numunede kaynak sonrasında çarpılma görülmemektedir. Mikro yapıda kaynak dikişi bölgesinde tane irileşmesi görülürken ısıdan etkilenen bölgede tane yapısında değişiklik yok denecek kadar azdır. Mikro yapının dikişin çekme dayanımına etkisi Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları [19]

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi ve Şarj Nosu	Kaynak Ağzı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
5,3	3.7235 151221	I	Plazma	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	170	Eksi	23 cm/dk	
2	Doğru	150	Eksi	19 cm/dk	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
5,3 x 25	347 – 392 (~450)	447 (>345)	1,7	50	Ana Malzemedede



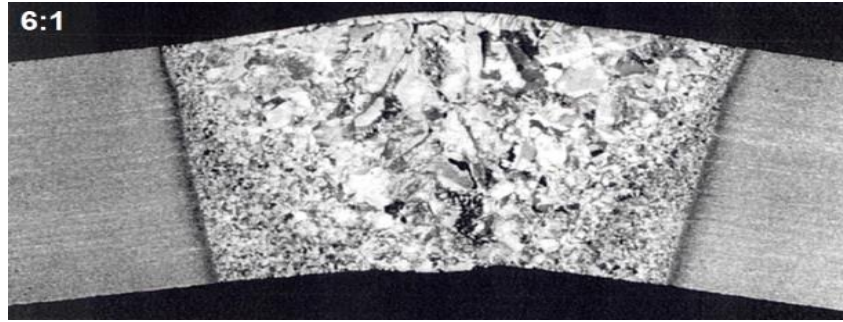


Şekil. 4.11. Tablo 4.6.'daki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü [19]

Şekil 4.11.'de Tablo 4.6.'da ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü verilmiştir. Numunede kaynak sonrasında çarpılma görülmemektedir. Özellikle kaynak dikişi bölgesinde yaygın olarak gözükten siyah noktacıkların, malzemenin iyi temizlenmemesinden veya koruyucu gazın yetersiz kalmasından kaynaklandığı varsayılan gözenekler olduğu tahmin edilmektedir. Mikro yapıda kaynak dikişi bölgesinde tane irileşmesi görülürken ısıdan etkilenen bölgede tane yapısında değişiklik yok denecek kadar azdır. Mikro yapının dikişin çekme dayanımına etkisi Tablo 4.6.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Kaynak parametreleri ve çekme deneyi sonuçları [19]

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi	Kaynak Ağzı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
10,2	3.7235	I	Plazma	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	230	Eksi	15 cm/dk	
2	Doğru	210	Eksi	11 cm/dk	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
7,7 x 25	325 – 374 (~450)	454 (>345)	4,8	51	Ana Malzemede



Şekil 4.12. Tablo 4.7. 'daki kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü [19]

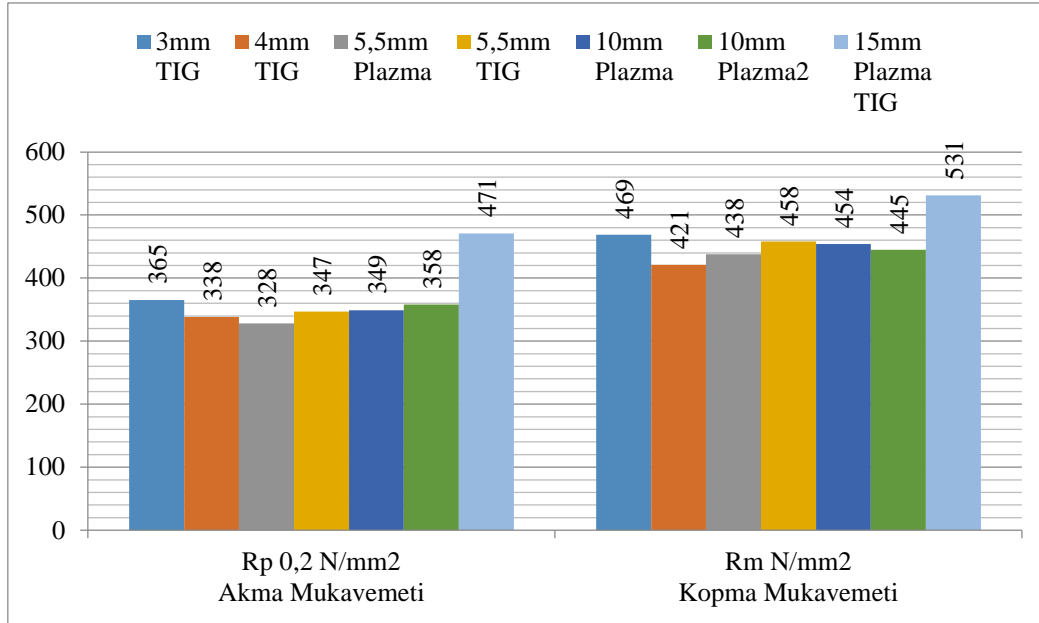
Şekil 4.12.'de Tablo 4.7.'da ayrıntıları verilen kaynak şartlarındaki numunenin mikroskopik görüntüsü verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi termal etkilerle numunede çekme ve deformasyon oluşmuştur. Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru mikro yapı oldukça farklılık göstermektedir. Kaynak dikişinde büyük taneli ve boşluklu bir yapı açıkça görülmektedir. Bu yapıların dikişin çekme dayanımına etkileri Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.8. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları [19]

