SAF TİTANYUM (GR2) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

AYDA SELİN YEŞİLTAŞ

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAF TİTANYUM (GR2) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

AYDA SELİN YEŞİLTAŞ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

SAF TİTANYUM (GR2) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Ayda Selin YEŞİLTAŞ tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI
Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ*
Teknoloji Fakültesi Metalurjisi ve Malzeme Mühendisliği, Fırat Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI**
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Şükrü ÇETİNKAYA
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 29/12/ 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Ayda Selin YEŞİLTAŞ

İmza:

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlarken bilgi ve tecrübesiyle bana destek olan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Haluk Kejanlı'ya ilgisinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisans öğrenimimde ve yüksek lisans sürecimde bilgi birikimini benimle paylaşan, desteğini eksik etmeyen ve tez çalışmamda emeği geçen saygı değer hocam Sayın Öğr. Gör. M. Selçuk Keskin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tüm öğrenim hayatım boyunca desteklerini hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xii
ÖZET xiv
ABSTRACT xv
1. GİRİŞ 1
1.1 Problem Tanımı 1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 2
1.3 Tez Düzeni 2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
3. MATERYAL VE METOT 6
3.1. Titanyum ve Alaşımları 6
3.1.1 Titanyumun özellikleri 6
3.1.2 Saf titanyumun özellikleri 6
3.1.3 Titanyum alaşımları 7
3.1.4 Titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri 12
3.1.5 Titanyum alaşımlarının yapılarına göre sınıflandırılması 14
3.1.6 Saf titanyumun üretimi ve alaşımlarının kullanım alanları 15
3.1.7 Titanyumun önemi 17
3.1.8 Titanyumun tarihçesi 19
3.1.9 Dünya'da ve Türkiye'de titanyum endüstrisi 20
3.2. Çelikler 25
3.2.1 Karbon çelikleri 25
3.2.2 Alaşımlı çelikler 26

3.2.3 Takım çelikleri 26
3.2.4 Paslanmaz çelikler 28
3.3 Difüzyon Kaynağı 41
3.4 Difüzyon Kaynağına Etki Eden Parametreler 43
3.4.1 Kaynak sıcaklığı 43
3.4.2 Yüzey şartları 43
3.4.3 Kaynak basıncı 44
3.4.4 Kaynak süresi 45
3.4.5 Kaynak ortamı 46
3.5 Birleştirilecek olan malzemelerin tane boyutları ve mikroyapıları 46
3.6 Difüzyon kaynağı yapılan malzemeler 47
3.7 Difüzyon kaynağı teknikleri 48
4. DENEYSEL ÇALIŞMA 51
4.1 Numunelerin Hazırlanışı 51
4.2 Optik Mikroskop Analizi 53
4.3 Mikro Sertlik Testleri 54
4.4 Çekme Testi 55
4.5 Taguchi Yöntemi, Deneyin Tasarlanması ve Modellenmesi 56
4.6 Varyans Analizi (ANOVA) 57
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 58
5.1 Kaynak Sonrası Mikroyapı Karakterizasyonları 58
5.2 Mikrosertlik Test Sonuçları 60
5.3 Çekme Testi Sonuçları 62
5.4 Deneylerin Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile İrdelenmesi 67
5.5 Sinyal / Gürültü (S/ N) Oranlarının Elde Edilmesi 67
5.6 SONUÇLAR 72
KAYNAKLAR 75

ÖZGEÇMİŞ 88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Titanyum alaşımlarının faz diyagramları a) Kalay, b) Alüminyum, c) Manganez, d) Molibden 8

Şekil 3.2 Ticari titanyumun mikro yapı görüntüleri a) eş eksenli α tane yapısı ve b) iğnesel α tane yapısı 10

Şekil 3.3 HMK β fazının SPH α fazına dönüşümü 11

Şekil 3.4 Martenzitik α′ yapısı 11

Şekil 3.5 Widmanstatten yapısının oluşumu 12

Şekil 3.6 Saf Titanyum Metali (%99, 999) 16

Şekil 4.1 Hassas Kesme Cihazı 52

Şekil 4.2 Difüzyon yapılacak numunelerin şematik görseli 52

Şekil 4.3 Kullanılan deney ekipmanı 52

Şekil 4.4 Optik Mikroskop Cihazı 54

Şekil 4.5 Sertlik testinin prensibi a) Basma ucu b) Köşegen uzunlukları 55

Şekil 4.6 Mikro Sertlik Cihazı 55

Şekil 4.7 Instron BS 8801 Çekme Test Cihazı 56

Şekil 4.8 Kareler toplamı denklemi 57

Şekil 5.1 980°C de kaynaklanmış numulerin mikroyapı görüntüleri 58

Şekil 5.2 1000°C kaynaklanmış numulerin mikroyapı görüntüleri 59

Şekil 5.3 1020°C kaynaklanmış numulerin mikroyapı görüntüleri 59

Şekil 5.4 Mikro sertlik deneylerinde ölçüm yapılan bölgelerin gösterimi 60

Şekil 5.5 980°C'de 60, 70 ve 80 dk bekleme sürelerinde kaynaklanmış numunelerden alınan sertliklerin grafiği 60

Şekil 5.6 1000°C'de 60, 70 ve 80 dk bekleme sürelerinde kaynaklanmış numunelerden alınan sertliklerin grafiği 61

Şekil 5.7 1020°C'de 60, 70 ve 80 dk bekleme sürelerinde kaynaklanmış numunelerden alınan sertliklerin grafiği 62

Şekil 5.8 980°C' de 60 dk, 1 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 62

Şekil 5.9 980°C' de 70 dk, 2 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 63

Şekil 5.10 980°C' de 80 dk, 3 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 63

Şekil 5.11 1000°C' de 60 dk, 2 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 64

Şekil 5.12 1000°C' de 70 dk, 3 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 64

Şekil 5.13 1000°C' de 80 dk, 1 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 65

Şekil 5.14 1020°C' de 60 dk, 3 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 65

Şekil 5.15 1020°C' de 70 dk, 1 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 66

Şekil 5.16 1020°C' de 80 dk, 2 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti..... 66

Şekil 5.17 Çekme Mukavemeti için Taguchi deney dizaynında S/N performans grafiği 69

Şekil 5.18 Çekme mukavemeti için varyans analiz çalışmasının ekran görüntüsü.... 69

Şekil 5.19 Çekme mukavemeti için olasılık grafiği 71

Şekil 5.20 Çekme mukavemeti için yapılan çalışma tablosu..... 71

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Ticari saflıkta olan titanyum malzemelerin genel özellikleri 9
Tablo 3.2 Dünyada maden üretimi ve rezervleri..... 21
Tablo 3.3 Paslanmaz çelik ve sıradan çelik arasındaki fiziksel özelliklerin karşılaştırılması 35
Tablo 4.1 430 paslanmaz çelik-GR2 malzemelerinin kaynak parametreleri 53
Tablo 4.2 430 Paslanmaz Çelik-GR2 Malzemelerin Kaynak Parametreleri..... 53
Tablo 5.1 Taguchi L_9 deneysel tasarım çalışma tablosu 67
Tablo 5.2 Difüzyon kaynak parametreleri ve çekme mukavemeti deney sonuçları .. 68
Tablo 5.3 Her bir parametre için Sinyal/Gürültü (S/N) performans değeri 68
Tablo 5.4 Varyans Analiz Sonuçları 70
Tablo 5.5 Regrasyon polinom denklemi 70

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
µm	Mikrometre
°C	Derece
Ti	Titanyum
Al	Alüminyum
V	Vanadyum
L	Düşük karbon içeriği
GR2	Saf titanyum
Ni	Nikel
C	Karbon
Cr	Krom
Mn	Mangan
Si	Silisyum
S	Kükürt
P	Fosfor
Mo	Molibden
N	Azot
W	Vanadyum
Nb	Niyobyum
HV	Vickers Sertliği
FCl3	Demirtriklorür
CuCl2	Bakırdiklorür
HCl	Hidroklorik asit
HNO3	Nitrik asit
HMK	Hacim merkezli kübik
SPH	Sıkı paket hegzagonal

Kısaltma	Açıklama
AISI	American Iron and Steel Institute
MPa	Megapaskal
mm	Milimetre
TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
SEM	Scanning Electron Microscope
ITAB	Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
XRD	X-ray Diffraction
EDS	Energy Dispersive Spectroscopy
Lt	Litre
Dk	Dakika
S/N	Sinyal/Gürültü
pH	Power of Hydrogen

ÖZET

SAF TİTANYUM (GR2) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Yeşiltaş, Ayda Selin
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI
Aralık 2022, 104 sayfa

Titanyum alaşımları, üstün özellikleri ile beraber pek çok mühendislik alanında ve mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Titanyum yapısı gereği plastik, kağıt ve boya sanayinde kullanılmaktadır. Titanyum ayrıca yüksek hızlı titreşimli parçalarda da kullanılır. Ağırlıklı olarak kimya, savunma, sanayi, havacılık, elektrokimya sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu alanlarda dayanıklı bir metal olarak kullanılır. Paslanmaz çelik, günlük hayatın çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve daha yüksek korozyon direncine sahiptir. Paslanmaz çeliğin kullanım alanında otomotiv sanayine yönelik ısı eşanjörleri alanı da geçerlidir. Düşük karbonlu versiyonlar matbaa veya süt ürünleri ekipmanlarında, kimya endüstrilerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada saf titanyum (GR2) ile ferritik paslanmaz çelik (AISI 430) levhalar, difüzyon kaynağı tekniği ile birleştirilmiştir. Difüzyon kaynağı, 980, 1000 ve 1020°C sıcaklıklarda, 60, 70 ve 80 dakika sürelerde, 1,2 ve 3 MPa basınç altında argon gazı ortamında gerçekleşmiştir. Malzemelere mikro sertlik ve çekme mekanik testleri uygulanmıştır. Sonuçlar Taguchi optimizasyon yöntemi ile Varyans (Anova) analizleri ile incelenip parametrelerin etki oranları belirlenmiştir ve deneyin güvenilirlik yüzdesi saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Difüzyon Kaynağı, GR2, AISI 430, Anova, Taguchi.

ABSTRACT

PURE TİTANİUM (GR2) AND FERRİTİC (430) STAİNLESS STEEL PLATES JOINING BY DİFFUSİON WELDİNG

Yeşiltaş, Ayda Selin
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE
Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI
December 2022, 104 pages

Titanium alloys, with their superior properties, are used in many engineering fields and engineering applications (Siyahjani, 2015). Titanium is used in the plastic, paper and paint industries due to its structure. Titanium is also used in high-speed vibrating parts. It is mainly used in chemistry, defense, industry, aviation, electrochemistry sectors. It is used as a durable metal in these areas. Stainless steel is used in various areas of daily life. It is resistant to high temperature and has higher corrosion resistance. In the field of use of stainless steel, the field of heat exchangers for the automotive industry also applies. Low-carbon versions are used in printing or dairy equipment, in the chemical industries. In this study, pure titanium (GR2) and ferritic stainless steel (AISI 430) plates were joined by diffusion welding technique. Diffusion welding was carried out at 980, 1000 and 1020°C, 60, 70 and 80 minutes, under 1,2 and 3 MPa pressure in an argon gas environment. Microhardness and tensile mechanical tests were applied to the materials. The results were examined with the Taguchi optimization method and the variance (Anova) analysis, the effect ratios of the parameters were determined and the percentage of reliability of the experiment was determined.

Keywords: Diffusion Welding, GR2, AISI 430, Anova, Taguchi.

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Titanyum mineralog ve kimyager olan William Gregor tarafından 1791'de bulunmuştur. Adı; keşfedilmesinden itibaren yaklaşık dört yıl sonra çıkan Yunan çocuk mitolojisindeki Titanların öyküsünden esinlenen Martin Klaproth tarafından verilmiştir. Titanyum dioksitten titanyum metaline erişmek birkaç yüzyıl sürmüştür. İlk titanyum alaşımları 1940'ların sonlarında geliştirilmiştir. Ti-6Al-4V alaşımı piyasada en çok kullanılan titanyum alaşımlarından biridir. Bu nedenle, son 60 yılda Ti-6Al-4V alaşımlarının yoğunluğunu ve özelliklerini iyileştirmek için pek çok çalışma yapılmıştır. Doğada organik halde bulunan titanyum elementi ile vanadyum (V), molibden (Mo), niyobyum (Nb) gibi elementler birleştirilirse baz titanyum alaşımı elde edilmektedir. Titanyum, onu çok yönlü ve popüler yapan güçlü özelliklere sahiptir. Örneğin; düşük özkütleye (4,5 g/cm^3) sahiptir, birim alan başına kuvveti yani özgül dayanımı yüksektir. Kırılma tokluğu, yorulma mukavemeti, çatlak büyüme direnci, düşük sıcaklık tokluğu ve mükemmel korozyon direnci iyidir. Ayrıca birkaç titanyum alaşımının çalışma sıcaklığı özellikle 550^{o}C ile 700^{o}C olmalıdır.

Titanyum alaşımları, akma dayanımı ve yoğunluk (σ0.2/yoğunluk) arasındaki belirli bir ilişkiye göre hafif metal alaşımları, çelik, nikel alaşımları vb. olarak ayrılabilir. Diğer malzeme türlerine göre daha yüksek dayanıma sahiptirler. 500^{o}C civarındaki sıcaklıklarda dahi bu avantajlarını koruyabilirler. Titanyum malzemelerin araştırma ve geliştirme, üretim süreci, karakterizasyonu, değerlendirme yöntemleri; bilim ve teknolojide fizik, kimya, metalurji ve mekanik disiplinleri arasındaki araştırmaları kapsayan en doğru modellerden biridir. Titanyum araştırma ve geliştirmenin ilk aşamalarında deneme yanılma yöntemi önemli bir rol oynamış olsa da, titanyum malzemelerin özelliklerini ve performansını iyileştirmek için son yıllarda birçok disiplinler arası bilimsel arge çalışmaları yapılmıştır. Titanyum malzemelerin araştırılması ve geliştirilmesi özellikle havacılık sektörü için önemlidir. Bu endüstride titanyum malzemeler son birkaç yıl içinde toplam tüketimin büyük bir bölümünü oluşturmayı sürdürecektir (Subaşı ve Karataş, 2012).

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Dünyada ve Türkiye'de son zamanlarda 430 paslanmaz çelik çubuk ve bu kalitedeki malzemelerin üretimi hızla artmıştır. Bu kalitedeki malzemeler hareketli parçalar ve çarpışan parçalar için önerilmez. 430 paslanmaz çelik çubuk, birbirinden farklı şekillerde işlenmektedir. Bununla beraber dekoratif yapılarda, çamaşır makinelerinde, otomotiv sektöründe, pürüzsüz yüzeylerin olması gereken uygulamalar üzerinde, mutfak eşyalarında ve ev aletlerinde kullanılmaktadır. Bununla beraber özellikle de kullanıldığı alan buzdolabı ve bulaşık makinesidir. Tüm bu malzemelerde 430 paslanmaz çelikler kullanılır (Kurt, 2005)

Paslanmaz çelik, diğer paslanmaz çelik türlerine kıyasla yüksek mekanik mukavemetinin yanı sıra stres korozyonu, çatlama ve oyuk korozyonuna karşı yüksek direnci ile öne çıkar. Bu amaçla nükleer tesislerde, petrol ve gaz boru hatlarında, kimya tesislerinde ve deniz alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemenin erime sıcaklığı altında olan sıcaklıkta, birleştirilen parçalara, plastik deformasyona neden olmayan difüzyon kaynağı, bir süre boyunca basınç uygulanarak yapılan bir katı hal birleştirme tekniğinden oluşmaktadır. Bununla beraber bir katı hal kaynak tekniği olan difüzyon kaynağı daha farklı tipteki malzemelerin kaynağı için de uygun olarak kullanılmaktadır. Bununla ilgili örnek verildiğinde, titanyum alaşımlı malzemeyle; çelik arasında güçlü bir bağ oluşturan, aynı zamanda malzemede oluşabilecek yüksek sıcaklıkların olumsuz olarak etkilerinin ortadan kaldırılmasına dayanan bir kaynak yöntemidir (Kurt, 2005). Ayrıca kaynak sırasında deformasyon olmadan karmaşık şekillere sahip parçaların üretilmesi için umut verici bir teknolojidir (Keskin, 2019). Difüzyon işlemi, temel olarak sıcaklık, basınç, zaman ve ara yüzey yapıştırma olarak ayrılabilen kaynağın kalitesini belirleyen belirli parametrelerde gerçekleştirilir (Delice, 2021).

1.3. Tez Düzeni

Bu çalışmada öncelikle kavramsal ve kuramsal çerçeve ele alınmış daha sonra ise analiz kısmı yapılarak sonuç ve değerlendirme yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yıldız çalışmasında ferritik paslanmaz çelik ile saf titanyum levhaları nikel ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Çalışması sırasında 800, 825, 850 ve 875^{o}C olmak üzere dört sıcaklık ve 15, 30, 60 ve 120 dakika dört bekleme süresi kullanmış, basıncı 3 MPa değerinde ise sabit tutmuştur. Kaynaklı numunelere çekme ve sertlik testi uygulamıştır. Ayrıca kaynak bölgesinin mikro yapısını incelemiştir. Bu incelemelere göre 850^{o}C' de 30 dakika bekleyen numune en yüksek 214 MPa değerinde çekme mukavemeti göstermiştir. Ayrıca sıcaklık ve sürenin artmasıyla birlikte difüzyon miktarının arttığını gözlemlemiştir. Nikel ara tabakanın düşük sıcaklıklarda numunede belirgin şekilde gözlemlendiğini, yüksek sıcaklıklarda ise yok olduğunu belirtmiştir.

Sapan çalışmasında saf titanyum ile bakır çubukları AA 1050 standardında alüminyum ara tabaka kullanarak ile difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Çalışması sırasında deney numunelerine üç farklı sıcaklık (650,700 ve 750^{o}C), üç farklı bekleme süresi (25, 50 ve 75 dakika) ile üç farklı basınç (2, 3 ve 4 MPa) uygulamıştır. Kaynaklı numunenin mikro yapısı incelenmiştir. Kesme testi uygulanmıştır bu testin sonucuna göre Taguchi analiz metodu uygulanmış ve en etkili kaynak parametresinin %63.86 oranıyla difüzyon sıcaklığı olduğu belirtilmiştir. Ardından sırasıyla %63.03 oranı ile basıncın ve %62.10 oranıyla bekleme süresinin geldiği saptanmıştır. Yine bu metoda göre en iyi sonucu 750°C' de 75 dakika bekleme süresinde ve basıncın 4 MPa olduğu durumda elde edilebileceği belirtilmiştir. Kesme testinin en yüksek değeri 750^{o}C sıcaklıkta, 75 dakika bekleme süresinde ve 3 MPa basınç altında 1719 N olarak ölçülmüştür.