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi	Kaynak Ağzı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
5,5	3.7235	I	Plazma	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	170	Eksi	22 cm/dk	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
5,4 x 25	347 – 401 (~450)	469 (>345)	4,5	39	Ana Malzemede
Vickers Sertlik Deneyi DIN EN ISO 6507 – 1 , HV10					
Numune	Sertlik Ölçümü	Dikişte	Isıdan Etkilenen Bölgede	Ana Malzemede	
Dikiş üst bölgesi	Sertlik Değeri Vickers	154 – 167 (<236)	165 – 180 (<236)	153 – 166 (<236)	

Tablo 4.9. Kaynak parametreleri, çekme ve sertlik deneyi sonuçları [19]

Et Kalınlığı (mm)	Malzeme Kalitesi ve Şarj Nosu	Kaynak Ağzı	Kaynak Yöntemi	Koruyucu Gaz	
10	3.7235 T737090201/202	I	Plazma	Argon	
Paso Sayısı	Akım Türü	Akım Gücü (A)	Kutup	İlerleme Hızı	
1	Doğru	242	Eksi	17 cm/dk	
2	Doğru	232	Eksi	10 cm/dk	
Çekme Deneyi (DIN EN 895) Sonuçları					
Kesit Ölçüleri axb (mm)	Akma Mukavemeti Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Mukavemeti Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Dikişte % Uzama	Dikişte % Kesit Daralması	Kopma Noktası
9,6 x 20	338 – 383 (~450)	446 (>345)	5	52	Ana Malzemede
9,5 x 20	335 – 386 (~450)	448 (>345)	5	48	Ana Malzemede
9,5 x 20	330 – 376 (~450)	442 (>345)	4	49	Ana Malzemede
Vickers Sertlik Deneyi DIN EN ISO 6507 – 1 , HV10					
Numune	Sertlik Ölçümü	Dikişte	Isıdan Etkilenen Bölgede	Ana Malzemede	
Dikiş üst bölgesi	Sertlik Değeri	150 – 167 (<236)	155 – 165 (<236)	156 – 157 (<236)	
Dikiş üst bölgesi	Vickers	144 – 148 (<236)	149 – 169 (<236)	146 – 156 (<236)	

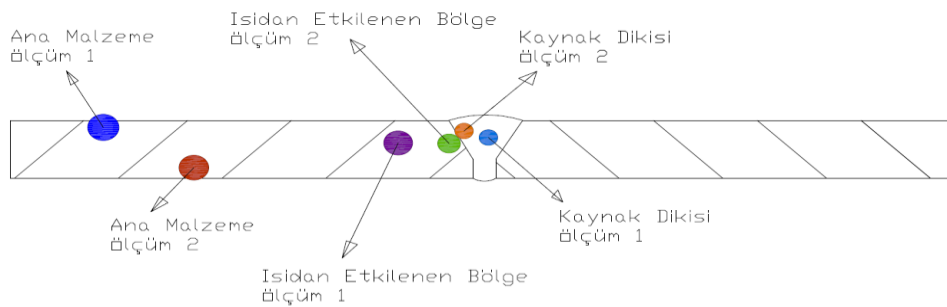


Şekil. 4.13. Çekme deneyi sonuçlarının grafik gösterimi [19]

Numunelere uygulanan çekme deneylerinde elde edilen akma ve kopma mukavemetleri Şekil 4.13.'te bir araya getirilmiştir.

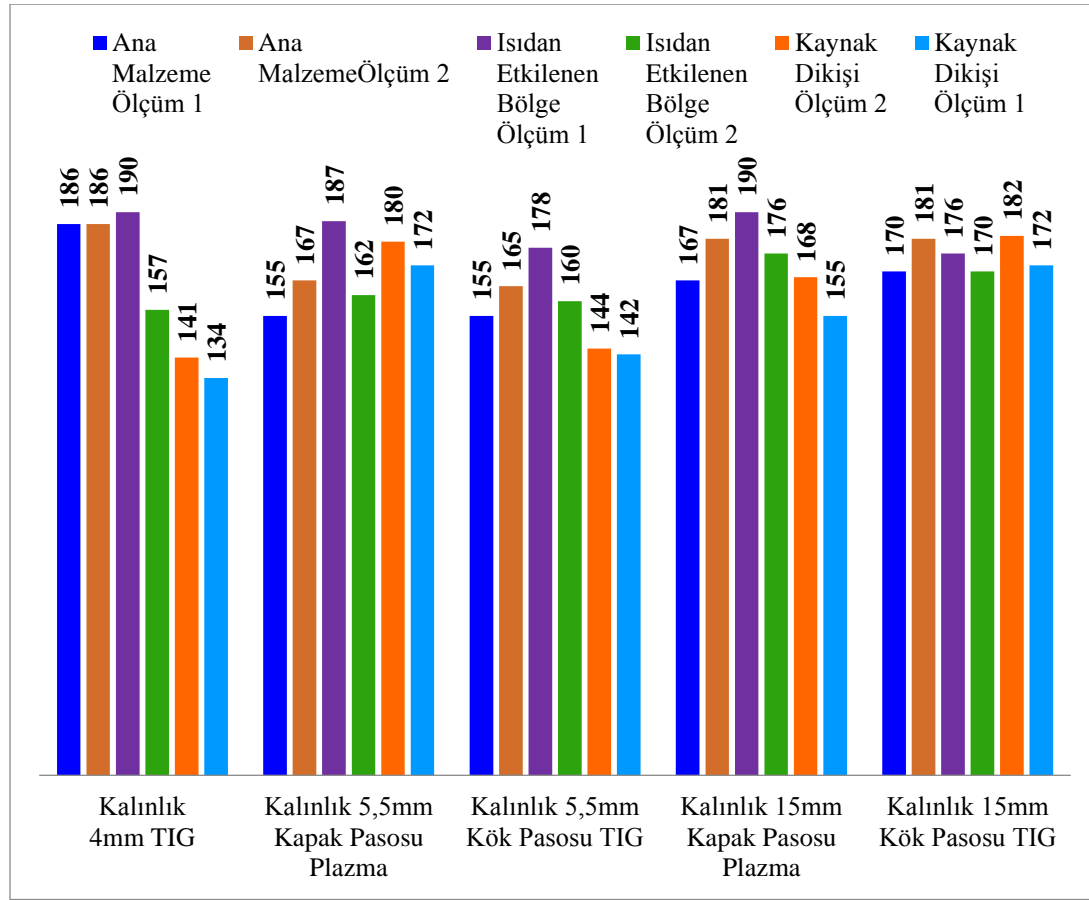
Titanyum için akma mukavemetinin referans büyüklüğü ortalama  $450 \text{ N/mm}^2$  olarak alınmıştır. 3 ile 5,5 mm et kalınlıklarındaki kaynak numunelerinde ortalama akma mukavemeti  $350 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür. Et kalınlığının 15 mm olduğu kaynak numunesinde ise akma mukavemeti  $471 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür.

Kopma mukavemetinin en az  $350 \text{ N/mm}^2$  olması gerektiği kabul edildiğinde, ölçülen tüm numune kaynakları kopma mukavemet değerlerinin  $350 \text{ N/mm}^2$  'yi aştığı görülmektedir.



Şekil. 4.14. Vickers sertlik ölçüm noktaları [19]

Numunelerde sertlik ölçümlerinin yapıldığı bölgeler Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.



Şekil. 4.15. Vickers sertlik ölçümlerinin grafik gösterimi [19]