Atasoy çalışmasında saf titanyum ile düşük karbonlu çelik levhaları gümüş ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Çalışmasını argon gazı altında gerçekleştirmiş. Çalışmasında dört farklı sıcaklık (700, 750, 800 ve 850^{o}C) ve dört farklı bekleme süresi (30, 60, 90 ve 120 dakika) kullanmış, basıncı (3 MPa) ise sabit tutmuştur. Sertlik ve kesme testleri uygulanmıştır, mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Alınan sertlik değerlerine göre en yüksek sertlik değerleri bağlacının olduğu kısımda tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre 700^{o}C' de 30 ve 60 dakika bekleme sürelerinde difüzyon gerçekleşmediği belirtilmiştir. Kesme testine göre en yüksek kopma yükü 850^{o}C' de 90 dakika bekleme süresinde 3222,8 N olarak ölçülmüştür.

Kejanlı ve arkadaşları çalışmalarında saf titanyum ve Ti6Al4V titanyum alaşımını difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Çalışma sırasında basınç (5 MPa) ve bekleme süresi (55 dakika) sabit tutulmuştur. Deneyin değişken parametresi 850, 900, 950ºC değerlerinde üç farklı sıcaklık olmuştur. Mikro sertlik değerleri alınmış, SEM-EDS ve bindirme-kayma testi uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre en iyi sonuç 950 ºC sıcaklığındadır. Malzemeler sorunsuz birleşmiştir.

Kaya çalışmasında 304 ve 430 paslanmaz çelikleri üç farklı kaynak yöntemiyle birleştirmiştir. 3 mm kalınlığındaki levhalar TIG, örtülü elektrod ve MIG kaynak yöntemi kullanılarak sorunsuz birleştirilmiş ve tüm deney numunelerine uygulanan çekme testinde kopmanın 430 paslanmaz çeliğin ana malzemesinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Çekme testi en yüksek değeri TIG kaynağında vermiş ve 545,70 MPa olarak ölçülmüştür. Mikro sertlik testinin en yüksek değeri örtülü elektrod kaynak yönteminde vermiş olduğu belirtilmiştir. Çentik darbe testinde en yüksek değeri TIG ve MIG kaynağı vermiş değeri 29 J olarak ölçülmüştür. Ayrıca numunelerin mikro yapıları incelenmiştir.

Delice çalışmasında 1,4462 dubleks paslanmaz çelikleri nikel ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir.. Çalışmasında deney numunelerine üç farklı sıcaklık (1000, 1050 ve 1100ºC), iki farklı bekleme süresi (1 ve 2 saat) ve iki farklı basınç (5 ve 10 MPa) uygulamıştır. SEM-EDS testi uygulanmış ve numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Deney sorunsuz gerçekleşmiştir. Deney sonuçlarına göre difüzyonun en iyi gerçekleştiği ve ara tabakanın kalınlığının arttığı parametreler 1100ºC' de 2 saat bekleme süresidir. Kalınlık en yüksek 72.6 mikron olarak ölçülmüştür.

Kitapcı çalışmasında AISI 4340 ıslah çeliği ve AISI 316 paslanmaz çeliği difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Çalışmasını 10 MPa sabit basınç altında, 1 ve 2 saat bekleme sürelerinde, 900-1000-1100 ºC sıcaklıklarında gerçekleştirmiştir. SEM-EDS testi yapılmış. Numunelerin mikro yapıları incelenmiştir. 900ºC' de 1 saat süreyle bekleyen numuneden alınan sertlik değerlerinin sonuçlarına göre difüzyonun yeterli olmadığı

belirtilmiştir. En yüksek sertlik değeri 1100ºC' de 2 saat bekleme süresinde 487,2 HV olarak ölçülmüştür.

Fidan çalışmasında saf alüminyum ile saf bakırı difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Bu çalışma daha önce yapılmış ve en uygun parametreleri belirlenmiş olan bir çalışmanın devamı olarak yapılmış ve 560ºC' de, 4 MPa basınç altında ve 60 dakika bekleme süresinde gerçekleşmiştir. Kaynak işleminden sonra mikro yapı incelenmiş ve SEM-EDS testi uygulanmıştır. Kaynak sorunsuz gerçekleşmiştir. Kaynak sonunda alüminyumun akma gösterdiği ancak bakırın değişmediği gözlemlenmiştir.

Bilgin çalışmasında 304 paslanmaz çeliği ile Ti6Al4V alaşımını bakır ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. Çalışması sırasında 830, 850 ve 870ºC olmak üzere üç sıcaklık ve 50, 70 ve 90 dakika üç bekleme süresi kullanmış, basıncı ise 1 MPa değerinde sabit tutmuştur. Kaynaklı numunelerin mikro yapıları incelenmiş ve SEM-EDS testi uygulanmıştır. Çıkan sonuçlara göre bakır ara tabaka ile 304 paslanmaz çelik arasında difüzyonun gerçekleşmediği belirtilmiştir. Bakır ile Ti6Al4V alaşımı arasındaki difüzyonun kaynak sıcaklığı ve bekleme süresine bağlı olarak arttığını belirtmiştir. Kesme testi uygulanmış ve en yüksek kesme değeri 870ºC sıcaklıkta, 90 dakika bekleme süresinde 118 MPa olarak ölçülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Titanyum ve Alaşımları

Titanyum alaşımları, akma dayanımı ve yoğunluk (σ0.2/yoğunluk) arasındaki belirli bir ilişkiye göre hafif metal alaşımları, çelik, nikel alaşımları vb. olarak ayrılabilir. Diğer malzeme türlerine göre daha yüksek mukavemete sahiptirler (Subaşı ve Karataş, 2012).

3.1.1 Titanyumun özellikleri

Titanyum alaşımlarının çeşitleri, oldukça yüksek ve düşük olan sıcaklıklarda sunmuş olduğu yüksek mukavemet, sertlik, düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci ve tokluk gibi özellikleri ile havacılık sektöründe ve başka yüksek performanslı uygulamalarda önemli bir ağırlık tasarrufu sağlamaktadır. Atom numarası 22 olan titanyumun akb cinsinden atomik kütlesi 47.88'dir. Titanyum, doğada bol miktarda bulunan hafif, güçlü, korozyona dayanıklı bir elementtir (Oyar, 2015). Titanyum ve alaşımlarının çekme dayanımı 30.000 - 200.000 Psi (210-1380 MPa) arasındadır. Bu değerler çoğu eşdeğer çelik alaşımı için geçerli değildir. Titanyum, alaşımlama deformasyon işlemiyle güçlendirilebilen düşük yoğunluklu bir elementtir. Termal genleşme katsayısı, çelik ve alüminyum alaşımlarının yarısından daha azdır (Güven vd., 2022).

Titanyumun en önemli özelliklerinden biri erime noktasının çok yüksek olmasıdır. Bu erime noktası çelikten yaklaşık 400°F ve alüminyumdan 2000°F daha yüksektir. Titanyum pasifleştirilebilir ve çoğu asidik mineral ve klorüre karşı oldukça dirençlidir. Titanyum toksik değildir ve genellikle insan kemiklerine ve dokularına uyum sağlar (Semerci, 2014). Mükemmel korozyon direncine sahiptir ve doğa ile uyumlu olması nedeniyle kimya, petrokimya, denizcilik ve biyomalzeme uygulamalarında kullanılabilir. Titanyum iyi bir elektrik iletkeni değildir. Titanyum iletkenliği %3.1 olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle, elektriksel iletkenliğin gerekli olduğu yerlerde titanyum kullanılmaz. Başka bir karşılaştırma yapacak olursak, paslanmaz çelik %3,5 iletkenliğe sahipken, alüminyum %30'dur. Direnç, elektron akışına karşıdır. Titanyumun iletkenlik özelliği düşüktür bu nedenle elektrik direnci yüksektir (Demirören ve Yılmaz, 2020).

3.1.2 Saf titanyumun özellikleri

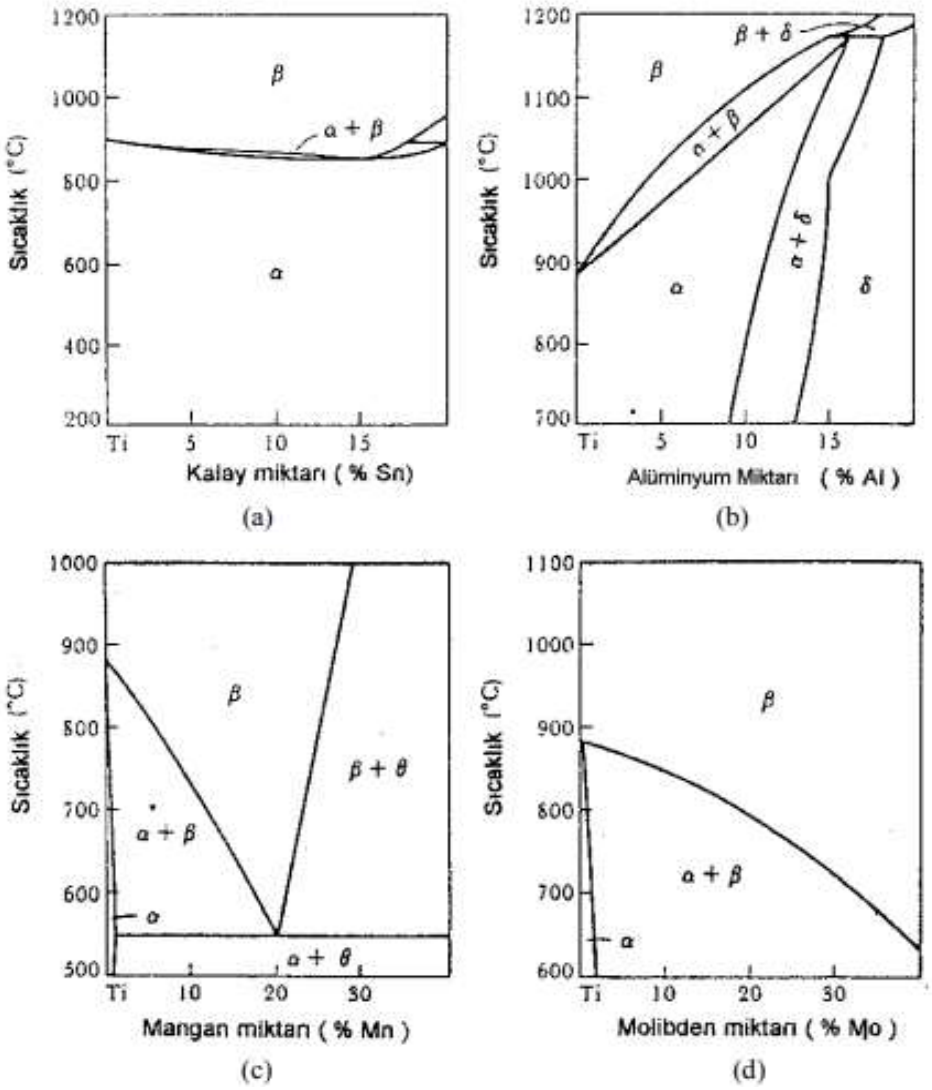
Titanyum, yüksek mukavemet-ağırlık oranıyla bilinen metalik beyaz bir elementtir. Aynı zamanda titanyum, düşük özkütleye sahip, hafif ama kuvvetli bir metaldir. Bununla beraber saf hali esnek bir yapıya (özellikle de oksijen yokluğunda) sahip olmakla beraber parlak metalik beyaz bir renktedir. Suda çözünmeyen saf titanyum, asıl olarak konsantre asitlerde çözünmektedir (Bartın Üniversitesi, 2008).

3.1.3 Titanyum alaşımları

Titanyum, oda sıcaklığında altıgen kapalı paket (SPH) kristal yapıdaki alfa fazının yaklaşık 885°C'de vücut merkezli kübik (HMK) yapıdaki beta fazına dönüştüğü allotropik yani kristal yapısı kimyasal olarak birçok geometrik şekilde bulunan bir malzemedir. Saf titanyum için kristal yapısının değişeceği bu sıcaklığa beta geçiş sıcaklığı denir. Beta geçiş sıcaklığı, alfa fazını stabilize eden ara elementler ile nitrojen, oksijen ve karbon vs. kuvvetli etkisi ile artış göstermektedir. Bunun yanı sıra ise içindeki alaşım elementlerinin etkisi ile azalma gösterir ya da tam tersine artış göstermektedir (Oyar, 2015). Bazı alaşım elementleri alüminyum, karbon, germanyum, oksijen, azot ve galyum gibi titanyumun kristal yapısında alfa fazını kararlılığını artırarak alfa-beta geçiş sıcaklığını da arttırmaktadır. Beta fazını stabilize eden ve geçiş sıcaklığını düşüren iki küme element vardır. Birinci küme izomorfik grup olarak adlandırılır. Bu grup; molibden, niyobyum, tantal ve vanadyum elementlerini içerir ve beta fazında tamamen çözünürler (Al-Rubaye, 2021). İkinci küme ise titanyum ile birleştiğinde ötektoid alaşımlarını oluşturan elementleri içermektedir.

Ötektoid sıcaklığı, saf titanyumun geçiş sıcaklığından 333°C daha düşüktür. Bu gruba ait olan elementler manganez, kobalt, demir, krom, nikel, silikon ve bakır gibi elementlerdir. Bu elementlerin α fazındaki çözünürlüğü düşüktür ve faz geçiş sıcaklığı düşüktür (Çelik, 2014). Bu beta-izomorfik elementler, beta fazını stabilize etmek ve yüksek sıcaklık kullanımında görülen intermetalik bileşiklerin oluşumunu azaltmak veya önlemek için alaşıma eklenmelidir (Güleç ve Çakmakkaya, 2013). β-izomorfik grubun elementlerinden molibden, ötektoid grubundan mangan ve alfa fazını belirleyen kalay ve alüminyum; titanyum ile oluşturulan faz diyagramı aşağıdaki

şekilde gösterilmiştir. Hem α hem de β fazlarında iyi çözülebilen elementler kalay ve alüminyumdur (Gökdemir, 2005).



Şekil 3.1 Titanyum alaşımlarının faz diyagramları a) Kalay, b) Alüminyum, c) Manganez, d) Molibden

Şekil 3.1'deki (Gökdemir, 2005) elementler hem α+β alaşımlarında hem de α ve β fazlarında hemen hemen homojen bir şekilde dağılmıştır. Bu elementler beta alaşımlarında beta fazını daha dayanıklı ve kararlı hale getirir. Bununla beraber dönüşüm özelliklerini modüle etmektedir. Nerdeyse bütün ticari amaçla kullanılan titanyum alaşımlarının içerisinde bu elementlerden en az biri veya daha fazlası mevcuttur. Bu alaşım elementleri α ve β fazlarında çözünebilmektedir. Ayrıca α fazının sürünme mukavemetini kısmen arttırabilmektedir (Çetin, 2019).

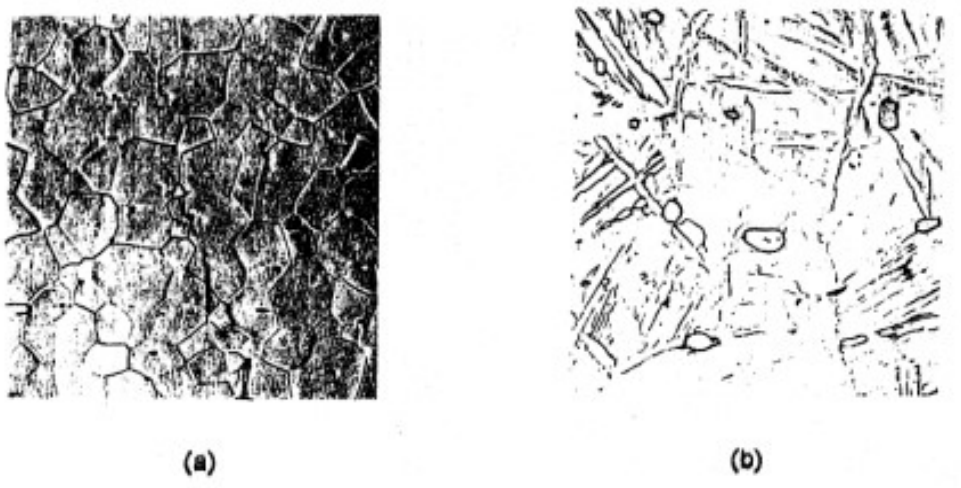
Ticari amaçla kullanılan titanyum %98.635 - %99,5 saflıkta titanyum içermektedir. Titanyum oda sıcaklığında sıkıca paketlenmiş altıgen bir yapıya sahip α fazı olarak bulunur. Hacim merkezli kübik bir yapıya sahip β fazına ise 885 °C'de geçiş yapar. Bu geçiş esnasında, her iki fazın birden görüldüğü sıcaklığın aralığı azdır. Aşağıda verilen tablo, farklı CP Ti dereceleri için α ve β geçiş sıcaklıklarını verir. Ticari CP Ti, eklenen element içeriğine göre 1-7 dereceler arasında 5 gruba ayrılır. 1-7 dereceleri arasındaki en önemli fark, oksijen içeriğidir (Ayday, 2020).

Tablo 3.1 Ticari saflıkta olan titanyum malzemelerin genel özellikleri

ASTM STANDARDI	Akma Muk (MPa)	Çekme Muh (MPa)	Dönüşüm Sıcaklıkları (°C)		Katkı Elementleri (mak % ağırlıkça)					
			Alfa (α)	Beta (β)	N	C	H	Fe	O	Pd
Grade 1	170	240	888	880	0,03	0,10	0,015	0,20	0,18	0
Grade 2	280	340	913	890	0,03	0,10	0,015	0,30	0,25	0
Grade 3	380	450	920	900	0,05	0,10	0,015	0,30	0,35	0
Grade 5	280	340	913	890	0,05	0,10	0,015	0,30	0,25	0,2

Yüksek mukavemetin gerekli olmadığı ancak korozyon direncinin çok önemli olduğu uygulamalarda, CP Ti genellikle ilk tercihtir. Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi akma mukavemeti 170 MPa - 450 MPa arasındadır. Eklenen bu elementler içinde oksijen ve demir daha önemli olanlarıdır. İçeriğinde bu elementlerinin artmasıyla CP Ti'nin çekme dayanımı ve akma dayanımı da artar. Alaşımsız titanyumun oda sıcaklığında mikro yapısı %100 alfa fazıdır (Çavuşoğlu, 2020). Başta demir olmak üzere katkı maddelerinin miktarı arttıkça mikro yapının tane sınırlarında az ama artan miktarda beta fazıyla karşılaşılır. Tavlama koşulu altında, CP Ti'nin mikro yapısı koaksiyel veya asiküler olabilir.

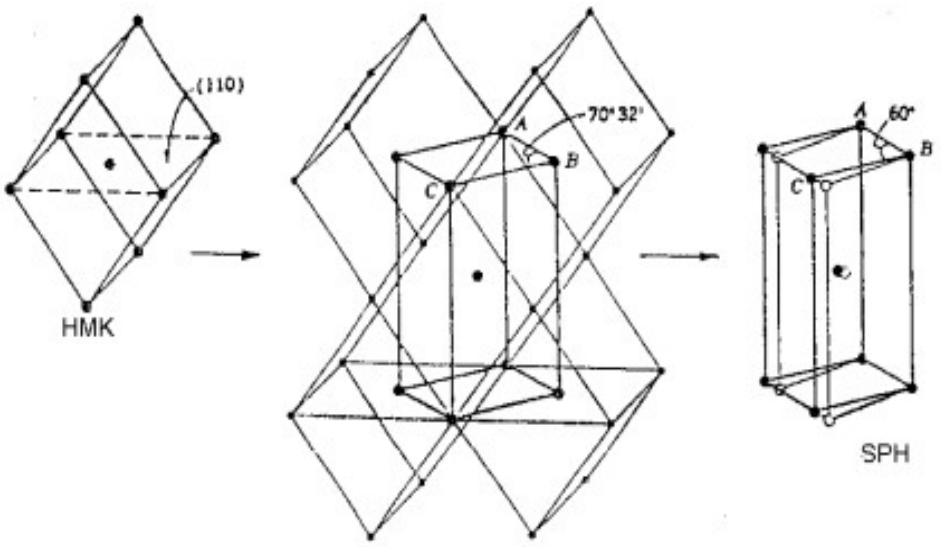
Beta fazından alfa fazına geçişte uygulanan soğutma hızı asiküler alfa fazının oluşturur. Soğutma hızı artış gösterdikçe pin alfa plakasının genişliği azalmaktadır. Koaksiyel α, yeniden kristalleşme tavlamasının sonucudur. Mikroyapıdaki iğne benzeri alfa fazlarının görünümü, malzemenin beta geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtıldığını da gösterir. Koaksiyel ve iğne benzeri mikro yapılar aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Gökdemir, 2005).



Şekil 3.2 Ticari titanyumun mikro yapı görüntüleri a) eş eksenli α tane yapısı ve b) iğnesel α tane yapısı

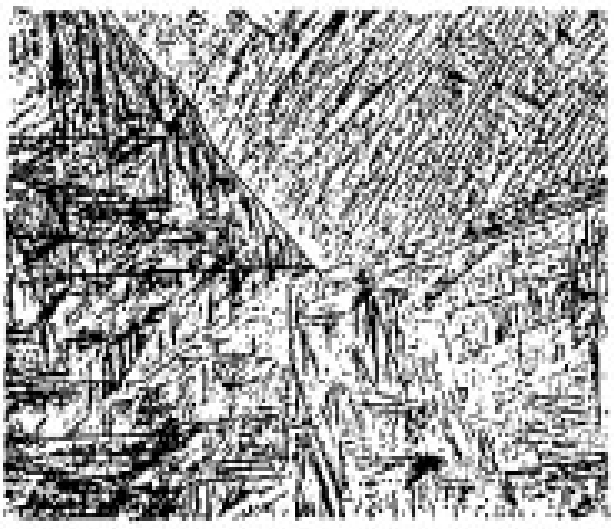
Titanyum ve alaşımlarının mikro yapıları eş eksenli ve iğneli iken birbirinden farklı özellikler sergilemektedir. Örneğin, koaksiyel yapısına sahip bir alaşım; sünekliliği ve mukavemeti yüksektir. Şekillendirilebilirliği ve stres korozyonu çatlamasına direnci yüksektir. Birleştirilmiş iğne benzeri yapıya sahip bir alaşım; çok iyi sürünme direncine ve iyi bir kırılma tokluğuna sahiptir (Yavuz ve Yamanoğlu, 2022).

β fazından hızlı soğutma ile β fazının α fazına dönüşümü; soğutma hızı ne olursa olsun CP Ti'de α fazının oluşumu engellenemez. Ancak azaltılabilmesi ve oda sıcaklığında mikro yapıda β bulunması beklenmektedir. Kimyasal bileşim, beta fazından alfa fazına geçiş aşamasında değişmez. Ancak bu aşamada kristal yapı değişmektedir. Aşağıdaki şekilde HMK β fazından SPH α′ fazına geçiş gösterilmiştir (Gökdemir, 2005).



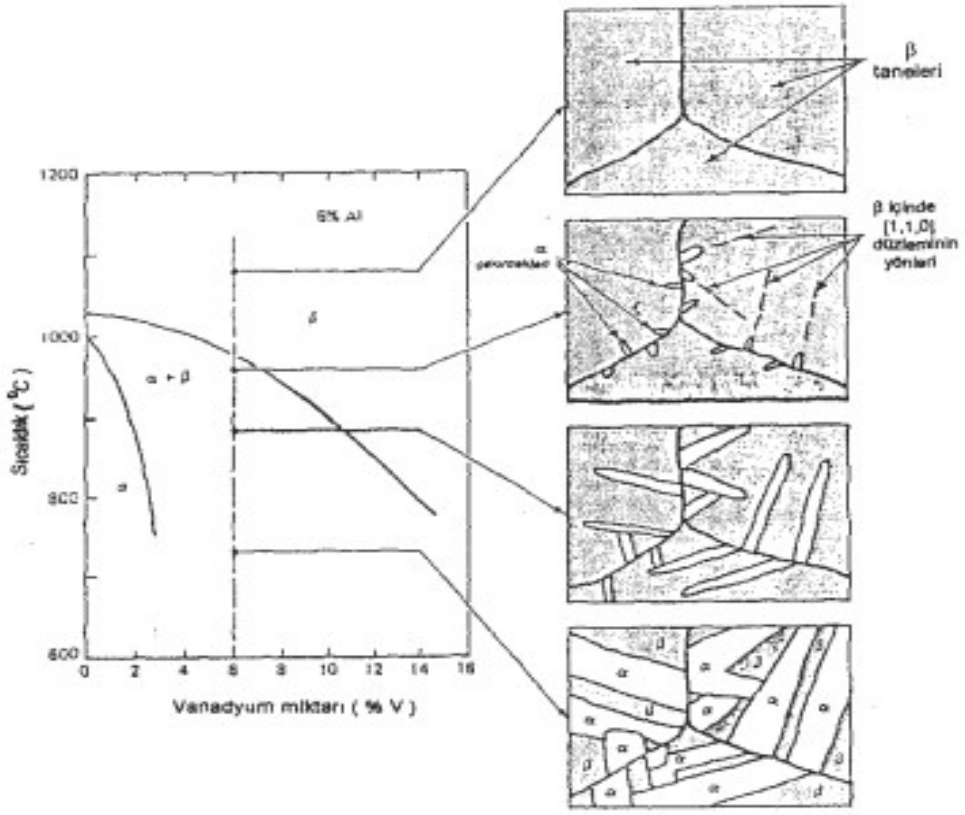
Şekil 3.3 HMK β fazının SPH α fazına dönüşümü

αT yapısı martenzitik dönüşümle oluşur. Bu yapı difüzyon olmayan β fazının dönüşmesi ile oluşan kararsız bir α(SPH) yapıdır. Görünümü iğneye benzer tıpkı çelikteki martenzit oluşumu gibi. Ancak bu yapıyı daha kavisli yüzeylere sahip iğne benzeri alfa fazından ayırt etmek oldukça zordur (Murathan ve Kılıçlı, 2016). Ancak iğnemsi alfa fazının daha yuvarlak kenarlara sahip olduğu, martenzitik alfa′ fazının ise daha düzgün kenarlara sahip olduğu söylenebilir (Gökdemir, 2015). Martenzit α′ yapısının mikro yapı görüntüsü aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Martenzitik α′ yapısı

Titanyum ve alaşımlarının ısıl işlem sonrası mikro yapısında β fazından dönüştürülmüş α fazı olmakla birlikte, "birincil α" olarak adlandırılan dönüştürülmemiş bir faz da vardır. Daha sonra dönüştürülen α fazı, iğnemsi, tabular, Wiedemannit veya martensitik yapı olarak adlandırılan farklı bir yapıya sahiptir (Köse ve Karaca, 2019). Aşağıda verilen şekilde gösterildiği gibi, Widmanstatten yapısı olan iğne benzeri a'nın oluşumunu modellenebilir. Widmanstatten yapısına örnek olarak Ti6Al4V alaşımının β fazından itibaren soğumaya başlama aşamasında, mikro yapı içerisinde α taneleri büyümeye başlar ve atomların β tanelerinde en çok olduğu düzlemde ilerler. Bu nedenle, Widmanstatten biçiminde dönüştürülmüş beta fazı oluşmuş olur (Gökdemir, 2015).



Şekil 3.5 Widmanstatten yapısının oluşumu

3.1.4 Titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Önceki uygulamalarda titanyum esas olarak yapısal mühendislik parçaları yapmak için kullanılıyordu. Düşük yoğunluklu, yüksek çekme mukavemetli ve yüksek sıcaklık dayanımına sahip titanyum alaşımlarının geliştirilmesi ile 1950'lerde havacılık endüstrisi için büyük önem kazanmıştır (Uzun ve Bayındır, 2010).

Korozyon dirençlerinin çok yüksek olması sebebi ile özellikle de gıda ve kimya alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Özer, 2021). Bunun yanı sıra ise titanyum ve alaşımları, enerji üretiminde, otomotiv endüstrisinde, dişçilikte, petrokimya endüstrisinde ve tıbbi uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Oldukça iyi bir korozyon direncine ve biyouyumluluğa sahip olan titanyum ve alaşımları, asıl olarak düşük aşınma dirençleri sebebi ile biyomalzeme olarak kullanımı oldukça sınırlıdır (Çelik, 2015).

Titanyumun oksijene afinitesi yüksektir ve 20-24 ºC gibi düşük sıcaklıklarda bile oksijenle etkileşime girerek titanyum üzerinde titanyum dioksit (TiO2) tabakası oluşturur. Titanyum, hızlı oksidasyona uğrar özellikle 500°C'ye kadar sıcaklıklarda gerçekleşir. Düşük sıcaklıkta yüzeyinde bir oksit tabakası oluşmaktadır. Oluşan bu tabaka kararsız bir yapıya sahiptir (Subaşı ve Karataş, 2012). Ayrıca bu tabaka titanyumu korozyona karşı dirençli hale getirirken, sürtünme ve temas uygulamalarında zayıf aşınma direncine neden olur. Aslında titanyum başka bir malzeme ile temas ettiğinde titanyumun yüzeyinde oluşan oksit tabakası yüzeyden kolaylıkla sıyrılabilmektedir (Çelik, 2015). Kırık oksit partikülleri, temas eden yüzeyler arasında kalarak aşındırıcı etkiye neden olur ve yüzeylerden daha fazla oksit tabakasının ayrılmasına neden olur (Ölmez ve Kisbet, 2013).

Oksit tabakasının çatlaması ile açığa çıkan substrat tekrar oksijen ile etkileşerek yüzeyde yeni bir oksit tabakası oluşturur. Bu bir döngü halini alır ve çatlamaya devam eder. Bu durumun sonucunda titanyumun aşınma direnci zayıflar. Bu olay oksidatif aşınma olarak adlandırılır. Mühendislik uygulamaları için malzemelerle ilgili büyük bir sorun olan aşınma hasarının tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir. Aynı zamanda mühendislik malzemelerinin aşınma yüzeylerinin uygun bir şekilde yüzey işlemi ile aşınma hasarının etkileri azaltılabilir. Termokimyasal işlemler, elektrokimyasal kaplamalar, kimyasal kaplamalar ve iyon aşılama gibi yüzey işlemleri yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Titanyum ve alaşımlarının aşınma direncinin arttırılması için pek çok kaplama yöntemi ve yüzey işlemi uygulanmaktadır (Çelik, 2015).

Ti6Al4V Eli (3.7165) veya Titanium Grade 5 Eli, en yaygın kullanılan titanyum malzeme derecelerinden biridir. Grade 23 titanyum olarak da bilinen bu malzeme, tıp alanında implantlarda, dişçilik parçalarında ve cerrahi ekipmanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Köse ve Kaçar, 2015). Materyal biyouyumlu bir materyaldir ve dolayısıyla in vivo kullanım için uygundur. Bu malzeme, 5. sınıf titanyumun "ultra düşük boşluklu" bir versiyonudur. Titanyum Sınıf 23 malzeme, azaltılmış bir demir yüzdesine sahiptir. Ti6Al4V Eli malzemesindeki oksijen, nitrojen ve karbon elementleri indirgenerek, içyapısı daha saftır (Çelik ve Kılıçkap, 2018).
Titanyum Ti6Al7Nb veya UNS R56700 titanyum, kalça protezi için özel olarak geliştirilmiş bir titanyum malzemedir. Ti6Al7Nb malzemesi yaklaşık %87 titanyum, %6 alüminyum ve %7 niyobyum içerir. Temel avantajları korozyon direnci, biyouyumluluk ve yorulma direncidir (Bahçe vd., 2017).

Ti6Al7Nb titanyum malzemesi, 5. sınıf titanyumun Ti6Al4V malzemesine çok benzer olmakla beraber; iki malzeme arasındaki en önemli fark Ti6Al7Nb malzemesinde 5.derece vanadyum yerine niyobyum bulunmasıdır. Bu farklılıktan dolayı Ti6Al7Nb malzemesi, Ti6Al4V malzemesine göre daha iyi mekanik dayanıma, daha iyi biyouyumluluğa ve daha iyi korozyon direncine sahiptir. Ti6Al7NB titanyum malzeme, kalça protezleri, diş uygulamaları ve bazı uçaklar başta olmak üzere birçok protez ve implant bileşeninin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Çiftçi ve Gökçe, 2019).

Ti-6Al-7Nb bir alüminyum-niyobyum alfa-beta alaşımıdır. Biyouyumluluğu ve mekanik özellikleri Ti-6Al-4V'den üstündür. Bu alaşım 1977 yılında İsviçre'de bir araştırma ekibi tarafından keşfedilmiştir. Amaçları, tıp ve cerrahi endüstrilerinin ihtiyaçlarını karşılayacak bir titanyum alaşımı yaratmaktır (Konar, 2017).

3.1.5 Titanyum alaşımlarının yapılarına göre sınıflandırılması

Titanyum alaşımları uygulama açısından 3 ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar ise yüksek dayanım, korozyon direnci ve yüksek sıcaklık sınıflandırılmalarıdır. Bunun yanı sıra yapısal titanyum alaşımları da α Alaşımları, α + β Alaşımları ve β Alaşımlarıdır (Çavuşoğlu, 2020).

α fazlı katı çözeltiden oluşan tek fazlı bir alaşımdır. Normal sıcaklıkta ve normal sıcaklıktan yüksek çalışma sıcaklığında α fazıdır. Saf titanyum ile karşılaştırıldığında daha kararlı bir yapıdadır, daha güçlü oksidasyon direnci ve daha yüksek aşınma direnci gösterir. 500-600°C sıcaklıklarında mukavemeti ve sürünme direnci değişmez. Isıl işlem uygulaması ile kuvvetlendirilemez ve aynı zamanda 20-24ºC gibi düşük sıcaklıklarda mukavemeti düşüktür (Demirel ve Karaağaç, 2021).

β fazlı katı çözeltiden oluşan tek fazlı bir alaşımdır. Isıl işlem uygulanmadan mukavemeti yüksektir. Alaşım, su verme ve eskitme ile mukavemeti artırılır ve 20-24ºC gibi düşük sıcaklıklarda 1372-1666 MPa'ya kadar çıkabilir. Ancak ısıl kararlılığı zayıf olduğundan yüksek sıcaklıkta kullanıma uygun değildir (Kitapçı, 2020).

α + β Alaşımları çift fazlı bir alaşımdır. İyi bir yapısal kararlılığa, iyi ve çok çeşitli özelliklere, yüksek sıcaklıkta deformasyon özelliğine, iyi bir tokluğa, iyi bir plastisiteye sahiptir. Sıcak presleme ile işlenebilmektedir. Bunun yanı sıra yine su verme ve eskitme ile güçlendirilebilir bir özelliğe sahiptir. Isıl işlemden sonraki mukavemet, tavlanmış duruma göre %50 ve %100 arası bir yüzdede daha yüksektir. Bu nedenle ısıl işlemden sonraki yüksek sıcaklık mukavemeti ile 400-500 °C'de uzun süre çalışabilir. Dolayısıyla termal stabilite α-titanyumunkinden azdır. Bu üç titanyum alaşımı arasında, α-titanyum alaşımı ve α+β-titanyum alaşımı en sık kullanılanlar arasında yer almaktadır. α-titanyum alaşımı bu üç titanyum alaşımları arasında işlenebilirliği en yüksek olandır. α-titanyum alaşımından sonra α+β-titanyum alaşımının işlenebilirliği gelir. Ardından β-titanyum alaşımı bu sırayı takip eder (Elibol, 2020).

3.1.6 Saf titanyumun üretimi ve alaşımlarının kullanım alanları

Matthew Hunter, bir kimyacı olup, 1910 yılında saf titanyumu üretmiştir (Woodruff ve Bedinger, 2013). 1910'dan 1938'e kadar olan süreçte saf titanyum hala ticarileştirilmemiştir. 1938 yılına gelindiğinde ise William Kroll tarafından geliştirilmiş ve Kroll süreci ile ticari kullanıma uygunluk kazanmıştır (Yücel, 2018).



Şekil 3.6 Saf Titanyum Metali (%99, 999)

Saf titanyum metali; borular, plakalar ve çubuklar; öte yandan, bakır/nikel bazlı alaşımlardan daha iyi performans gösteren türbin kanatları için üretim alaşımlarından oluşmaktadır. Önümüzdeki yıllar, deniz suyu arıtma tesislerine duyulan ihtiyaç nedeniyle küresel titanyum endüstrisi için önemli bir iş fırsatı olabilir. Birçok uygulama alanına sahiptir ve korozyon direnci ve oldukça sağlam olması nedeniyle denizcilik sektöründe kullanışlıdır (Bülbül ve Çelik, 2014).

Titanyumun iyi özelliklerinden dolayı bazı üreticiler 100 yıla varan garantiler bile vermektedir. Japonya'da bir inşaat sektöründe ilk olarak korozyona dayanıklı bir çatı kaplama için kullanılmıştır. Otomotiv uygulamalarının geliştirilmesinde önemli bir oranda katkıda bulunan titanyum endüstrisi, havacılıktan daha büyük bir Pazar haline gelinmesi noktasında belirli çalışmalara konu olmaktadır (ITA, 2011). 2013'ten 2017'ye kadar olan ortalama değere göre, saf titanyum oksidin yıllık ihracat hacmi yaklaşık 65 ton olup, yaklaşık 235.000 ABD dolarına eşdeğerdir. Aynı yıl aralığına göre ithalat hacmi yaklaşık 4.000 ton olup yaklaşık 11 milyon ABD dolarına eşdeğerdir (Yücel, 2018).

Titanyum alaşımları, pek çok mühendislik alanında ve mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır (Siyahjani, 2015). Titanyum yapısı gereği plastik, kâğıt ve boya sanayinde kullanılmaktadır. Titanyum ayrıca yüksek hızlı titreşimli parçalarda da kullanılır. Ağırlıklı olarak kimya, savunma, sanayi, havacılık, elektrokimya

sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu alanlarda dayanıklı bir metal olarak kullanılır (Subaşı ve Karataş, 2012).