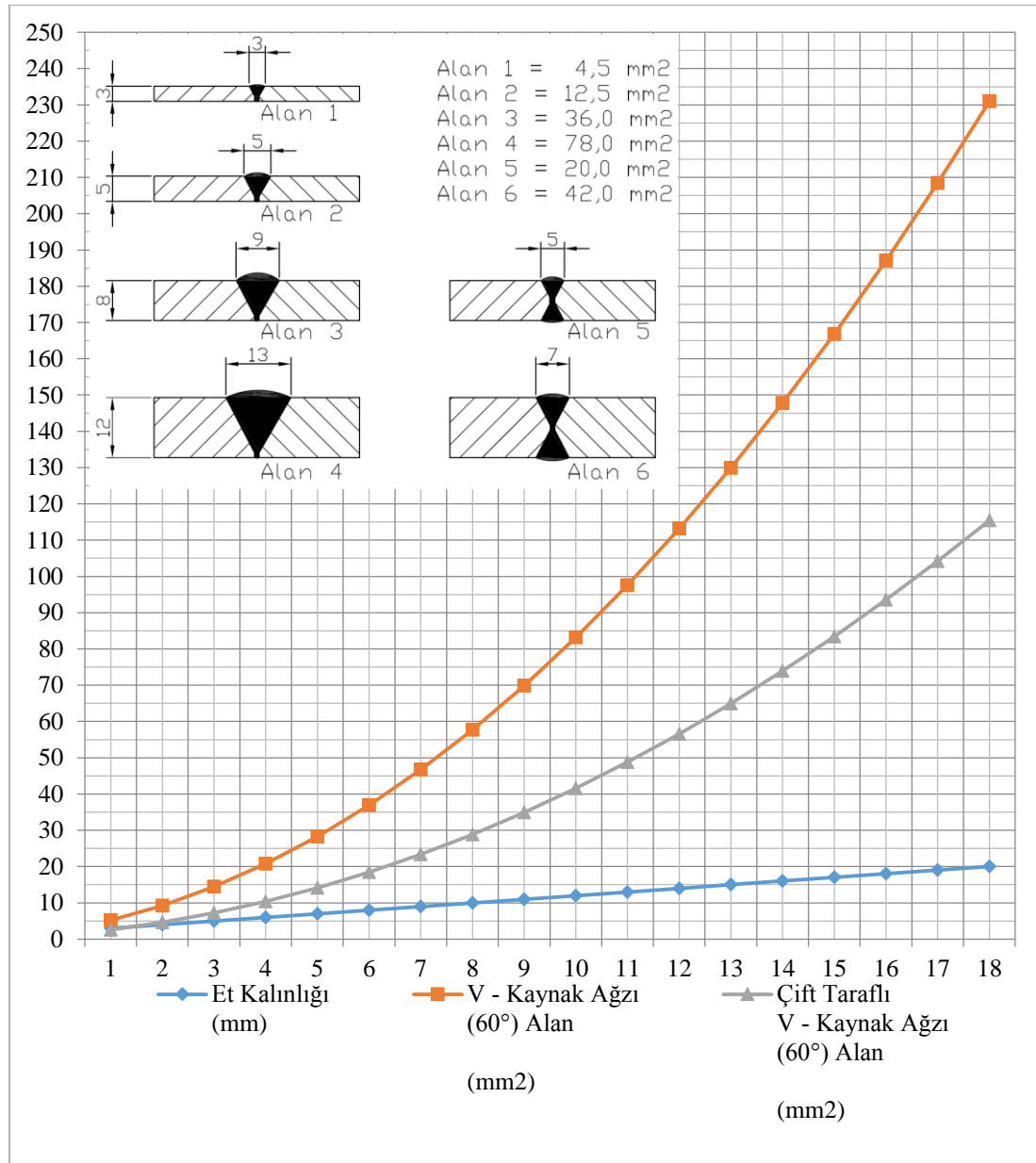
Numunelerin sertlik ölçüm değerleri Şekil 4.15. 'da bir araya getirilmiştir. Ana malzemede yapılan iki farklı ölçümde sertlikte büyük farklar tesbit edilmemiştir. En büyük fark %5 olarak okunmaktadır. Isıdan etkilenen bölge ölçümlerinin birincisinde sertlikte artışlar ölçülmüştür. En büyük artış %20 ile Plazma kaynak yöntemi ile kaynatılan 5,5mm kalınlıktaki numunede tesbit edilmiştir.

Isıdan etkilenen bölge ölçümlerinin ikincisi, kaynak dikişinin hemen kenarındadır ve birinci ölçümlere göre farklılıklar göstermektedir. Bazı numunelerde sertlik %25 oranında daha düşük ölçülmüştür ve bu değerler kaynak dikişi üzerinde ölçülen değerlere yaklaşmıştır.

Kaynak dikişi üzerinde her numune için yapılan ikili ölçümlerde birbirine göre fazla bir fark yoktur fakat ana malzeme sertliğine göre kaynak dikişi sertliğinde bazı numunelerde %20 'den fazla düşüş ölçülmüştür. Fakat diğer ölçüm noktalarına göre kaynak dikişi ölçüm noktalarında sertlikte hem düşüş hem de artış ölçülmüştür.

#### 4.2.2. Sac kalınlığına bağı olarak kaynak dikişindeki değişimler

Sac kalınlığının artırılması ile kaynak parametreleri değişmektedir. Şekil 4.16.' da artan et kalınlığı ile beraber kaynak alanının genişlemesi gösterilmiştir.