3.1.7 Titanyumun önemi

Titanyum metali ve alaşımları özellikleri sayesinde kullanımları sırasında çok iyi fiziksel ve kimyasal üstünlükler sergilemektedir. Ancak metal olarak kullanımı, erişilmesi ve işlem görmesi oldukça zordur. Pahalı olmasından dolayı kullanımı özel alanlarla sınırlandırılmıştır. Titanyum mineralleri, boya, plastik ve kâğıt endüstrileri, havacılık endüstrisi ve uçak sanayisi, askeri endüstriler, kimya ve elektrokimya endüstrileri için titanyum dioksit pigmentlerinin üretimi için önemli bir stratejik hammaddedir (MTA Genel Müdürlüğü, 2022). Titanyum, demir kadar yoğunken, magnezyum ve alüminyum ise genel olarak hafif metaller olarak adlandırılmaktadır. Dünya çapında birçok ülke bu malzemenin önemini fark ettiğinden araştırma, geliştirme ve uygulamalı araştırmaları desteklemektedir. Titanyum mühendislik uygulamaları için özel bir malzemedir (Subaşı ve Karataş, 2012).

Titanyum, nadir bulunan bir element olarak bilinir ve aslında yerkabuğunda en bol bulunan altıncı elementtir. Ancak nadiren özel jeolojik koşullar altında biriktirilir. Ekonomik açıdan önemli titanyum mineralleri rutil (TiO_2) ve ilmenittir ($FeTiO_3$). Titanyum cevheri kayalardan (birincil tortular) ve plaserlerden (ikincil tortular) elde edilir (MTA Genel Müdürlüğü, 2022). Yüksek performanslı alaşımlar üretmek için alüminyum, demir, nikel, molibden, vanadyum ve diğer metaller ile titanyum birleştirilmektedir (King, 2022). Birincil titanyum birikintileri, likid magmasal aşamasında oluşur. Anortozitler ile yakından ilişkilidir. Dünyada bu tip yatakların zaman zaman kullanıldığı bilinmektedir. Ancak ekonomik olarak önemli değillerdir.

İkincil tortular, kumlu plajlarda ve nehir deltalarında plaser tortuları şeklinde oluşur. Titanyum mineralleri kimyasal ve fiziksel olarak dirençlidir ve yüksek özgül ağırlığa sahiptir, bu da onları plaser tortuları yapmak için ideal hale getirir. Rutil ve ilmenit mineralleri genellikle monofeldspat, zirkon, granat ve manyetit gibi ağır minerallerle birlikte sahil kumunda biriktirilir. Avustralya çok zengin ve yaygın olarak dağıtılmış plaser tipi mevduatlara sahiptir (Gültekin, 1998).

Son yıllarda ülkemizin her yerinde titanyum arama projeleri gerçekleştirmiştir (MTA Genel Müdürlüğü, 2022). Ancak günümüz koşullarında, ekonomik olarak işletilebilir ölçekte ve yüksek kalitede birincil veya ikincil titanyum yatakları keşfedilmemiştir. Bununla beraber ülkemizde titanyum ihtiyacı, ülkemizde tamamen ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Ülkemizde aynı zamanda titanyum esas olarak boya, plastik ve seramik endüstrilerinde pigment olarak kullanılmaktadır. Titanyum dioksit, sülfat ve klorür prosesleri ile titanyum cevherlerinden elde edilir. Eski sülfat yöntemi ise yoğun bir çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra klorit işlemi oldukça yüksek tenörlü bir cevher gerektirmektedir (Yücel, 2018).

Dünyadaki birçok ülke zengin titanyum yataklarına sahiptir. Ancak, rezervlerine ilişkin bilgiler sınırlıdır. Dünyada önemli titanyum yataklarına sahip ülkeler; Ukrayna, Vietnam, Kanada, Hindistan, Norveç, Güney Afrika, Çin, Avustralya, Brezilya, Amerika Birleşik Devletleri, Mozambik ve Sri Lanka'dır. Günümüz dünyasında titanyum cevheri üretimi, titanyum dioksit üretimi ve tedariği ile ilgili herhangi bir sorun bulunmamaktadır. Mevcut rezervler, uzun vadede dünya talebini karşılamaya yeterlidir. Ancak mevcut teknolojinin karmaşıklığı nedeniyle ürün fiyatı yüksektir. Yüksek fiyatlar, tüketim ve kullanım alanlarını da beraberinde sınırlı bir hale getirmektedir (Gültekin, 1993).

Periyodik cetvelin 4. Alt grubunda yer alan titanyum, asıl olarak oldukça sert, gümüş-beyaz renkte ve parlak bir elementtir. Erime noktası ise 1660 °C olmakla beraber özgül ağırlığı 4.5, atom numarası 22, kaynama noktası 3287 °C ve atom ağırlığı 47,9 şeklindedir. Bunun yanı sıra kuvarsın metal formunu çizecek kadar da sert ve aynı zamanda kırılgandır. Titanyumun diğer özellikleri ise demirden daha düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olmakla beraber, kimyasallara karşı dayanıklıdır.
Bu üstün metal özelliklerine rağmen, çoğu cevher üretimi metale indirgenmeden titanyum dioksit olarak kullanılır. En önemli titanyum mineralleri; sfen, anatas, ilmenit, rutil, perovskit, brusit ve titanomagnetittir. Ancak rutil, ilmenit ve anataz ticari öneme sahiptir (MTA Genel Müdürlüğü, 2022).

3.1.8 Titanyumun tarihçesi

1791'de İngiltere, Devon'dan William Gregor, ilk kez beyaz metal oksitler olarak siyah kumdan saf olmayan titanyum dioksiti izole etmiştir. Gregor'un analizine göre siyah kum, %51 demir dioksit ve %45.25 titanyum dioksit içermektedir. Bu beyaz oksidin keşfi o zamanlar pek ilgi görmemiştir, ancak Martin Klaproth'un 1795'te malzemenin Macar ve Çek rutil rezervlerinden alınan numuneler ile bazı özelliklerinin benzediğini söylemesiyle beyaz oksidin önemi artmıştır (Kejanlı, 2007). Titanyumun yerkabuğundaki içeriğine göre metalde demir, alüminyum ve magnezyumdan sonra dördüncü, elementler sıralamasında ise dokuzuncu sırada yer almaktadır (Sıcakyüz, 2007).

Yerkabuğunun %0,6'sı titanyum elementi içermektedir. Bunun yanı sıra NASA'nın Apollo programının son görevini gerçekleştiren Apollo17 programı tarafından aydan getirilen kayalarda da %12 miktarında bir titanyum dioksit saptanmıştır. Titanyumun oksijen ve nitrojen ile kolay bağ kurmasından dolayı saf titanyuma erişmek büyük oranda beceri gerektirmektedir. Araştırmalar kapsamında Dr. Kroll tarafından geliştirilmiş olan Kroll yöntemi olan bir işlem ile çözülmektedir. Bunun yanı sıra bu proses, koruyucu atmosfer kapsamında titanyum tetraklorürün magnezyum ile indirgenmesine dayanmaktadır. Bu yöntem sonucunda ortaya çıkan titanyum yapısı gözenekli olması bakımından süngere benzetilmiştir. Bu nedenle bu metale "titanyum süngeri" de denilmektedir (Karaca, 2017).

Yüksek sıcaklıklarda titanyum erir. Çok yüksek sıcaklıklarda bile yüksek dayanıma sahip bir metal olduğu için özellikle askeri donanımlarda uzun süredir nikel ve kobalt içeren alaşımlara alternatif olarak görülmektedir. Bu bağlamda ABD Silahlı Kuvvetleri titanyumu işlemeye başlamıştır. DC-7 uçak motorunun yanma odası ve uçak kanadındaki motor bağlantı noktalarına uygulanan titanyum, 1952 yılında ilk uçuşunu gerçekleştirmiş ve titanyumun uygulamaya yönelik ilk üretimide bu şekilde olmuştur. Geleceğin titanyum alaşımı; askeri veya ticari uçakların kompresör disklerinde, jet motorlarının pervane kanatlarında ve bu uçakların iskeletlerinde kullanılmıştır. Dökme titanyum ilk olarak 1960'larda kimyasal pompalarda ve valflerde kullanılmıştır. Bu araştırmadan sonra yine yapılan araştırmalar kapsamında yaklaşık olarak on sene sonra döküm titanyum, bazı havacılık uygulamaları için tercih

edilen bir malzeme haline gelmiştir. 1970'lerin sonlarında ise dökme titanyum satışları, titanyum sanayisi ile beraber gelişmiştir (Fidan, 2006). Bu süreç içerisinde titanyum döküm malzemesi, uzay endüstrisi uygulamalarının %60 ve %70'ini oluştururken, ticari uygulamaların ise %30-35'lik bir kısmını oluşturmaktadır. Bununla beraber 1979 yılında üretilen titanyumun %28'i korozyon ile ilgili olan uygulamalarda, %35'i ise ticari uçaklarda ve %37'si ise askeri uçak ve füzelerde kullanılmıştır (İçdem, 2007).

Titanyum, uçakların omurgası ve jet motorlarının parçaları dâhil olmak üzere uçak uygulamalarında kullanılmıştır (Baştekeli, 2020). Ticari uçak jet motorlarının birkaç bileşenlerinde yüksek özgül mukavemetli malzemeler haricinde özgül mukavemeti düşük bir malzemenin kullanılmaması gerektiği belirlenmiştir (İçdem, 2007). Titanyum ve alaşımlarının tıp ve dişçilik alanlarında kullanımı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Genel olarak titanyum kullanımı havacılık ve denizcilik endüstrilerinde yoğunlaşmıştır. Metallerin biyomedikal cihazlarda ve diş implantlarında kullanımı da son 30 yılda yeni işleme yöntemlerinin gelişmesiyle artmıştır (İçdem, 2007; Subaşı ve Karataş, 2012).

3.1.9 Dünya'da ve Türkiye'de titanyum endüstrisi

Doğada sık bir şekilde bulunan titanyum, mühendislikte de kullanılan metaller arasında yer almaktadır. Alümünyum, demir ve magnezyımdan sonra titanyum, mühendislik uygulamalarında dördüncü sırada yer almaktadır. Titanyum mineralleri, rutil ve ilmenit dahil olmak üzere ağır minerallerden oluşmaktadır. Doğada ticari önemi olan az sayıda rutil minerali bulunmasına rağmen ilmenit mineralleri daha bol ve yaygındır. Son yıllarda çeşitli endüstrilerde titanyum mineralleri ve titanyum metal tüketimi artmaktadır. Titanyum dioksit rutil ve ilmenitten elde edilir. Yaklaşık %95 oranı boya, tekstil, kâğıt ve plastik endüstrilerinde pigment görevinde kullanılmaktadır. Hemen hemen tüm rutil mineralleri sahil kumundan gelir ve ilmenit, sahil kumunun yanı sıra diğer tortu türlerinden gelir.

Dünya'da rutil yataklarının en önemlileri Hindistan, Meksika ve Avustralya'da bulunmaktadır. Önemli ilmenit yatakları ise Kanada, Norveç, Avustralya, Brezilya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır (Gökdemir, 2005). İyileştirme ve

metalurjik işlemlerden sonra ilmenitten titanyum metali ve pik demir aynı anda elde edilebilir. Avustralya ve Güney Afrika başta olmak üzere birçok ülkede sahil kumlarında ilmenitten titanyum ve demir, başarılı bir şekilde üretilmektedir (Subaşı ve Karataş, 2012). Dünya maden üretimi ve rezervleri, aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Dünyada maden üretimi ve rezervleri

MADENİN ADI	ÜRETİM (ton)		REZERVLER** (2002)	
	(2001)	(2002)*	REZERV (ton)	BAZ REZERV (ton)
Alüminyum	24.400.000	25.400.000	-	-
Antimon	151.000	141.000	1.800.000	3.900.000
Arsenik	35.500	35.000	-	-
Asbest	2.050.000	2.040.000	-	-
Barit	6.700.000	6.000.000	200.000	750.000
Boksit	138.000.000	141.000.000	22.000.000.000	33.000.000.000
Bor	4.600.000	4.800.000	-	-
Kadmiyum	18.200	18.700	600.000	1.800.000
Çimento	1.700.000.000	1.720.000.000	-	-
Krom	12.100.000	13.000.000	1.600.000.000	7.100.000.000
Kobalt	36.700	36.900	6.700.000	13.000.000
Bakır	13.700.000	13.400.000	480.000.000	950.000.000
Diatomit	1.700.000	1.800.000	910.000.000	-
Feldspat	9.500.000	9.900.000	-	-
Fluorit	4.530.000	4.530.000	230.000.000	480.000.000
Garnet	283.000	285.000	-	-
Altın	2.570	2.530	42.500	89.000
Grafit	826.000	810.000	74.000.000	270.000.000
Jips	104.000.000	103.000.000	-	-
Demir Cevheri	1.060.000.000	1.100.000.000	150.000.000.000	330.000.000.000
Disten Grubu	355.000	355.000	-	-
Kurşun	3.100.000	2.900.000	68.000.000	140.000.000
Kireç	118.000.000	116.000.000	-	-
Manganez	7.600.000	7.600.000	300.000.000	5.000.000.000
Civa	1.400	1.400	120.000	240.000
Mika	300.000	280.000	-	-
Nikel	1.330.000	1.320.000	61.000.000	140.000.000
Azot	106.000.000	107.000.000	-	-
Perlit	1.710.000	1.800.000	700.000.000	7.700.000.000
Fosfat	126.000.000	133.000.000	17.000.000.000	50.000.000.000
Potas	26.400.000	27.000.000	8.300.000.000	17.000.000.000
Pomza	12.800.000	12.500.000	-	-
Tuz	225.000.000	225.000.000	-	-
Nadir Toprak Elementleri	*83.500	85.500	88.000.000	150.000.000
Gümüş	18.700	18.800	270.000	520.000
Stronsiyum	370.000	360.000	6.800.000	12.000.000
Kükürt	57.300.000	58.000.000	-	-
Talk+Pirofillit	8.920.000	9.120.000	-	-
Kalay	222.000	231.000	6.100.000	11.000.000
Vanadyum	58.000	67.000	13.000.000	38.000.000
Vermikülit	305.000	370.000	50.000.000	200.000.000
Çinko	8.850.000	8.900.000	200.000.000	450.000.000
Zirkon	900.000	910.000	37.000.000	72.000.000
Titanyum	5.000.000	4.900.000	470.000.000	820.000.000
Sodyum Sülfat	-	-	3.300.000.000	4.600.000.000
Soda (Doğal+Sentetik)	35.100.000	33.000.000	24.000.000.000	40.000.000.000

Tablodan da görüleceği üzere 2002 yılı titanyum rezervleri 470 milyon ton ile diğer minerallerin başında gelmektedir. Dünya üzerinde titanyum rezervlerinin yüksek olması, konu ile ilgili birçok araştırmanın yapılmasını sağlamıştır. Bu artan ilgi ve

mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılması ile titanyum uygulama alanı da önemli ölçüde değişmiş ve titanyum uygulama alanı son yıllarda oldukça genişlemiştir (Gökdemir, 2005).

Titanyum cevheri ve ağır cevher paralel olarak incelendiğinde öncelikle ülkemizin 8.333 kilometrelik bir sahil şeridine sahip olması ve üç tarafı denizlerle çevrili olması jeolojide büyük avantajlar sağlamaktadır. Madencilik operasyonlarındaki son teknolojik gelişmeler, kıyı yataklarının denize kadar genişletilmesini mümkün kılmıştır. Karadan taşınan ve mekanik yollarla zenginleştirilen rutil ve ilmenit gibi ağır minerallerin Türkiye yüzölçümünün %8'ini kaplayan ekonomik miktarlarda kıyı yataklarında uygun yerlerde biriktirildiği anlaşılmaktadır (Terzi, 2012). Ancak diğer yeraltı mineralleri gibi titanyum cevheri açısından ülkemizde şu ana kadar yeterli arama, inceleme ve rezerv geliştirme araştırmaları yapılmamıştır.

Ağır maden etütleri ve madencilik konusunda bugüne kadar yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenmektedir: İstanbul-Şile Sahil Kumu Etütünde 500 ton zirkon, ilmenit ve rutil rezervi ile önemli titanyum, zirkon, monazit ve diğer ağır maden rezervleri tespit edilmiştir. Nadir toprak elementleri Rezervler, kıyı yatakları araştırmaları sonucunda vurgulanır. Çanakkale Geyikli sahil kumunun özellikle titanyum mineralleri ve zirkon açısından önemli olduğu söylenmektedir (Kurt ve ark., 2021). Manisa-Salihli bölgesi altın, rutil, ilmenit, zirkon, manyetit ve apatit gibi ağır mineraller açısından zengin olarak belirlenmiştir. Manisa-Demirci bölgesinde yapılan çalışmalarda zirkon seviyeleri 100-700 ppm civarındaydı. MTA'nın Karadeniz sedimanları çalışmasında 53 sahadan alınan karotlardan 40 element tespit edilmiş ve bu elementlerde 40-100 ppm zirkon ve rutil bulunmuştur (Gökdemir, 2005).

Ünye'nin batısından Yeşilırmak'ın ağzına kadar yaklaşık 50 kilometre boyunca uzanan Çarşamba Ovası'nın kumda 160 milyon tondan fazla ağır mineral içerdiği, yapılmış olan çalışmalarda incelenmiştir. Bölgedeki diğer küçük kıyı yatakları dikkate alındığında, görünen muhtemel rezervler yaklaşık 190 milyon tondur. Ormanlı-Terkos bölgesinde 5 km uzunluğunda, 400 m genişliğinde ve 24 m derinliğinde ağır mineraller çökelmiştir. Ancak yatağın sınıf açısından ekonomik bir değeri olmadığı tespit edilmiştir (Köse ve Karaca, 2019). Ayrıca MTA Genel Müdürlüğü tarafından Küçük Menderes ve Gediz havzalarında yapılan yüzey araştırmalarında önemli rutil ve

ilmenit zenginleşmeleri tespit edilmiştir. MTA, Hakkari ve Yozgat yakınlarındaki titanyum rezervlerinden bahsetmekle birlikte, bunların dereceleri ve toplam rezervleri bilinmemektedir.

Türkiye'de şu anda titanyum cevheri üretimi bulunmamakta ve titanyum cevheri ihtiyacının tamamı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Ulusal İstatistik Bürosu verilerine göre, 2000 yılında toplam 10.000 ton titanyum cevheri ve titanyum oksit ithal edilmiştir. Türkiye'de ağırlıklı olarak boya, tekstil, kağıt, plastik elektrotlar vb. Sanayi sektörünün tükettiği titanyum oksidin yanı sıra yakın gelecekte uçak ve ağır sanayi için de metal titanyuma ihtiyaç duyulacak ve ithalatın artması beklenmektedir (Yücel, 2018). Titanyum yatakların satın alınabilirliği; minerallerin türüne, orijinal cevherdeki ağır minerallerin oranına ve ağır minerallerdeki titanyum minerallerinin yüzdesine, minerallerin parçacık boyutuna ve serbestlik derecesine, demir-titanyumun türüne bağlıdır.

Açık ocak madenciliği genellikle birincil yataklar ve plaser madenleri için geçerlidir. Denizden kum üretilirken yere göre kovalı tarak ve traktörler kullanılmaktadır. Nehir plaser madenlerinde yıkama ve eleme tesisleri ile kum ve çakıl ayrıştırılır. Çeşitli yöntemlerle çıkarılan cevherler klasik yöntemlerle zenginleştirilmektedir. Mükemmel; öğütme, yerçekimi konsantrasyonu, alkali işlem ile yüzey killerinin ve demir oksitlerin ayrılması, kuru ve ıslak manyetik ve/veya elektrostatik ayırma, flotasyon, filtrasyon, yıkama, kurutma vb. eylemi uygulanmaktadır. Bu işlemlerle elde edilen yüksek tenörlü cevherler genellikle fabrikalara giderek titanyum dioksit pigmentleri elde edilir. Çünkü üretilen cevherin %94'ü pigment üretimi için kullanılmaktadır. Bu nedenle madencilik faaliyetleri pigment fabrikalarını hedef almaktadır.

Madencilik faaliyetleri ağırlıklı olarak rutil, ilmenit ve titanomanyetit üretmektedir (TKİK, 2022). En az %10 TiO2 içerikli rutil birincil yatakta çalıştırılır. Plaser yataklarda %1 TiO2 ve üzeri rutil ve %5 ve üzeri ilmenit içeren tortular ekonomik olabilir. Anataz, perovskit ve titanomagnetitin gelecekte ekonomik öneme sahip olabilecek titanyum mineralleri olduğu söylenmektedir (Woodruff, Bedinger ve Piatak, 2017). Seviye sınırı da dünya titanyum talep dengesine göre değişecektir. Ekonomik plaser tipi titanyum yatakları üretmek için %2-4 ağır mineral içeriği (4

gr/cm3'ten büyük yoğun mineraller) ve %1 TiO2 içerikli 1 milyon ton cevher rezervi yeterli kabul edilmektedir (Yücel, 2018). Ancak elde edilecek rutil konsantresinin ticari değerinin en az %95 TiO2 içermesi, ilmenit konsantresinin ise %40 TiO2 içermesi gerekmektedir. Titanyum genellikle doğada aktif değildir ve titanyum ve titanyum madenciliği insan sağlığı için çok az risk oluşturur. Ancak üretim sırasında endüstriyel atık oluşabilmektedir (Woodruff, Bedinger ve Piatak, 2017). TÜİK verilerine göre, özellikle TiO2 pigmentleri içeren ürün grupları için 2013-2017 yılları arasındaki ortalama ithalat değeri yaklaşık 350 milyon dolardı.

Titanyum metal; sağlamlığı, hafifliği ve korozyon direnci ile bilinir. Yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda alüminyum kompozitler, intermetalikler, çelikler ve süper alaşımlarla rekabet eder. Alüminyum, çelik, nikel ve zirkonyum alaşımları, korozyon direnci ile ilgili uygulamalarda titanyumun yerini alabilir. Kalsiyum karbonat, kaolin ve talk beyaz pigmentlerde TiO2 ile rekabet eder (USGS, 2018). Önümüzdeki birkaç yıl için tahminler; 2025 yılına kadar konsantre tüketimi yıllık %4'ten fazla artacak ve küresel titanyum dioksit pigment tüketimi, yıllık büyüme ile 2025'te yaklaşık 9 milyon ton/yıl olması beklenmektedir. Kaplama endüstrisinde TiO2 pigmentlerinin lider konumunun devam etmesi beklenmektedir. Ağırlığı azaltarak yakıt tüketimini azaltmak için sivil havacılık, titanyum içeriği daha yüksek yeni modeller üretmiştir. Örneğin, Airbus A320/350, uçuş ağırlığının %12-14'ünü içerir ve Boeing 787, eski modellerde %4-8'e kıyasla neredeyse %15 titanyum içerir (Yücel, 2018). Önümüzdeki 20 yıl içinde, havacılık endüstrisindeki uçak sayısının iki katına çıkarak yaklaşık 43.000 uçağa ulaşması ve piyasa değeri yaklaşık 6 trilyon dolar olması beklenmektedir (ITA, 2018).

Titanyum için küresel talep, büyük ölçüde titanyum dioksit pigmentlerine olan talebe bağlı olacakken, titanyum metaline olan talep büyük ölçüde yeni uçakların yapımına bağlı olacaktır. İlmenit konsantre üretiminin yaklaşık %5'i titanyum metal üretimi için kullanılmaktadır. Küresel ekonomik koşullardaki gelişmeler titanyum metal ve titanyum dioksit pigmentlerine olan talebi artıracaktır (Woodruff ve Bedinger, 2013). Titanyumun kullanıldığı alanlar dikkate alındığında katma değeri yüksek ürünlerin üretimine yönelik teşvikler ve yatırımlar uygun olacaktır (Yücel, 2018). Sanayinin gelişmesiyle birlikte ülkemizin titanyum konsantrelerine ve metallere olan talebi

artmıştır. Ancak ihracatın ithalatı karşılama oranı halen çok yetersizdir. Bu nedenle titanyum cevheri arama araştırmaları ve cevher kazanımına yönelik araştırma ve geliştirme yatırımları artırılmalıdır (Yücel, 2018).

3.2 Çelikler

3.2.1 Karbon çelikleri

Karbon çeliği, çeliğin toplam ağırlığının %2,1'i kadar yüksek bir içeriğe sahip bir demir-karbon alaşımıdır ve ana çelik türlerinden biridir. Dünyadaki çelik üretiminin %90'ını oluşturur. Genel olarak, karbon çeliği kategorisi ayrıca beş alt kategoriye ayrılabilir (Köksel Kara, 2014):

- Ultra düşük karbonlu çelik: karbon içeriği %0,015'ten azdır;
- Ekstra düşük karbonlu çelik: %0,015 ila %0,05 karbon;
- Düşük karbonlu çelik: %0,05 ila %0,19 karbon;
- Orta karbonlu çelik: %0,2 ila %0,49 karbon;
- Yüksek karbonlu çelik: karbon içeriği %0,5'in üzerindedir.

Tüm bunlar ele alınırken asıl olarak karbon çeliği ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile %0,6 oranında silisyum, %0,6 oranından daha az bakır ve son olarak %1,65 oranında da manganezi içerisinde barındırmaktadır. Bu bağlamda her biri asıl olarak garklı uygulamalar ile birlikte, birbirinden farklı spesifikasyonlar için kullanılmaktadır. Karbon çeliği, demirin dövülebilirliği ile karbonun yüksek mukavemetini birleştirmektedir (Uygur, 2013). Başlangıçta kırılgan olmasına rağmen, karbon çeliği, özel şekiller ve plakalar oluşturmak için şekillendirilebilir bir duruma ısıl işlemden geçirilebilir. Tüm ısıl işlemlerde yüksek tokluk ve çekme dayanımını korur, ancak yüzey tabakası aşınma ve oksidasyon gibi aşınma faktörlerine karşı hassastır (Tayanç ve Zeytin, 2000).

Karbon dışının sertleştirilmesi amacı ile beraber tasarlanmış olan karbonlama işlemi yolu ile karbon çeliği bileşenlerinin yüzey kısmında karbon göçünün teşvik edilmesi ile korozyon ve aşınma problemleri önlenebilmektedir. Bunun yanı sıra ise karbonun çelik boyunca difüzyon oluşturması, dışta yüksek karbonluğu ile ve aynı zamanda sert, daha yoğun bir iç kısımla bozulmaktadır. Bu durum değerlendirildiğinde, bitmiş olan

ürünün sert, dayanıklı dış yüzeyin benzersiz bir şekilde kombinasyon oluşturması ile meydana gelmektedir. Karbon çeliğinin çok yönlü olması, geniş bir uygulama alanında kullanımını sağlamaktadır. Bununla beraber kullanım alanları incelendiğinde;

- Petrol
- Petrokimya
- Gaz

Alanları olmak üzere birçok endüstride kullanımı yaygındır (Köksel Kara, 2014).

3.2.2 Alaşımlı çelikler

Alaşımlı çelikler, normal şartlarda karbonlu çeliklerden sağlanamayan ve kendine has özelliklerin kazanılması için bir veya birden fazla alaşım elementinin katılması koşuluyla yapılan çelik grubunda yer almaktadır. Bununla beraber Si, Mn gibi alaşım elementlerinin bir ya da birden daha fazlasının, çeliğin içerisinde bulunan değerlerin Si %0,60 ve Mn %1,65'ten daha çok olması ve aynı zamanda bunlara eklenen diğer elementlerden (Al, B, Cr, Co, N, Mo, W, Ti, Zr, V) birinin ya da bir kaçının bulunması istenen çelikler, alaşımlı çelikler grubunda yer almaktadır (Arman, 2017). Bunun yanı sıra ise alaşımlı çeliğin, alaşım elementlerinin alt ve üst limit değerleri arasındaki farkı oldukça az bir seviyededir. Bu bağlamda ise alaşım elementinin sayısı yükseldikçe, alınacak olan dökğmler de uygun olmayanların sayısıyla daha fazla artışa göstermektedir.

İngot ve kütüklerinin hem yüzey kısmında hem de içerisinde ortaya çıkması ihtimal olan çatlamalara sebep olan alaşımlı çeliklerin, özel kuyu ocaklarında ağır yöntemler ile soğutulmaya bırakılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra dövme ve haddeleme işlemleri yapılmadan önce, hatalar son olarak giderilmelidir. Alaşımlı çelik yapımı tüm bu sebeplerden dolayı, karbonlu çeliklere oranla daha zordur (Taş, 2012).

3.2.3 Takım çelikleri

Takım çelikleri; plastikler, metaller, ahşaplar gibi pek çok malzemeyi talaşlı imalat ve şekillendirme için geliştirilmiş olan çelikler grubundadır. Aynı zamanda takım çeliği, kimyasal bileşimi ve özellikleri sebebi ile diğer çelik kalitelerine göre çok daha yüksek

bir içeriğe sahiptir. Kimyasal bileşim içeriklerine göre alaşımlı, alaşımsız ve yüksek alaşımlı takım çelikleri olarak 3'e ayrılmaktadır. Bunun yanı sıra ise çalışma koşulları ve kullanım alanına göre sıcak, soğuk, yüksek hızlı ve plastik takım çeliği olarak ayrılır. Aşağıda takım çeliklerinin çeşitleri gösterilmektedir. Bunlar (Özçatalbaş, 2020):

- Soğuk iş takım çelikleri
- Yüksek hız takım çelikleri
- Plastik kalıp çelikleri
- Sıcak iş takım çelikleridir.

Soğuk iş takım çelikleri: Soğuk şekillendirilmiş takım çelikleri, malzemenin soğuk şekillendirildiği ve talaşlı imalat sırasında oluşan sıcaklıkların 200°'yi aşmadığı işlerde tercih edilmektedir. Başlangıç sertliği yüksektir ve sıcaklık 200 °C'yi geçince sertlik hızla düşer. Yani süreç o derecenin altında devam etmektedir. Soğuk iş takım çelikleri, talaşlı imalat ve talaşsız şekillendirme işlemlerinde kullanılmaktadır. Kesme, bükme kalıpları, zımbalama takımları, baskı merdaneleri, bıçaklar, zımbalar, soğuk ekstrüzyon takımları ve soğuk işlenmiş takım çeliklerinden üretilir (Kurt vd., 2021).

Sıcak iş takım çelikleri: içerisinde demir olan ve içerisinde demir olmayan metallerin şekillendirilmesi için sıcak iş takım çelikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu aletler 200°C – 600°C civarındaki sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra sıcak iş takım çelikleri, enjeksiyon, ekstrüzyon, kesme ve dövme gibi birbirinden farklı olan yöntemler ile şekillendirilebilen alaşımlı takım çelikleri grubunda yer almaktadır. Hammaddelerin metal bazlı olması, yüksek sıcaklıklarda şekillendirilmesi bakımından, günümüzde de imalat ve takım endüstrilerinde çok fazla tercih edilen çelikler arasında yer almaktadır (MEB, 2015).

Yüksek hız takım çelikleri: bu çelikler ile kesici takımlar üretilir. Bu bağlamda yüksek kesme hızlarında da talaş kaldırma özelliğine sahip olan ve aynı şekilde yüksek sıcaklıklarda sertliğin uzun bir süre korunması özelliğine sahip olması ile bilinmektedir. Bu bağlamda ise torna, freze gibi makinelerin talaş kaldıran kesici takımları genel anlamda bu çeliklerden elde edilir (Ateş, 2009).

Plastik kalıp çelikleri: Bu çelikler her türlü plastik hammaddesinin şekillendirilmesi için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra ise aşındırıcı plastiklere karşı dayanımlı alaşımlı takım çelik grupları arasında yer almaktadır. Günümüz imalat ve kalıp sektöründe plastik kalıp çelikleri sürekli olarak tercih edilirken; aynı zamanda birçok alanda kullanımı söz konusudur. Kullanım alanları ise aşağıdaki gibidir (Alibey, 2010):

- İnşaat sektörü,
- Beyaz eşya sanayi,
- Elektrik ve elektronik parçalar,
- Çeşitli ev aletleri,
- Otomotiv sektörü olmak üzere pek çok alanda kullanımı söz konusudur (Alibey, 2010).

3.2.4 Paslanmaz çelikler

Ağırlık olarak %10,5 oranında bir krom içeren demir içerikli alaşımlar olan paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği veren şey çeliğin yüzeyinde bulunan pasifleştirici ince krom oksit tabakadır. Bu durumda ise korozyonun malzemenin yüzeyinin derinliklerine kadar nüfuz etmesini önlemeye yardımcı olur. Paslanmaz çelik türleri, içermiş oldukları ilave etmenlere göre farklı gruplara ayrılmaktadır. Bunun yanı sıra yine korozyonun malzeme yüzeyinden derinlere doğru nüfuz etmesini engellemesine göre gruplara ayrılır. Paslanmaz çelikler, içerisindeki katkı elementleri kapsamında birbirinden ayrılırken, çeşitleri aşağıdaki gibidir (Çelik, 2006).

- Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler
- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Östenik paslanmaz çelikler
- Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir.

3.2.4.1 Ferritik paslanmaz çelikler

Bu çelik grubu, alaşım elementlerinin katılmasına bağlı bir şekilde bileşimlerinde değişen oranlarda Cr içeren oldukça önemli olan bir malzeme grubudur. Elementlerin

ferrit oluşturması (Cr, Al, Ti), oranın artış göstermesini ve östenit oluşturan elementlerin (Ni, C), sınırlandırılması ile beraber oda sıcaklığı ile erime noktasının arasında olan tüm sıcaklıklar için ferritik paslanmaz çelikler geliştirilmiştir.

Gövdelerinde %11-30 krom bulunan paslanmaz çeliktirler. Klorlu ortamlarda oyuklaşma ve çatlak korozyonuna karşı iyi bir direnç gösteren bu çelikler, gerilimli korozyon çatlağına (SCC) karşı oldukça iyi bir dirence sahiptir. Katı halde faz dönüşümü olmayan bu çeliklerin en önemli özellikleri, bu durumda su verme ve sertleşmeme ile beraber yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksidasyon direncinin oldukça iyi olmasından kaynaklanmaktadır. İşlenebilirlik ve korozyon direnci martensitik paslanmaz çeliklere göre daha üstündür (Saklakoğlu ve ark., 2016).

Korozyon direncini artırmak için ferritik paslanmaz çeliğe molibden, çelikteki erimiş C ve N oranını azaltarak taneler arası korozyona karşı çeliği stabilize etmek için Nb ve Ti eklenir. Bu ekleme aynı zamanda sünekliği ve darbe direncini de geliştirir. Geliştirilmiş darbe direnci, bu çelikleri kimya endüstrisinde kullanılan depolama tanklarının yapımında faydalı kılar. Ferritik paslanmaz çelikler, oda sıcaklığında çeşitli şekillerde oluşturulabilir. Yüksek başlangıç dayanımları ve genel olarak düşük süneklikleri nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklere göre şekillendirilmeleri daha zordur. Mutfak gereçlerinin kullanımında östenitik çelik yerine mutfak evyeleri tercih edilmektedir. Düşük gerinim sertleştirme oranları, kolayca deforme olmalarını sağlar. Soğuk dövme, soğuk şekillendirme yapılabilir (Yorulmaz vd., 2022).

İlk ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve kaynaklanabilirliği genellikle östenitik paslanmaz çeliklerden daha düşüktür. Bu nedenle kullanımı onlara göre sınırlıdır. Ferritik paslanmaz çeliklerin kullanımındaki son artış, daha temiz üretim nedeniyle iyileştirilmiş mekanik özellikler ve kaynaklanabilirlikten kaynaklanmaktadır. Süper ferrit olarak bilinen paslanmaz çelikler, artan eritme ve arıtma yöntemleriyle geliştirilmektedir. Bu kaliteler arasında AISI tip 444 ve UNS S44627 ve UNS S44735 gibi daha düşük seviyelerde katkı maddeleri ve zararlı krom karbürler veya nitrürlerin oluşumunu azaltmak için Ti, Nb, Ta ve Zr gibi dengeleyici elementler içeren alaşımlar bulunur. BC; 430F, 434, 436, 444 ve UNS S44627 gibi bazı ferritik paslanmaz çeliklere korozyon direncini artırmak için eklenir ve daha

yüksek Cr miktarlarında korozyon direncini artırma etkisi daha da fazladır. Ayrıca molibden, yüksek sıcaklık mukavemetini ve sürünme direncini artıran bir ferrit oluşturucudur (Yunus ve Eren, 2021).

Östenik paslanmaz çeliklerden daha ucuz olan Ferritik paslanmaz çelikler, bu noktada bir avantaj oluşturur. Bu bağlamda ferritik paslanmaz çelik, pahalı ve stratejik element olan nikeli içerisinde barındırmaz. Görünüm olarak da parlak bir görünümü vardır. Dünyada ferritik paslanmaz çelikler, östenik paslanmaz çeliklerden sonra ikinci sırada yer almakla beraber, bu payın aynı zamanda %30 oranını oluşturmaktadır. Şekil vermeleri kolay olduğundan, levha ve sac haline getirilirler ve iyi bir atmosferik korozyon direnci gösterdikleri için; bina iç ve dış dekorasyonu için, deterjanlar ve mantar öldürücüler tarafından korozyona karşı dayanıklıdırlar ve mutfak tezgahı ve umumi eşya yapımında kullanılırlar (Abuç, 2006).

Temel ferritik paslanmaz çelik, %17 Cr içeren tip 430 şeklindedir. Tip 430 ferritik paslanmaz çelikler, gerilimli korozyon çatlağına karşı iyi direnç gösterir, ancak oyuk korozyonuna karşı sınırlı genel dirence sahiptir. Tip 430 paslanmaz çeliğin uygulama alanları aşağıdaki gibidir:

- Gıda işleme ekipmanları,
- Nitrik asit tankları
- Otomotiv sanayidir.

Bunun yanı sıra yapısına alaşım elementleri eklendiği zaman geliştirilen yeni tipte işlenebilirliği geliştirilir ve bu paslanmaz çelikler, mekanik alaşımların üretimi için de kullanılmaktadır (Türkan, 2013).