Şekil. 4.16. Et kalınlığı ile kaynak alanının (V kaynak ağızı ve çift taraflı V kaynak ağızı) değişimi [19]

Kaynak alanının genişlemesi kendi ile beraber daha büyük çapta TIG kaynak teli kullanımını da ortaya çıkarmıştır. Tel çapını büyütmedeki amaç, kaynak dikişi sıra sayısının makul seviyede tutulabilmesi ve kaynağın makul sürede tamamlanabilmesidir.

Kaynak teli çapının artırılması ise daha büyük çaptaki TIG kaynak telini ergitebilmek için akımın da yükseltilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Akımın değişmesi, voltaj değişikliğini beraberinde getirmiştir.

Kaynak dikişi sayısının artması, iş parçasına aynı bölgede birden çok defa ısı verilmesine ve bundan ötürü iş parçasının hassaslaşmasına neden olmuştur. Malzemenin özelliklerinin bozulmaması için, kaynak dikiş sıcaklığı her ilave dikiş sırasında lazer sıcaklık ölçme cihazı ile sürekli kontrol edilmiştir. Bu hususa dikkat edilmediğinde kaynak esnasında tesbit edilemeyen, dikiş soğudukça kendini gösteren sıcak yırtılmalar olduğu gözlenmiştir. Ayrıca iş parçasındaki çekme oranının kontrolsüz yapılan kaynak dikişin soğuması sonrasında daha belirgin olduğu gözlenmiştir.

Yine artan et kalınlığı ile standart kaynak torcunun iş parçasının kök kısmına kadar ulaşması zorlaşmıştır ve bu nedenle daha büyük çapta TIG fincanları kullanılmıştır. Bu büyüme kullanılması gereken koruyucu gaz miktarını da arttırmıştır. Kaynak esnasında TIG kaynak telinin lastiksi bir hal aldığı ve kaynak dikişinin kenarlarına doğru yapışma isteği gözlenmiştir. Bu etkinin dengelenerek en sağlıklı sonucun alınabilmesi için kaynak teli mümkün olduğunca sıcaklığın en üst değerinde olduğu merkezde (iki parçanın ortasında) tutulmaya çalışılmıştır.

Plazma kaynağında da iş parçasının kalınlığının artmasıyla kaynak dikişi sayısı çoğalmıştır. Kaynak ağzı hazırlığının olmadığı I Kaynaklarda tabana kadar nüfuziyetin sağlanması için akım gücünün yükseltilmesi gerekliliği tesbit edilmiştir. Akımın yükseltilmediği durumda, kaynak yüzeyinden bakıldığında düzgün bir kaynak dikişi görülmesine rağmen tersi çevrildiğinde nüfuziyet eksikliği gözlenmiştir.

### 4.2.3. Akım & voltaj değişimine bağlı olarak kaynak dikişindeki değişimler

Akımın arttırılması daha büyük çaptaki kaynak tellerini ergitmeye, kaynak teli sabit çapta tutulduğunda ise telin ergime hızı arttığından kaynak ilerleme hızını yükseltmeye olanak vermiştir. Akım değerinin iyice arttırılması ise, kaynak telinin gereğinden fazla damlamasına ve iş parçasının delinip kullanılamaz hale gelmesine neden olmuştur.

Elektrik akımının yükseltilmesi ile voltajın da arttığı tesbit edilmiştir. Artan akım ile kaynak arkı kuvvetlenmiş ve daha kalın iş parçaları daha az dikiş sayısı ile tamamlanabilmiştir. Aynı kalınlıktaki iş parçalarında ise ilerleme hızı arttırılabilmektedir.

### 4.2.4. İlerleme hızına bağlı olarak kaynak dikişindeki değişimler

Kaynağın ilerleme hızının arttırılması, düz ve uzun kaynak dikişlerinin daha kısa sürede tamamlanmasına yardımcı olmuştur. Aynı zamanda iş parçasına olan ısı girdisinin böylelikle asgaride kaldığı tesbit edilmiş ve çekmelerin de en aza indirildiği gözlenmiştir.

İlerleme hızı iyice arttırıldığında ise, kaynak dikişinde renklenmeler ortaya çıkmıştır. Yapılan kaynağın gevreklediğinin habercisi olan renklenmelerin önüne geçmek için daha iyi bir gaz koruması sağlanması gerektiği anlaşılarak sonraki kaynaklarda TIG torcuna koruyucu gaz ayakkabısı ilave edilmiştir. Bu ilavenin ardından renklenmeler ortadan kalkmıştır, yani sıcak olan kaynak dikişinin yeterli Argon koruması sayesinde atmosfer gazı ile reaksiyona girmeleri engellenmiştir.