Krom içeriği azaltılan ferritik paslanmaz çeliklerde, kaynaklanabilirlik artış gösterirken, korozyon direnci de düşüş göstermektedir. %15 Cr'li 429, daha iyi kaynaklanabilirlik için geliştirilmiştir ve nitrik asit ve nitrojen fiksasyon ekipmanlarında yaygın olarak kullanılır. Tip 434 ve 436, iyileştirilmiş korozyon direnci için %1 Mo ilavesiyle Tip 430'un geliştirilmiş versiyonlarıdır. Tip 430'un genel direncini ve çukurlaşma direncini iyileştirmek için Cr miktarını artırmaktadır. Tip 442

ve 446, yüksek sıcaklıklarda iyi korozyon direnci için %20 ve %25 Cr içerir. Tip 442, fırın bileşenleri ve yanma odası yapımında kullanılır. Tip 446, en iyi oksidasyon ve korozyon direncini sunarken aynı zamanda tipik olarak tavlama kutularında ve kükürtlü atmosferlerde kullanılmaktadır (Yorulmaz vd., 2022). Uygulama alanı olarak ferritik paslanmaz çelikler aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır:

- Otomotiv katalitik konvertörlerinde,
- Petrokimya endüstrisinde
- Termal güneş panellerinde,
- Deniz suyu uygulamalarında kullanılmaktadır.

Ferritik paslanmaz çelikler ark ve direnç kaynağı, elektron ışını ve lazer yöntemleri ile kolayca kaynatılır. Ferritik paslanmaz çelikler, ITAB'da tane büyümesi ve katı hal kırılganlığı sorunları nedeniyle martensitik ve östenitik tiplere göre daha az kaynak yapılabilir (Türkoğlu, 2017).

Ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerden daha düşük termal genleşme katsayısına sahiptir. Deformasyon, östenitik paslanmaz çeliklerde olduğu kadar önemli bir sorun değildir. Bununla birlikte, ferritik paslanmaz çeliğin termal iletkenliği, yumuşak çeliğin yaklaşık yarısı kadardır, ancak östenitik çeliğinkinden daha fazladır. Bu nedenle, östenitik paslanmaz çeliklerden daha büyük ancak yumuşak çeliklerden daha düşük bir ısı girişi gereklidir. Ayrıca, aşırı tane büyümesini önlemek için ısı girişi minimumda tutulmalıdır (Tehçi, 2011).

3.2.4.2 Östenik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler %16–26 Cr, %10–24 Ni+Mn, %0,40'a kadar C ve Mo, Ti, Nb ve Ta gibi az miktarda diğer alaşım elementleri içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge %90-100 östenitik bir mikro yapı elde edilebileceğini göstermektedir. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında yüksek tokluk ve dayanım değerleri ile öne çıkıyor ve 540°C'ye kadar oksidasyona karşı dirençlidir.

Bu grubun ana malzemeleri AISI 302, 304, 310, 316, 321 ve 347'dir. Bu çelikler için geliştirilen dolgu malzemeleri genellikle yapısal olarak ana metallere benzer. Bununla

birlikte, birçok alaşım için, sıcak çatlak oluşumunu önlemek için az miktarda ferrit ile mikro yapı oluşumuna izin veren dolgu maddeleri kullanılır (Çelik, 2006).

3.2.4.3 Martenzitik paslanmaz çelikler

Bu gruptaki paslanmaz çelikler, %1,2' oranına kadar C, %11-18 Cr, ve son olarak az miktarda Mn ve Ni içermektedir. Bu çelikler, oluşan östenit soğuma sırasında martenzite dönüştüğünde sertleşen tavlama yoluyla östenit oluşturur. Bu grup AISI 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 alaşımlarını içerir. Bu çeliklerin ergitme kaynağında, soğuma sırasında sert ve kırılgan bir martensitik yapı oluşması nedeniyle kaynakta çatlama eğilimi gözlenir. Krom ve karbon içeriği ana metalinkine yakın olan bir dolgu metali seçmek faydalıdır. AISI 410 tipi dolgular, AISI 402, 410, 414 ve 420 tipi çeliklerin ergitme kaynağı için örtülü elektrotlar, katı teller ve özlü teller olarak mevcuttur (Çakmakkaya vd., 2019).

AISI 420 tipi çeliğin karbon içeriğini yakalamak teknik olarak avantajlıysa, 420 premium dolgunun yekpare veya özlü tel olarak kullanılması yararlıdır. AISI 308, 309 ve 310 tipi östenitik dolgular, martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak sonrası yüksek tokluğa sahip olması gereken kendi aralarında veya diğer çeliklerle yapılan kaynaklı birleştirmelerinde kullanılır. Çoğu martenzitik paslanmaz çelik için 205-315 °C arasındaki ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklıklar önerilir. Karbon içeriği %0,2'den fazla olan martenzitik paslanmaz çelik, kaynağın plastisitesini ve tokluğunu artırmak için genellikle kaynaktan sonra ısıl işleme tabi tutulmalıdır (Günay vd., 2018).

Martenzitik paslanmaz çelik; valfler, dişliler, bağlantı elemanları, pimler, yük aktarma milleri, zincirler, makas yayları, cerrahi dişçilik aletleri, türbin kanatları ve çarkları için düşük karbonlu malzemeler ve buhar türbinleridir. Genel olarak bu paslanmaz çelik grubu ferromanyetiktirler. Bunun yanı sıra genel olarak atmosferik korozyona karşı oldukça dirençlidir. İçyapıları kübik hacim merkezi (KHM) veya sertleştirilmiş halde olup, hacim merkezi dörtgen kafes sisteminden oluşmaktadır (Çelik, 2006).

3.2.4.4 Dubleks paslanmaz çelikler

Bu çelik grubu, özellikle son dönemlerde büyüyen Pazar ile beraber hızlı bir şekilde büyüyen paslanmaz çelik grupları arasında geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bununla birlikte dubleks paslanmaz çeliklerin mikro yapıları neredeyse eşit miktarda ferrit ve östenit içermektedir. Bu nedenle, yaygın olarak kullanılan östenitik ve östenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında dubleks paslanmaz çelikler, piyasadaki ferritik paslanmaz çeliklere göre üstün avantajlara sahiptir. %21-25 Cr ve %5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050°C sıcaklıkta tavlanması ve ardından su verilmesi ile çift fazlı yapı elde edilir. Bu bileşimlerin kaynak metalleri genellikle ferritik yapıda olma eğilimindedir (Başyiğit vd., 2018).

Dolgu metali katılaşarak ferrite dönüşeceğinden, yalnızca belirli bir miktarda östenit dönüşümü meydana gelir. Birçok kaynak dolgu maddesine tavlama işlemi uygulanamadığından, kaynak metali kaynak olduğu için mikro yapısında daha fazla östenit içerecek şekilde dolgu metalinin Ni oranı %8-10'a çıkarılarak kimyasal analiz modifiye edilmiştir (Köse ve Kaçar, 2015).

3.2.4.5 Çökelme sertleşmesi (PH) paslanmaz çelikler

Bu paslanmaz çelik grubu, martenzitik, yarı östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Martenzitik paslanmaz çelikler, yaklaşık 1038°C'lik östenitleme sıcaklığından hızlı soğutma ve ardından 482-621°C arasındaki sıcaklıklara yaşlandırma ısıl işlemi ile sertleştirilebilir. Bu tip çeliklerin karbon içeriği %0,07'den az olduğu için oluşan martenzitin sertliği çok yüksek olmayıp, asıl sertlik yaşlandırma (çökeltme) reaksiyonu ile elde edilmektedir. Bunun yanı sıra yine yarı östenitik paslanmaz çelikler, östenitleme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulduklarında martenzit oluşturmama özelliğine sahiptir (Uyar, 2019).

Bunun başlıca nedeni martenzitik dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olmasıdır. Karbon ve/veya diğer alaşım elementlerinin karbürler veya intermetalikler olarak çöktürülmesini sağlamak için bu tür çelikler 732-954°C'de homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulmalıdır. Bu şekilde, alaşım elementleri solüsyonu terk ederek östenitin dengesini bozar ve martenzitik dönüşüm sıcaklığının yükselmesine neden

olur. Bu nedenle çeliğin oda sıcaklığına soğutulması sırasında martenzitik bir yapı oluşabilir. 454-593°C'de yaşlandırma ısıl işlemi nedeniyle, stres giderilir ve martenzit temperlenerek tokluk, süneklik, sertlik ve korozyon direnci artırılır. Bu çelikler ancak yaşlandırma ısıl işleminden sonra sertleştirilebilirler. İşlem, 982-1121°C'de homojenleştirme ısıl işlemini, ardından yağ veya su içinde 704-732°C'ye hızlı soğutmayı ve ardından bu sıcaklık aralığında 24 saat yaşlandırmayı içerir (Murathan ve Kılıçlı, 2016).

Çökeltme sertleşebilen martenzitik ve yarı östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı yapılırken, yüksek dayanım koşulları isteniyorsa, kaynak için ana metal yapıya benzer dolgu metalleri kullanılmalı ve ısıl işlem veya homojenizasyon ısıl işlemi yapılmalıdır. Kaynak öncesi parçalara uygulanır. Martenzitik ve yarı östenitik paslanmaz çeliğin kaynağı yapılırken, kaynaktan sonra homojenizasyon ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmalıdır. Kaynak sonrası homojenizasyon ısıl işlemi uygulamada zorluklar getiriyorsa, parçalar kaynak öncesi homojenize edilmeli ve kaynak sonrası yaşlandırma ısıl işlemi yapılmalıdır (Kahraman vd., 2017).

Yüksek gerilime maruz kalan kalın bileşenler bazen aşırı eskime sıcaklıklarında kaynaklanır. Bu, yüksek mukavemet elde etmek için kaynaktan sonra tam bir ısıl işlem gerektirir. Östenik paslanmaz çelikler, çökeltme sertleştirmesi yapabilirken, aynı zamanda sıcak çatlak oluşumu sebebi ile kaynaklanması da zor olan paslanmaz çelik grubunda yer almaktadır. Bu bağlamda en iyi homojen parçalar üzerinde yapılan kaynak, uygulama düşük gerilim altında mümkün olduğunda düşük ısı girişiyle yapılmalıdır (Aydın, 2002).

3.2.4.6 Paslanmaz çeliğin özellikleri

Paslanmaz çelik, en az %10,5 krom (Cr) içeren bir çelik alaşımıdır. Paslanmaz çeliğin ayırt edici özelliği yüksek korozyon direncidir. Korozyon, bir metalin çevresiyle reaksiyona girdiği elektrokimyasal bir süreçtir. Paslanmaz Çelik; Altın, Platin, Rodyum gibi çoğu ortamda inert kalabilen (çevre ile reaksiyona girmez, korozyona uğramaz) değerli metallerden değildir. Paslanmaz çelikte yüksek korozyon direnci sağlayan element; malzemenin hava ile temasında yüzeyinde oluşan ve yüzeye sıkıca yapışan yoğun, sünek, çok ince ve şeffaf bir krom oksit tabakasıdır. Bu çok ince amorf

tabaka gerekli pasifliği sağlayarak iç ve dış yapıları kimyasal reaksiyonlardan korur ve korozyon direnci sağlar.

Malzeme işlense veya üzerindeki tabaka etki ettiği yerden dolayı aşınmış olsa bile tabaka kendini onarma ve eski özelliklerini geri kazanma özelliğine sahiptir. Bu amorf tabaka titanyum (Ti) ve alüminyum (Al) gibi malzemelerde de oluşur ve paslanmaz çeliğin değerini büyük ölçüde artırır (Kitapçı, 2020). Paslanmaz çeliğe eklenen bu minimum %10,5 Krom (Cr) oranı, çeliğin yüzeyinin ve içyapısının dış etkenlere karşı dayanıklı olmasını sağlar ve paslanmayı önler. Düşük alaşımlı paslanmaz çelik türleri, atmosferik koşullara ve doğal suya dayanıklıdır; yüksek alaşımlı türleri, asitler, alkali çözeltiler ve klorürler içeren ortamlara bile dayanabilir. Paslanmaz çelik, farklı mekanik özelliklerin yanı sıra mükemmel korozyon direncine sahip çok çeşitlidir (Keskin, 2019).

Fiziksel özellikleri

Paslanmaz çeliklerin kaynaklanabilirliğini, korozyon direncini, işlenebilirliğini ve bununla beraber uygulama çerçevesini genişletmek için eklenen alaşım elementleri de bu çeliklerin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Karbon çeliği ile karşılaştırıldığında, paslanmaz çelik çok zayıf termal ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Termal iletkenliği karbon çeliğininkinin yarısından azdır (Baylan, 2004).

Paslanmaz çeliğin direnci, karbon çeliğinin 6 katıdır. Östenitik alaşımların termal genleşme katsayısı, karbon çeliğinden %50 daha yüksektir. Ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerden %20 daha düşük elektrik direncine ve %10 daha düşük özgül ısıya sahiptir. Bununla birlikte, tüm paslanmaz çeliklerin elektrik direnci, alaşımsız çeliklerin yaklaşık 4-7 katıdır. Sonuç olarak paslanmaz çelik kaynağında elektrot yükünün akım şiddeti %25 oranında azaltılır (Balakan, 2020).

Tablo 3.3 Paslanmaz çelik ve sıradan çelik arasındaki fiziksel özelliklerin karşılaştırılması

Çelik Türü	α x10^{-6}	λ W/mC	Ω nm	E EkN/mm^2
Karbonlu çelik 1016	13	47	150	205
Ferritik-Kromlu	12.5	24	600	225
Ferritik-Ostenitik	13.5	20	850	205
Ostenitik Cr-Ni	19.5	15	700	200

α : 20–800°C'de ısıl genleşme katsayısı

λ : Isıl iletkenlik (20°C)

Ω : Elektrik direnci (20°C)

E: Elastiklik modülü (20°C)

Mekanik özellikleri

Uygulanan stres altında bir malzemenin şeklindeki kalıcı değişiklik, mekanik davranışı ile ilgilidir. Bir malzemenin formunu ne zaman kalıcı olarak değiştirebileceğini bilmek önemlidir. Mekanik özellikler sadece atom tipine ve kristal yapısına değil, aynı zamanda içyapılarına, yani tane boyutuna da bağlıdır. En önemli mekanik özellikler, malzemenin kırılma davranışı ile anlaşılması gereken şekil değiştirebilirlik ve mukavemettir. Bir malzemenin mekanik özellikleri, malzemenin şekline ve boyutuna bağlıdır (Kanbollu, 1996). %18-30 krom içeren çelikler tamamen ferritiktir ve genellikle kritik dönüşüm noktası yoktur. Ticari kaliteler diğer krom çeliklerine göre daha yüksek karbon oranlarına sahip olmasına rağmen gözle görülür bir hava sertleşmesi meydana gelmez. Ferritik çeliklerde yüksek karbon oranı, tane boyutunu küçülttüğü ve kırılganlığı azalttığı için faydalıdır.

Martenzit ve beynitin karbon içeriği %1,10'dan az olmalıdır. Bu nedenle ısıdan etkilenen bölgenin sertliği düşüktür ve çatlaması kolay değildir. Ferritik çelikler tek fazlı alaşımlar oldukları için ısıl işleme cevap vermezler. Ferritik krom çelikleri genellikle yüksek sıcaklıklarda sünektir ve 100°C'nin altında kırılgan hale gelir. %3-14 kromlu çeliklerin mekanik özellikleri, kırılma mukavemeti, akma sınırı, uzama ve sertlikleri ısıl işlemle belirlenir, yüksek kromlu çeliklerde bu özellikler ancak termomekanik ve soğuk işleme ile değiştirilebilir. Sigma fazından kaynaklanan gevrekleşme, %23-25 krom içerikli çelikler uzun süre 500-900°C arasında ısıtıldığında

meydana gelir. Aynı şekilde 375-550°C arasında uzun süreli ısıtma ve aynı zamanda yavaş soğutma gevrekleşmeye neden olabilir. Uygun tavlama ile bu çeliklerin sünekliği garanti edilir (Osmanoğlu, 2012).

3.2.4.7 Paslanmaz çeliğin önemi

Dünyada yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik, Türkiye'de sanayi toplumunun çeşitli alanlarında da kullanılmaktadır. Türkiye paslanmaz yassı ürün üretmemek ile beraber, bu sektördeki tüm talep yurt dışından gelmektedir. Son dönemlerde ülkemizde paslanmaz çelik sektörü oldukça önemli ilerlemelerde bulunmuştur. Yaygın alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, korozyona dayanıklı olmadığı için genel olarak bu tür uygulamalar için paslanmaz çeliğin kullanımı daha yaygın bir duruma gelmiştir. Oldukça iyi bir korozyon direncine sahip olan paslanmaz çelikler, aynı zamanda birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip tiplerinin olması ile düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir bir özelliğe sahiptir. Bunun yanı sıra yine şekillendirilebilme kolaylığı ile beraber görünümünün iyi olması gibi özellikler, paslanmaz çelik kullanımının yaygın olmasını sağlamaktadır. Paslanmaz çelik tüketimi giderek yaygınlaşmakta ve atıkların toplumsal refah düzeyinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2003).

Dünyada her yıl yaklaşık 20 milyon ton paslanmaz çelik tüketilmektedir. Çoğunlukla yassı ürünler şeklinde, küçük miktarlarda; tel, çubuk, boru, dövme ve döküm şeklinde kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik diğer çeliklere göre daha pahalıdır. Ancak paslanmaz çeliğin bakımı kolay olmak ile beraber uzun ömürlüdür (Baytemir, 2011). Aynı zamanda paslanmaz çelik, tamamen geri dönüştürülebilir ve büyük avantajlar sunan çevre dostu bir malzemedir. Bu nedenle parçanın tüm ömrü dikkate alınarak bir fiyat analizi yapıldığında tasarımda paslanmaz çelik kullanmanın daha ekonomik olduğu görülebilir.

Paslanmaz çelik, bileşiminde en az %11 krom içeren bir çelik türü olmakla beraber, bu çeliklere yüksek korozyon direnci sağlayan element; yüzeye sıkıca yapışan yoğun, sünek, çok ince ve şeffaf bir oksit tabakasının varlığıdır. Bu çok ince amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelik kimyasal reaksiyonlara pasif olarak direnebilir ve indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı direnç kazanabilir (Yorulmaz,

Durmuş ve Çömez, 2022). Bu oksit tabakası oksijen varlığında oluşur ve dış etkilerden (aşınma, kesme veya işleme vb.) korunur (Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2003).

3.2.4.8 Paslanmaz çeliğin üstünlükleri

Paslanmaz çeliğin üstünlükleri farklılık göstermektedir. Bu bağlamda paslanmaz çelik özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2003):

Korozyon Direnci: Tüm paslanmaz çelikler yüksek korozyon direncine sahiptir. Düşük alaşımlı tipler atmosferik korozyona karşı dirençliyken, yüksek alaşımlı tipler asitler, alkali çözeltiler ve klorürler içeren ortamlara bile dayanıklıdır. Bu çelikler yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir.

Mekanik Mukavemet: Çoğu paslanmaz çelik soğuk şekillendirme ile sertleştirilir ve artan mukavemet, tasarımdaki azaltılmış malzeme kalınlığı ve artan parça ağırlığı ve fiyatı nedeniyle önemli azalmalar elde edilebilir. Bazı türlerde malzeme ısıl işlemle çok güçlü hale getirilebilir.

Görünüm: Paslanmaz çelik birçok farklı yüzey kalitesine sahiptir. Bu yüzeylerin görünümü ve kalitesi, bakımı kolay olduğu için uzun süre kolaylıkla muhafaza edilebilir.

Hijyenik özellikler: Paslanmaz çeliğin temizleme kolaylığı, bu malzemelerin hastane, mutfak, gıda ve ilaç endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar.

İmalat Kolaylığı: Hemen hemen tüm paslanmaz çelikler kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla şekillendirilebilir.

Uzun Ömür: Paslanmaz çelik dayanıklı ve bakımı kolay bir malzeme olduğu için üretim bileşenlerinin tüm kullanım ömrü düşünüldüğünde ekonomik bir malzemedir.
Yüksek ve düşük sıcaklıklar: Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda bile kirlenme ve malzemenin mekanik mukavemetinde önemli bir azalma gözlenmez. Öte yandan bazı tipler kırılgan hale gelmez ve çok düşük sıcaklıklarda bile tokluklarını korurlar.

3.2.4.9 Paslanmaz çeliğin kullanım alanları

Paslanmaz çelik, günlük hayatın çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve daha yüksek korozyon direncine sahiptir. Paslanmaz çeliğin kullanım alanında otomotiv sanayine yönelik ısı eşanjörleri alanı da geçerlidir. Düşük karbonlu versiyonlar matbaa veya süt ürünleri ekipmanlarında, kimya endüstrilerinde kullanılmaktadır (Abuç, 2006).

Gıda sanayinde, otomotiv sanayi alanında, yükün çok ağır olmadığı birçok alanda farklı mutfaklardaki cihazlarda kullanılmaktadır. Burada paslanmaz çelik olarak tercih edilse de mekanik direnci ve sürtünme dayanımı oldukça iyi denilebilir. Çeliğin birçok kullanımı vardır. Petrokimya sahalarından buhar kazanlarına kadar 600 C sıcaklığa kadar dayanabilmektedir. Paslanmaz çeliğin kullanım alanları her geçen gün artmakta olup, gıda sanayinde, basınçlı kapların yapımında, depolama tanklarında, fırın aksamlarında, dekoratif mühendislikte ve birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Kahraman vd., 2021).

3.2.4.10. Paslanmaz çeliklerin alaşım elementleri ve metalürjik etkilerinin incelenmesi

Paslanmaz çelik özelliklerini sağlayan elementlere ek olarak, diğer bazı gereksinimleri karşılamak için isteğe bağlı olarak eklenen alaşım elementleri ve karbon vardır. Bu alaşım elementlerinin rolleri aşağıdaki gibidir (Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2003; Kahraman, Güvenç ve Fıstıkoğlu, 2021; Osmanoğlu, 2012):

Karbon (C): Karbon, güçlü bir östenit oluşturucudur. Yüksek mukavemetli alaşımlara katılarak sertliği ve mukavemeti artırma etkisine sahiptir. Kaynak metalinin korozyon direncini ve düşük sıcaklık tokluğunu olumsuz etkiler.

Alüminyum (Al): Güçlü bir ferrit jeneratörüdür. Yapısal ferritik, %12 krom içeren kaynak metali eklenerek yapılır. Bazı yüksek mukavemetli alaşımları titanyum ile birleştirerek yaşlanma sertleşmesinin etkilerini azaltır. Güçlü bir nitrür yapıcıdır.

Azot (N): Azot, güçlü bir östenit oluşturucudur. Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini önlemek için yüksek kromlu ve düşük karbonlu çeliklere eklenir. Sıfırın altındaki

sıcaklıklarda kaynak metalinin tokluğunu olumsuz etkiler. Gücü/Mukavemeti arttırmaktadır.

Bakır (Cu): Oksidasyonu azaltarak paslanmaz çeliğin korozyon direncini artırır.

Kobalt (Co): Birçok paslanmaz çelik alaşımının yüksek sıcaklıklarda sürünme ve mukavemet özelliklerini geliştirmek için eklenir.

Krom (Cr): Karbür ve ferrit sinerjistidir. Korozyona ve tufallaşmaya karşı dirençli bir alaşım elementidir. Bu elementin paslanmaz çeliğin yüksek sıcaklık dayanımı ve sürünme dayanımı üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Kükürt, fosfor ve selenyum (S, P ve Se): Bu elementlerden biri paslanmaz çeliğe az miktarda molibden veya zirkonyum ile birlikte eklenir ve paslanmaz çeliğin işleme hassasiyetini artırır. Bu üç element, kaynak metalinin çatlamasını teşvik eder.

Molibden (Mo): Karbür ve ferrit sinerjistidir. Yüksek sıcaklık mukavemetini ve sürünme direncini geliştirir. Oksitleyici olmayan ortamlarda genel korozyon direncini ve diğer ortamlarda çukurlaşma direncini iyileştirmek için kullanılır.
Nikel (Ni): Güçlü bir östenitik yapıcı ve stabilizatördür. Oksitleyici olmayan sıvılara karşı genel korozyon direncini geliştirmek için kullanılır. Bazen mekanik özellikleri iyileştirmek için krom paslanmaz çeliklere küçük miktarlar eklenir. Genel olarak kaynak metalinin tokluğunu artırma etkisine sahiptir.

Niyobyum (Nb): Güçlü bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbürlerin çökelmesine karşı stabilize etmek için kullanılır. Orta derecede bir ferrit jeneratörüdür. Sertliği ve mukavemeti etkilemek için bazı yüksek mukavemetli alaşımlara eklenir. Bazı martensitik paslanmaz çelik türlerinde, çeliğin karbon katarak sertleşme eğilimini azaltmak için eklenir. Taneler arası korozyonu önler.

Silisyum (Si): Sertleştirilmiş çeliğin çekme mukavemetini ve orantı sınırını arttırır. Soğuk şekillendirme kabiliyetini azaltır. Çeliğin direncini arttırır.

Titanyum (Ti): Güçlü bir karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbürün çökmesini önlemek için dengeleme elemanı olarak kullanılır. Güçlü bir ferrit jeneratörüdür. Yüksek sıcaklığa dayanıklı çeliğin sertliğini ve mukavemetini arttırmak için kullanılır. Yüksek mukavemetli ve ısıya dayanıklı alaşımların yaş sertleşmesini etkilemek için alüminyum (Al) ile eklenir.

Tungsten (W): Bazı süper alaşımların mukavemetini ve sürünme direncini arttırmak için eklenir. Güçlü bir ferrit jeneratörüdür.

3.3 Difüzyon Kaynağı

Katı hal kaynak usulleri dâhilinde incelenen difüzyon kaynağı, katı hal kaynağında ya da sıvı faz difüzyon kaynağında incelenebilir. Katı hal kaynağında incelendiği zaman aynı veya iki farklı malzemenin, malzemelerin ergitilmeden katı yüzeylerin arasında ortaya çıkan birleşme şeklinde tanımlanmaktadır. Difüzyon kaynağı tanımlanırken aşağıdaki şekillerde belirli tanımlamalar yapmak mümkündür (Meriç vd., 2008):

- Birleştirilmek üzere eşleşmiş olan iki yüzeyin,
- Malzemelerin ergime noktalarının altında olan bir sıcaklık bağlamında,
- Malzemelerde tespit edilebilir şekilde plastik akmaya sebep olmayan bir basınç altında,
- Katı halinde olan difüzyon yolu ile malzemelerin arasında metalürjik bir bağın oluşmasına kadar,
- Malzemelerin özelliklerinin önemli derecede etkilenmemesini sağlayan bir süreye tutulması ile uygulanan kaynak usulü şeklinde tanımlanabilir.

Bunun yanı sıra sıvı faz difüzyon kaynağında ise malzemelerin ara yüzeylerine uygulanmakta olan sıcaklık ile beraber eriyen bir tabaka kullanılması olarak tanımlama yapılabilir. Kristal yapıya sahip olan katı malzemelerden birinin atomları arasında olan çekim, kohezyon kuvvetlerini ortaya çıkarmaktadır (Kejanlı ve Avcı, 2018).

Her atom tipik olarak üzerine etki eden kuvvetin sıfır olduğu bir konumu işgal etmektedir. Bununla beraber bir katı dış kuvvetin etkisinin altında gerildiği zaman ve

atomlar denge konumlarından uzaklaştığı zaman, kristalin içerisinde dış kuvvet tarafından dengelenen bir gerilim meydana gelir.

Atomlar arasındaki çekim kuvveti, birbirinden uzaklaşmasına bağlı olarak artış gösterir ve maksimum değeri geçtikten sonra da azalmaktadır. Birbirinden farklı bağlantı yüzeyleri arasında olan çekici kuvvete yapılma denilmektedir. Aynı olan ya da birbirinden farklı olan iki katının bir araya gelmesi, yüzeyler arasında bir bağ meydana getirir. Bu bağlamda ise hem aynı tür katının yüzeyleri arasında hem de farklı türdeki yüzeyler arasında yapışmayı sağlar.
Kohezyon ve yapılma işi, serbest yüzey enerjisinin fonksiyonları olmakla beraber, aynı zamanda iki gevrek malzemeden ya da bir gevrek ve bir sünek malzemeden oluşmakta olan birleşimler için yapıştırma işi, asıl olarak bağlantı mukavemetinin bir ölçüsüdür. Kohezyon ve yapılma oluşturmak, bir diğer deyişle malzeme yüzeyleri arasındaki bağlantının sağlanması için malzeme yüzeylerinin atomlar arasındaki bağın oluşması açısından birbirine yaklaştırılması gerekir (Gürsel ve Yıldız, 2021).

Difüzyon yoluyla iki malzemeyi birleştiriken, aynı zamanda bağlantının davranışını da önemli derecede etkileyen diğer kuvvet ise Van Der Waals kuvvetidir. Bu durumda kimyasal yapılarına bakılmaksızın moleküller arası, Van Der Waals kuvveti ile etkilenmektedir. Van Der Waals kuvveti, metal yüzeyinde su buharı, yağ ve gaz gibi yabancı modeküllerin adsorpsiyonunun ana sebeplerini oluşturmaktadır. Aynı zamanda Van Der Waals kuvvetleri, malzemelerin temas halindeyken yüzeylerinin birbirine yapışmasını sağlamada önemli faktörlerden biridir (Akikol, 2005).

İki yüzey kalıntı ve makro pürüzlük olmadan temas ettirilirken, difüzyon kaynağının yapıştırma işlemi başlatılmış olur. Atomlar arasında olan bağların oluşmasına izin verecek kadar yakın olması gereken bu temasta, asıl olarak ilk bağ oluştuktan sonra sıcaklık yardımı ile difüzyonun başlaması ile birlikte; yüzey ara yüzüyindeki boşlukları doldurmaktadır. Birçok farklı model önerilen difüzyon kaynak mekanizmasında (Kaçmaz vd., 2015); sınırlı bir süre için aynı anda basınç ve ısı uygulayarak bağ oluşturma mekanizmasının karmaşık yapıda olmasını da sağlamaktadır.

Modeldeki mekanizmalar ve ilişkiler, her mekanizmanın boşluğun doldurulmasını farklı şekilde etkilediği varsayılarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, mekanizmaların etkileşimini göz ardı eder ve bazı mekanizmalar tarafından bağ oluşumu için tesislerin olduğundan fazla tahmin edilmesine yol açabilir. Yapılan araştırmalar incelendiğinde, difüzyon kaynağı mekanizması aşağıdaki şekilde özetlenmektedir (Özdemir, 2020):

- Yük altında plastik deformasyon
- Sürünme Deformasyonu
- Difüzyon
- Yeniden kristalleşme ve tane sınırı göçü

Metal folyo veya kaplama şeklinde bir ara katman kullanılarak kaynak için gerekli sıcaklık, basınç ve zaman değerleri düşürülebilir (Özçanak, 2008).

3.4 Difüzyon Kaynağına Etki Eden Parametreler

3.4.1 Kaynak sıcaklığı

Difüzyon mekanizmaları ve sürtünme, sıcaklığa bağlı olduğu için; sıcaklık asıl olarak difüzyon kaynağının en önemli parametrelerinden biridir. Alt tabakanın geriliminin azalması sıcaklığın artışına bağlıdır. Bu nedenle, yüzey pürüzlülüğünün ilk plastik deformasyonu ve sürünmesi teşvik edilir. Bu nedenle kaynak için gerekli olan temas alanını elde etme süresi kısalır (Tolun ve Çelik, 2013).

3.4.2 Yüzey şartları

Difüzyon kaynağının kalitesini etkileyen yüzey koşulları aşağıdaki gibidir (Mutlu, 2009).

- Yüzey Pürüzlülüğü
- Yüzey filmi
- Yüzey aralığı

Pürüzlülük, yüzeyler arasında tam temasın ne kadar süreceğini etkiler. Aslında metallerin yüzey pürüzlülüğü yüksekliği ve dalga boyu küçüktür. Uzun dalga boylarında pürüzlük, difüzyon kaynağında oldukça önemlidir. Bunun nedeni ise bu

durumda boşlukları gidermek amacı ile aynı anda çok yönlü basınç uygulaması ve uzun bir zaman dilimi gerekmektedir. Bunun nedeni ise difüzyonun sıcaklık ve mesafeye bağlı olmasıdır. Haddelenmiş formda, özellikle ince levhalar, iyi bir yüzeye sahip olmaları açısından avantaj sağlamaktadır. Yüzey pürüzlülüğü esas olarak ilk aşamada kalan gözeneklilikten sorumludur. Sıcaklık ve deformasyonla birlikte pürüzlülük artar. Yüzey artıkları deneysel değişkenler olarak kullanılamasa da, hemen hemen tüm yüzeylerde bir şekilde bulunurlar (Yılmaz ve Güllü, 2020). Bunlar iki gruba ayrılabilir.

- Oksit film, genellikle çok kırılgandır
- Yağ, gres, toz gibi organik veya inorganik katmanlar.

Oksit film, yaklaşık 10-20 atom derinliğine nüfuz eden bir tabakadır. H2O2, CO2 ve SO2 gibi gazlar tüm sıcaklıklarda oksit filminin kalınlığını arttırır. Oksit tabakası birleştirilecek yüzeylerin temasını engeller ve birleştirme işlemi sırasında difüzyon yoluyla sinterleşmeye neden olur, bağ oluşumunu geciktirir ve ara yüzeyde tane sınırı difüzyonunu engelleyerek boşluklara neden olur. Makroskopik, mikroskobik ve ilk temas boşluklarının olası son oluşumu oksit filmlerinden kaynaklanır (Pürçek, 2007).

Yüksek sıcaklıklarda (> 0,5 TE), birçok metal oksit (Cu, Ti, Mo, Ta, Zr ve Nb gibi elementlerin oksitleri) baz metallerde çözünür ya da dağılır. Bu bağlamda ise bağlantıya zarar vermez. AL_2O_3 gibi nitrür ve karbür filmler ve oksitler metaller arası bağların oluşumunu engellemektedir (Coşkuner Filiz, 2019). Yağ, gres, toz vb. kalıntılar üzerinde oksit filmlerle aynı etkiye sahiptirler. Bu nedenle, lehimlemeden önce yüzeyden çıkarılmaları gerekir. Oksit filmlerin uzaklaştırılması için kimyasal aşındırma ve asitleme yöntemleri kullanılmaktadır. Diğer kalıntılar 300°C'ye kadar sıcaklıklarda kurutularak yüzeyden uzaklaştırılır.

3.4.3 Kaynak basıncı

Basınç, bir difüzyon kaynağındaki iki yüzey arasında olan temas ve difüzyonu indükleyen bir kimyasal potansiyel farkını ortaya koymak için olmazsa olmazlardandır. Teması başlatmak için mutlaka yüzey oksidin yok edilmesi

gerekmektedir. Basıncın kaynak sırasında yapılması ile beraber, difüzyon kaynağı aşağıdaki şekillerde etkilenmeye başlamaktadır (Keskin, 2019):

- Çözünmeyen yüzey oksitlerini yok eder ve metal-metal temas alanını arttırır.
- Bağlanacak yüzeyleri atomlar arası mesafede birbirine yaklaştırarak atomlar arasındaki çekimi harekete geçirir.
- Difüzyon için kimyasal potansiyel farkı yaratır.
- Yüzey pürüzlülüğünün plastiğin akmasına yardımcı olur.

Tüm bunlara ek olarak uygulanan baskının olumsuz etki yapmaması için dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlar (Kejanlı ve ark., 2017):

- Kaynak presine yapıştırılacak parçaların plastik hacim deformasyonunu en aza indirmek için akma gerilmesi altında tutulur.
- Uygulanan basınç izostatiktir. Yapılan araştırmalar kapsamında araştırmacıların, basıncın uygulanma hızının kaynak deformasyonu ya da mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olmadığını öne sürdüğü incelenmiştir.
- Uygulanan basınç, yüzey pürüzlülüğünün sünme hızını ve plastik deformasyonunu artıracak kadar yüksek, kaynak yapılacak parçalarda makroskopik deformasyona neden olmayacak kadar düşük seçilmelidir.

Difüzyon kaynağındaki farklı malzemeler için uygun basınç değerleri günümüze kadar 41 KPa ile 27 MPa şeklindedir.

3.4.4 Kaynak süresi

Kaynağın düzgün bir şekilde elde edilmesi için gerekli olan süre, basınç ve sıcaklığa bağlıdır. Basınç ve sıcaklık artış gösterdikçe lehimleme süresi de kısaltılabilir. Bununla beraber kirli yüzeylerde ve düşük sıcaklıklarda çalışırken süre uzatılmalıdır. Yapılan araştırmalar kapsamında araştırmacıların, bağ süresini sabit basınç ve sıcaklıkta uzatmanın bağ gücünü bir noktaya kadar artırdığı incelenmiştir. İntermetaliklerin oluşumu, tane büyümesi, süperplastik şekillendirilebilirlik ve bağ mukavemeti zamanla olumsuz olarak meydana gelir. Metalürjik etkilerin bağlanma süreleri üzerinde çok etkili olmadığı ve pratik uygulamalarda bağlanma sürelerinin

kısa tutulmasının ekonomik ve gelişimsel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (Kejanlı, 2007).

3.4.5 Kaynak ortamı

Kaynak işlemi koruyucu bir atmosferde yapıldığı zaman difüzyon kaynağında, parçaların yüzeyinin ve ara yüzünün oksitlenmesi önlenmektedir. Bu amaçla kaynak, vakumda veya inert gaz atmosferinde gerçekleştirilir. Argon, nitrojen veya helyum veya bu gazlardan herhangi biri soy gaz olarak kullanılabilir. Oksijen seviyelerini en aza indirmeye yardımcı olan hidrojeni azaltan bir atmosfer olarak düşünülebilir. Ancak titanyum, tantal, hidrojen, hatmi, niyobyum ve zirkonyum alaşımlarında hidratlar oluşturduğu için bu malzemelerin kaynağında tercih edilmemektedir. Asil gazlar atmosferik oksijenin etkisini bir şekilde azalttığından, oksitle stabilize edilmiş metallerde vakum kullanılmamaktadır.

3.5 Birleştirilecek olan malzemelerin tane boyutları ve mikroyapıları

Tane boyutu, mikro yapı, ek metallerin (ara katmanlar) kullanımına ait tane boyutları gibi özelliklerde difüzyon kaynağını etkileyen parametreler arasındadır. Dubleks titanyum alaşımları kullanılarak yapılmış çalışmalar, birbirinden farklı mikro yapıların farklı sürtünme oranlarına sahip olduğunu göstermiştir. Bu farklı yapılar şunlardır (Al-Rubaye, 2021):

- İnce Taneli Küre,
- Lamel,
- Katman tipleri olarak üç grup halinde kontrol edilir.