Plazma yönteminde ilerleme hızının arttırılması, üretim süresini kısaltmış ve iş parçasına olan ısı girdisini asgaride tutmuştur. İlerleme hızının belirli bir değeri aştıktan sonra iş parçası ve kaynak dikişinde istenmeyen durumlar gözlenmiştir. Bunlardan en önemlisi, kaynak dikişinde gözenek oluşumu olarak tesbit edilmiştir. Bu haldeki kaynak dikişi, kendisinden istenen mekanik özellikleri karşılayamamaktadır. Gözenekler koruyucu gaz ayakkabısı kullanımına rağmen ortaya çıkmaya devam etmiştir. Daha sonraki deneylerde kaynak teli kullanılarak kaynak denemeleri yapılmış ve kaynak dikişindeki gözeneklenmenin ortadan kalktığı gözlenmiştir.



#### 4.2.5. Kaynak ağzına bağlı olarak kaynak dikişindeki değişimler

Tercih edilen kaynak ağzı şeklinin yapılan kaynağın kalitesini ve üretim masraflarını doğrudan etkilediği belirlenmiştir (Şekil 4.16.). Artan et kalınlığı ile beraber çift taraflı V kaynak ağzının tercih edilmesinin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Tek dezavantaj olarak, iş parçasının hazırlık ve sabitleme işlemlerinin her iki taraf için yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca ikinci taraftan kaynağa başlamadan önce kök kısmının iyice temizlenmesi ve kaynak edilmeye hazır hale getirilmesi gerekmiştir.

Diğer bir alternatif olan U kaynak ağzının uygulanabileceği de düşünülmüştür fakat ciddi bir mekanik işlem gerektiren bu kaynak ağzının hazırlanmasının pahalı oluşu ve kaynakçıların bu kaynağı yaparken tam nüfuziyeti sağlamada zorlandıkları bilindiğinden deney çalışmalarında tercih edilmemiştir.

Plazma kaynağında artan et kalınlıkları ile elektrik akımı yükseltilmesi kaynak arkının malzeme köküne nüfuzu sırasında iş parçasının üst yüzeyinin genişlemesine neden olmuştur. Genişleyen üst yüzey ile kaynak ağzı Y şekline gelmiştir. Bu durumda kaynak TIG yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır. Yapılan denemelerde et kalınlığının arttığı I kaynaklarında bu iki yöntemin birlikte uygulanmasının iyi bir çözüm olduğu tesbit edilmiştir (Tablo 4.3. ve Şekil 4.6.). Bu sayede iki kaynak yöntemi birlikte kullanılarak kaynak malzemesinden de tasarruf edilmiş ve iyi bir kaynak dikişi ortaya çıkarılmıştır.

Plazma yönteminde bu genişlemenin olmadığı durumlarda en iyi kaynak ağzının I olduğuna karar verilmiştir. Çünkü kaynak deneyinde kullanılan farklı et kalınlıklarındaki malzemelerin neredeyse tümü bu şekilde kaynatılabilmektedir ve bu kaynak ağzı şekli diğer şekillere göre en az hazırlığı gerektirmektedir.

## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Tablo 3.1.'de ve boyutları Tablo 3.3.'te verilen Titanyum 3.7235 malzemedeki numuneler TIG ve Plazma yöntemleri kullanılarak kaynaklanmıştır.

Titanyum Grade 7 'nin kaynak edilebilir bir alaşım olduğu yapılan deneysel çalışmalar ile kanıtlanmıştır.

Numunelere tahribatlı (çekme ve sertlik) ve tahribatsız (gözle muayene) test teknikleri uygulanmış ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Hem TIG ve hem de Plazma kaynak yöntemlerinde en önemli kaynak parametrelerinin sırasıyla, akım (A), ilerleme hızı (mm/sn) ve kaynak ağzı şekli olduğu tesbit edilmiştir.

Akımın yeniden ayarlanmasını gerekli kılan birden çok faktör olduğu yapılan kaynak deneylerinde anlaşılmıştır. Bunların başlıcaları olarak malzemenin sahip olduğu et kalınlığı, erişilmek istenen nüfuziyet, tercih edilen kaynak teli çapı ve kaynak ilerleme hızı olduğu belirlenmiştir. Değişen akım değerlerinin, gerilim (Voltaj) değerlerini de değiştirdiği gözlenmiştir. Bu iki büyüklük arasındaki ilişki ayrıca incelenmemiştir. Çünkü kullanılan kaynak makinalarındaki gerilim değerleri, makine tarafından seçilen akım değerine göre otomatik olarak ayarlanmaktadır.

Artan et kalınlığı ve kaynak teli çapı ile sağlıklı kaynak dikişlerinin yapılabilmesi için akım yaklaşık 20 Ampere kadar artırılmıştır.

İlerleme hızının yükseltilmesi ile malzemedeki daha az uzama ve soğuma sonrası daha az çekme ile karşılaşmıştır. Böylece malzemeye olan ısı girdisinin daha az indirgenmiş olduğu sonucuna varılmıştır. Artan akım gücü, kaynak telinin daha hızlı

ergiyip damlamasını mümkün hale getirdiğinden, kaynakçılar kaynak torcunu daha hızlı ilerletebilmişlerdir. İlerleme hızı TIG kaynak yönteminde fazlaca arttırıldığında, kaynak dikişi görünümü bozulmuştur, hatta kaynakçının torcu yeterli hızda ilerletemediği durumlarda ise iş parçası delinmiştir.

Bu olumsuz durum, Plazma kaynağında daha da kötüleşerek kaynak dikişinde gözenekli yapı oluşmasına neden olmuştur (Şekil 2.10.'daki gibi). Koruyucu gazın yetersizliğinden kaynaklanmadığı tesbit edilen bu durum, Plazma kaynak yönteminde kaynak banyosuna kaynak teli verilmesi ile aşılmıştır.

Kaynak ağzı şekillerin, iş parçasının et kalınlığının artmasıyla yapılan işin özellikle ekonomisine aşırı etkisi olduğu tesbit edilmiştir. Ekonomiklik, kullanılan kaynak sarf malzemesi gideri ve harcanan zaman açısından öne çıkmıştır (Şekil 4.16. kaynak alanı hesabı). Kalınlığın artmasıyla, tek taraftan yapılan kaynak işleminin maliyetinin fazla olduğu görülmüştür. Kökten ters bir üçgen şeklinde üst yüzeye doğru büyüyen V Kaynak Ağzı, aşırı miktarda kaynak dolgusuna gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Mikro yapıdaki tane irileşmesinin Plazma yönteminde, TIG yöntemine göre daha belirgin olduğu fakat yine kaynak dikişi sayısı ile doğrudan ilgili olmadığı anlaşılmıştır.

Koruyucu gazın yeterince verilemediği durumlarda, literatürden bilinen gevrekleşme belirtisi olan renklenmeler (bknz. Şekil 2.7. , 2.8. ve 2.9.) tesbit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] KAHRAMAN, N., The influence of welding parameters on the joint strength of resistance spot-welded titanium sheets, *Materials and Design*, 28, 420-427, 2007.
- [2] ATASOY, E and KAHRAMAN, N, Diffusion bonding of commercially pure titanium to low carbon steel using a silver interlayer, *Materials Characterization*, 59, 10, 1481-1490, 2008.
- [3] KAHRAMAN, N., GÜLENC, B., and FINDIK, F., Corrosion and mechanical-microstructural aspects of dissimilar joints of Ti6Al4V and Al plates, *International Journal of Impact Engineering*, 34, 1423-1432, 2007.
- [4] CAMPBELL, F. C., Ed. *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*, ASM International, 2008.
- [5] DONACHIE, M. J, Jr., *Titanium: A Technical Guide*, 2nd ed., ASM International, 2000.
- [6] *Heat-Resistant Materials*, ASM Specialty Handbook, ASM International, 1997.
- [7] *Metals Handbook Desk Edition*, 2nd ed., ASM International, 1998
- [8] *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, Vol 2, ASM Handbook, ASM International, 1990
- [9] BOYER, R., COLLINGS, E.W., and WELSCH, G., *Materials Properties Handbook: Titanium Alloys*, ASM International, 1994.
- [10] *Titanium Reference Library DVD*, ASM International, 2010.
- [11] Merkblatt DVS 2713, *Schweißen von Titanwerkstoffen*, Deutscher Verlag für Schweißtechnik GmbH, Düsseldorf, Deutschland, 2003.
- [12] BRUNE, E., *Titan-Schweisstechnik – Schweisstechnische Verarbeitung von Titan-Werkstoffen*, PanGas, Industriepark 10 Dagmersellen, Switzerland.

- [13] SCHREIBER, F., Verarbeitung von Sondermetallen – Radex-Rundschau Heft 1, 1992, Seite 31-57, Österreich.
- [14] RUGE, J., Handbuch der Schweißtechnik, Band 1: Werkstoffe, Springer Berlin.
- [15] DVS Merkblatt 2713, Schweißen von Titanwerkstoffen, DVS Verlag, Düsseldorf 1987.
- [16] KRÜGER, U., Fügen zukunftsweisender Werkstoffe, Schrift zum 6.Aachener Schweißtechnik-Kolloquium, Seite 109-126, Aachen 1999.
- [17] TRUBE, S., Schutzgasschweißen von A-Z, Schutzgase für Aluminium bis Zirkon, unveröffentlichter Bericht der Linde AG, Höllriegelskreuth 1998.
- [18] GSI SLV., Werkstoffe und deren Verhalten beim Schweißen, Deutschland, 2009.
- [19] Kendi kaynak ve çalışmaları.
- [20] KOBELCO., Kobe Steel Group, 9-12, Kita-Shinagawa 5-chome, Shinagawa-ku, Tokyo 141-8688, Japan
- [21] GOULD, M.L., *Principles of welding technology*, Third Edition, Edward Arnold, A Member of the Hodder Headline Group, London Melbourne Auckland, London, 87-128, 1995.
- [22] JUANG,S., C and TARNG Y. S, “Process parameter selection for optimising the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 122, 33-37, 2002.
- [23] CARY H, B., *Modern welding technology*, Second Edition, AWS, 82-85, 1981.
- [24] SFI-Aktuell 2010, Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, 2010 Deutschland.
- [25] ŞİRİN S., Y, SARI N.Y., ve KALUÇ,E., “Titanyum ve alaşımlarının kaynağı II”, *Makine Magazin Dergisi*, 20, 52-62, 1997.
- [26] COLLIER, J., [weldingtipsandtricks.com](http://weldingtipsandtricks.com) & WeldMonger Enterprises INC 2007-2012.
- [27] EKBLAW, G and COLLIER, J., *Best TIG (GTA) Welding Practices*, Miller Electric Mfg. Co. , 1635 W. Spencer St. Appleton, Usa.

- [28] American Welding Society (2007), Structural Welding Code, Titanium (AWS D1.9), <https://www.awspubs.com/>.
- [29] Titanium Metals Corporation (1997), Titanium Design and Fabrication Handbook for Industrial Applications, <http://www.timet.com/pdfs/ti-handbook.pdf>
- [30] TWI (The World Centre for Materials Joining Technology) and The Titanium Information Group (1999), Welding Titanium, A Designers and Users Handbook, <http://www.twi.co.uk/j32k/protected/pdfs/bpweldti.pdf>
- [31] DONACHIE, Jr., Matthew (2000), Titanium, A Technical Guide, ASM International, <http://asmcommunity.asminternational.org/portal/site/asm/>

## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet KIRAL 1981 yılında İstanbul'da doğmuştur. Babasının 1985 – 1991 yurtdışı görevi esnasında ilkokulu Berlin Almanya'da okumuştur. 1991'de yurda döndükten sonra sırasıyla Cemal Diker İlköğretim Okulu ve Marmara Koleji Fen Lisesi'ni bitirmiştir.

1998 – 2002 arasında Karadeniz Teknik Üniversite'sinde Makine Mühendisliği Lisans öğrenimini tamamlamış ve aynı senenin sonunda genç makine mühendisi olarak Alman Oschatz Enerji ve Çevre Koruma Tesisleri A.Ş. Firması'nda Planlama Mühendisi olarak göreve başlamıştır. Profesyonel çalışma hayatı sırasında Marmara Üniversite'sinde MBA (Master of Business Administration) öğrenimine başlamış ve tamamlamıştır. Bu programı tamamladıktan sonra Sakarya Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.

Çalışma hayatı ve öğrenimi sürerken 2008 yılının sonunda Alman BASF SE şirketinin Ludwigshafen Almanya'da ki merkez üssüne, Uzman Mühendis fonksiyonu ile geçmiştir ve Bakım Onarım Fabrikası'nda imalattan ve planlamadan sorumlu yönetici mühendis olarak çalışmıştır.

2011 yılı Temmuz ayı itibari ile aynı şirket içerisinde Teknik Satınalma Bölümü'nden gelen teklif ile bu bölüme Reaktörler, Basınçlı Kaplar, Isı Eşanjörleri, Silolar ve bunlara ait dahili ve harici ekipmanların uluslar arası tedarikinden sorumlu Global Satınalma Müdürü olarak transfer olmuştur.

Takip eden sene içerisinde Proje Satınalma Müdürü pozisyonuna getirilmiştir ve halen bu görevine devam etmektedir. Üçüncü bir mühendislik firması ile beraber çalışılan yatırım projelerindeki tüm teknik ekipman ve boru hatları temininden sorumludur. Çok iyi derecede Almanca ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.