Difüzyon bağlama için en çok istenen yapının küçük ince taneli bir yapı olduğu incelenmiştir. Bu küçük ince taneli yapı aynı zamanda süperplastik alaşımlarda kullanılabilir. Katmanlı tanelerin artması ile beraber, sürünme hızı da azalmaktadır. Sonuç olarak ise kesişme noktalarında boşlukların varlığı devam etmektedir. Bunun yanı sıra katmanlı yapının diğer iki yapıya göre daha düşük sünme hızına sahip olduğu yine yapılan araştırmalarda incelenmiştir. Çift fazlı alaşımlar için, iki fazın oranı, yayılma ve sertlik değeri için kayda değer bir etkiye sahiptir (Çalıgüllü, 2008). Fazların difüzyon hızlarının yüksek olması, düşük sünme hızına sahip fazlara oranlarının

sıcaklığın etkisi ile artış göstermesine neden olurken, bağ oluşumu da olumlu anlamda etkilenmektedir. Colvo, alüminyumu ve difüzyon kaynağındaki bakımını incelemiş ve katı halde birbiri içinde tam olarak çözünmeyen bu metalleri, özellikle intermetalik ve ara küme oluşumu açısından incelemiştir. Bu bağlamda ise başlangıçtaki mikro yapının bu oluşumunda kritik olduğu söz konusudur.

Tane boyutu, kaynak sırasında ve sonrasında bağlantı mukavemeti için çok önemlidir ve kaynağın ilk aşamalarında boşluklar tane sınırlarıyla kesişir. Bu nedenle, çok sayıda tane sınırları boşlukları önleme işlevi görür. Atomlar bu tane sınırlarından uzaya yayılır ve onları küçültür. Tane boyutu küçüldükçe ve tane sayısı arttıkça difüzyonun boşlukları doldurması kolaylaşır ve kesişme noktasında kalma olasılıkları azalır. Ara malzemelerin kullanımında asıl amaç difüzyon kaynağında birleştirme işlemini hızlandırmak ve bu bağlamda yine birleştirmenin mekanik özelliklerini iyileştirmek ya da birbirine benzemeyen metal ve metal olmayan malzemelerin (cam, seramik, kompozitler vb.) kaynağında interdifüzyon oluşturulmasıdır. Bunun yanı sıra ise genel olarak ek (ara) materyalin kaynağında sağladığı faydalar vardır. Bu faydalar ise aşağıdaki gibidir (Pürçek, 2007).

- Ana metal çözülerek mekanik bir bağ oluşturur.
- Farklı malzemeler karıştırıldığında intermetalik faz oluşumunu engeller.
- Ön ısıtma sırasında birleştirilecek yüzeyleri yüksek sıcaklıklarda oksidasyondan korur.
- Elektrokaplama veya iyon kaplama ile malzemenin difüzyon özelliklerini iyileştirir.
- Düşük alan gerilimine sahip malzeme veya sıvı içeren alanlar oluşturarak oksit filmlerini bozar.
- Kesişen boşlukta geçici bir sıvı faz oluşturarak yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkilerini en aza indirir.

3.6 Difüzyon kaynağı yapılan malzemeler

Difüzyon kaynağı günümüzde birçok farklı alanlarda kullanılırken, aynı zamanda birbirinden farklı malzeme için de yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir. Uçak parçalarının üretilmesinde sıklıkla kullanılır ve başarılı uygulamalar gerçekleştirilir.

Titanyum alaşımlarından yapılan bu parçalar ile beraber yakın zamanda yine nikel bazlı alaşımlar, titanyum alüminitler, yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlar, metal matrisli kompozitler difüzyon kaynağı ile birleştirilmektedir. Difüzyon kaynağı için en yaygın kullanılan metal titanyumdur. Titanyum alaşımları ara malzeme olmadan kolayca kaynaklanabilir. Titanyum, yüksek sıcaklıklarda basınç uygulandığında, kendi oksitleri de dahil olmak üzere yüzey kalıntılarını çözeltiye emme kabiliyetinden dolayı difüzyon kaynağı için uygundur (Kejanlı vd., 2017).

Titanyumu difüzyon kaynağına uygun kılan bir diğer özellik ise yüzeyinin temizlik gerektirmemesidir. Ergime kaynağına uygun olmayan titanyumun, bu metalin difüzyon kaynağıyla birleştirilmesini mecburi kılar. Bunun yanı sıra süperplastik titanyum alaşımları, sıcaklık olarak 880°C ila 940°C arası sıcaklıklarda ve aynı zamanda basınç olarak da 0,6 ila 2 MPa arasındaki basınçlarda 3 saat gibi bir zaman diliminde kolay bir şekilde birleştirilebilmektedir. Dolayısıyla titanyum alaşımlarının difüzyon kaynağında kullanılmakta olan ara katman, yapılan araştırmalardan incelendiği üzere saf titanyumdan meydana gelir (Aydın vd., 2017). Ti alaşımlarından yapılmış fan kanatlarına bakır ve nikel ara katmanları difüzyon lehimlemesi için bırakılmaktadır. Büyük tane yapılı titanyum alaşımları için ise küçük taneli süperplastik titanyum alaşımları, azaltılmış bir basınç altında ara katmanlar şeklinde kullanıldığı zaman sağlam bitişik metallerin elde edilmesini sağlamaktadır.

Alüminyum alaşımlarının difüzyon kaynağı, inatçı yüzey oksitleri nedeniyle zorlaşır (Subaşı ve Karataş, 2012). Bununla birlikte, yapıştırma alanında yüksek sıcaklıkların ve büyük ölçekli deformasyonların uygulanmasının inatçı oksit tabakasını tahrip edebileceği ve ara tabakanın difüzyon kaynağının yüzey kaplamalarının kullanılmasıyla veya daha düşük basınçlarda kolaylaştırıldığı bulunmuştur. Bunun yanı sıra ise süperplastik alüminyum alaşımlarının ve alüminyum metal matrisli kompozitlerinin geliştirilmesi ile beraber, mukavemetin difüzyon kaynağına olan talepler de artış göstermiştir (Tolun ve Çelik, 2013).

3.7 Difüzyon kaynağı teknikleri

Günümüzde difüzyon kaynağı iki farklı amaç şeklinde yapılır. Bunlar:

- Bilimsel araştırma için, araştırma amaçlı.
- Parçayı mevcut teknolojiyi kullanarak üretir.

Birincisi ile test edilebilecek difüzyon kaynaklarının tipi geliştirilebilirken, ikincisi ile istenilen elementler elde edilebilir. Difüzyon kaynağı, birleştirilen malzemede ek malzemelerin kullanılıp kullanılmadığına bağlıdır:

1 - Difüzyon lehimleme (folyolu).
a - Yalnızca bir ara katman kullanılarak difüzyon lehimleme.
b - Çoklu katmanlar kullanılarak difüzyon lehimleme.
2- Burst Sıvı Toz Kaynağı
3- Doğrudan Difüzyon Kaynağı

Difüzyon lehimleme aşamasında birleştirilecek olan yüzeylerin arasına, erime sıcaklığı ana malzemeden daha düşük olan bir ilave malzeme levhası yerleştirilmektedir. Bu bağlamda ise çok katmanlı ara katmanlar, termal ve diğer faktörleri gidermenin ek etkisine sahiptirler. Geçici bir sıvı faz kaynağını, bir veya her iki yüzeyinin basınç altında eridiği ve kısa sürede hızla soğuduğu ve ilk aşamada hızla ısındığı yayılımlı bir kaynak olarak tanımlar. Difüzyon lehimleme ve difüzyon kaynağında yüzeyin çok hassas bir şekilde işlenmesi gerektiği iyi bilinirken, flaş sıvı faz kaynağında 80-grit zımpara kâğıdı veya hassas tornalama yeterlidir. Difüzyon kaynağı, uygulama ortamına göre kontrol için iki gruba ayrılır.

- Koruyucu gaz altında difüzyon kaynağı.
- Vakum ortamında Difüzyon Kaynağı.

Difüzyon kaynakları endüstriyel kullanım için büyük kütleli parçalara uygulanırken, aynı zamanda ince saclara da uygulanmaktadır. Bu anlamda da iki kategoriye ayrılmaktadır. Kalın kesitli işlenmiş parçaların basınç altında mekanik bir şekilde birleştirilmesini içeren kütle difüzyon kaynağı, uygulama alanında kaynak atmosferi olarak farklı şekillerde kullanılır. Bunlar;

- Basınç olarak ise mekanik,

- Hava,
- Hidrolik,
- İnert gaz veya vakum,
- İzostatik basınç,
- Diferansiyel termal genleşmedir.

Japon araştırmacılar, bir dizi Ti-6AI-4V alaşımlı uçak parçasını 10'3 Pa vakum ve 900 °C sıcaklık altında 2,94 MPa basınç altında 2 saat boyunca kaynak yaparken, şekillendirilmiş, işlenmiş veya dövme parçaları değiştirmişlerdir. Bununla beraber Isıtma, elektrik direnci, atmosfer kontrollü fırınlar veya indüksiyon bobinleri ile olabilmektedir (Tolun ve Çelik, 2013).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney aşamasında belirli ölçülerde kesilmiş 430 paslanmaz çelik ve GR2 tabakalar arasında herhangi bir malzeme olmaksızın farklı sıcaklık, basınç ve sürelerde difüzyon kaynağı ile kaynak edilebilirliği test edilmiştir. Bu aşamalardan sonra Kopma Deneyi, Vickers Mikrosertlik Ölçümü ve Mikroyapı Analizi kullanılmış ve numuneler bu testlere göre yorumlanmıştır.

Kullandığımız 430 paslanmaz çelik levhanın kimyasal bileşenleri Tablo3.4'deki gibidir. GR2 levha ise %99,2 saflıkta titanyum içermektedir.

Tablo 4.1 430 paslanmaz çeliklerinin kimyasal analizi (% ağırlık)

Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
430	≤0,12	≤1	≤0,045	≤0,03	≤1	16≤18	≤0,75

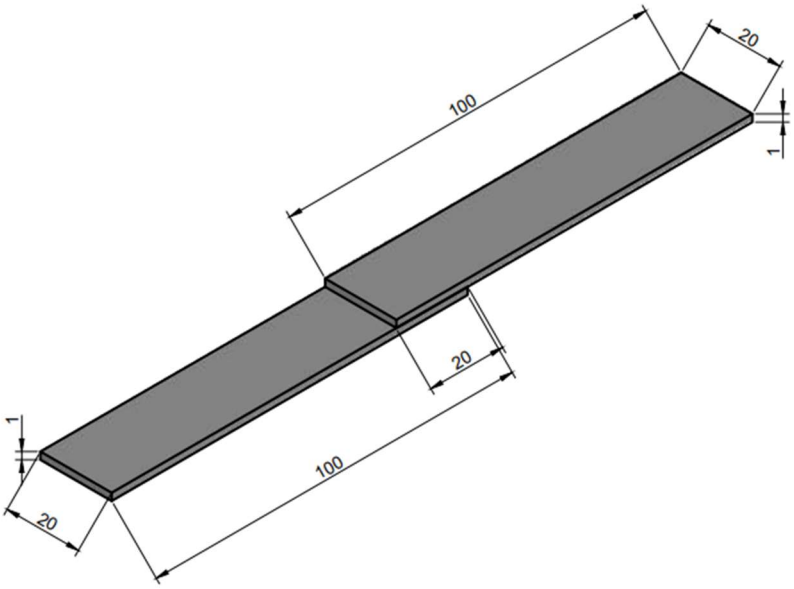
4.1 Numunelerin Hazırlanışı

430 paslanmaz çelik ile GR2 tabakalar Metcon Micracut 151 markalı cihazda dijital konumlandırması sayesinde 1x20x100 mm boyutlarında sentetik soğutma sıvısı yardımı ile kesilmiştir (Şekil 4.1).

Kesilen tabakaların birleşecek yüzeyleri; hem üst üste gelecek yüzeyler arasında istenmeyen kalıntıların temizlenmesi için hem de temas eden yüzeylerde kaynağın tutma oranını artırmak için 300'den 1200 gride kadar silisyum karbür zımparalarla aşındırılmış, ultrasonik titreşim cihazında alkol ile aşındırılan yüzeyler temizlenmiştir. Temizlenen numuneler kuru hava ile kurutulmuştur.



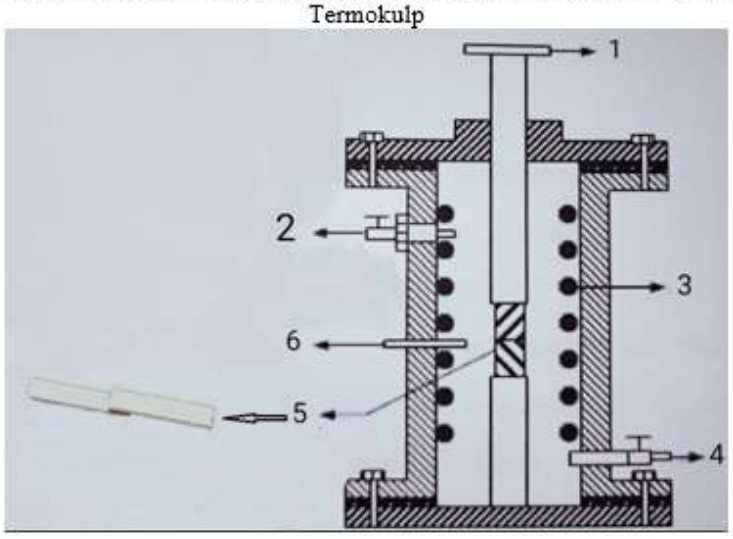
Şekil 4.1 Hassas Kesme Cihazı



Şekil 4.2 Difüzyon yapılacak numunelerin şematik görseli

Kesilen numuneler Şekil 4.2'deki gibi 1x20x20 mm ölçülerinde üst üste gelecek şekilde konumlandırılmıştır. 1, 2 ve 3 MPa basınca maruz kalacak şekilde kaynak ekipmanına yerleştirilmiştir.

1-Basınç 2-Argon gazının çıkış yeri 3-Isıtma Bobini 4-Argon gazının çıkış yeri 5-Deney numunesi 6-Termokulp



Şekil 4.3 Kullanılan deney ekipmanı

Difüzyon kaynak işlemi için Tablo 4.2'de belirtilmiş kaynak parametreleri kullanılmıştır. Kaynak için hazırlanmış numunelerin üzerinde olası bir oksitlenme ihtimaline karşılık 4 lt/dk hacimsel debide %99,9 saflıkta argon gaz atmosferi oluşturulmuş ve difüzyon kaynağı bu atmosfer altında gerçekleşmiştir (Şekil 4.3).

Tablo 4.2. 430 paslanmaz çelik-GR2 malzemelerinin kaynak parametreleri

DENEY NO	DİFÜZYON KAYNAK PARAMETRELERİ		
	SICAKLIK (^{0}C)	SÜRE (Dk)	BASINÇ (MPa)
1	980	60	1
2	980	70	2
3	980	80	3
4	1000	60	2
5	1000	70	3
6	1000	80	1
7	1020	60	3
8	1020	70	1
9	1020	80	2

4.2 Optik Mikroskop Analizi

Kaynaktan sonra nihai ürünlerde difüzyon kaynağı işleminden dolayı oluşan farklılıkları incelemek için numuneler birleşme yüzeyine dik tutulup kesme cihazında kesilmiştir. Kesilen parçalar mikroyapı ve mikro sertlik işlemlerinde parçayı sabitleyip daha iyi gözlemleyebilmek için bakalite alınmıştır.

Bakalitli parçaların yüzeylerine tekrar 300'den 1200'e silisyum karbür zımparalama işlemi uygulanarak pürüzsüz hale getirilmiştir. Aşınan yüzeyler ultrasonik cihazda alkol ile temizlendikten sonra kuru hava ile kurutulmuş ve 9-6-3 µm ölçeğinde elmas pastalı çuha ile parlatılmıştır.

Parlatılan yüzeyin incelenmesi için dağlama işlemi uygulanmıştır çünkü parlatılan malzeme ışığı yansıtır ve yansıyan ışık içyapının görülmesini zorlaştırır. Dağlama işlemi tam bu noktada uygulandıktan sonra yüzeyde bir zıtlık meydana gelir ve bu şekilde malzemelerin mikroyapıları, kalıntıları, çatlakları, gözenek durumu ve kaynak birleşme yerinin kalitesi incelenebilir (Kejanlı, 2007).

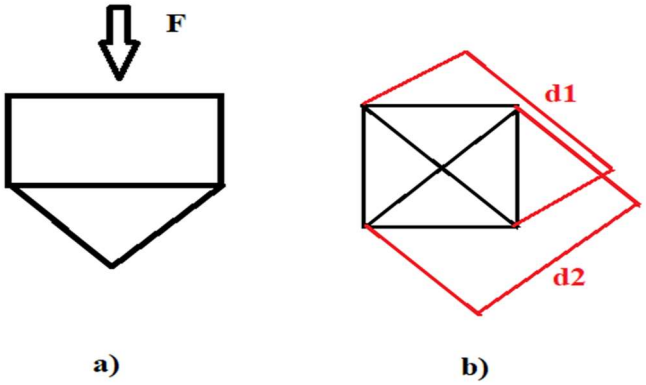


Şekil 4.4 Optik Mikroskop Cihazı

Dağlama işlemine büyük özen gösterilmiştir çünkü iki farklı malzeme içermektedir. 430 paslanmaz çelik FCl_3 8,5 gm, $CuCl_2$ 2,4 gm, alkol 122 ml, HCl 122 ml, HNO_3 6 ml çözeltisi ile dağlanmıştır. GR2 levhanın dağlayıcısı Kral Suyu çözeltisi yani HNO_3+3HCl çözeltisidir. Saf titanyum levhalar suda çözünmüş kral suyu ile dağlanmıştır. Yüksek hassasiyetle uygulanan bu çözeltiler ince bir tabaka halinde malzeme yüzeyinde 20 saniye bekletilmiştir. Daha sonra su ve alkol yardımıyla temizlenip, kuru hava ile kurutulmuştur. Mikroyapının incelenmesi ve dijital görüntülerinin alınması için NIKON Epiphot 200 marka metalürjik optik mikroskop cihazı (Şekil 4.4) kullanılmıştır.

4.3 Mikro Sertlik Testleri

Kaynaktan sonra birleşen numunelerin birleşme yerlerindeki sertliği HV cihazında ölçmek için piramit uçlu basma ucu ile numuneye baskı uygulanır ve yüzeyinde karşılıklı kenarları birbiri ile aynı dik bir dörtgen alan oluşur (Şekil 4.5). Bu izin köşelerinin uzunlukları hesaplanarak sertlik sonucuna ulaşılır (Biçen, 2019).



Şekil 4.5 Sertlik testinin prensibi a) Basma ucu b) Köşegen uzunlukları

Numulerin üzerine AOB markalı Hardness Vickers Test aracılığıyla 0,5 kg yükün 10 saniye uygulanmasıyla ölçülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Mikro Sertlik Cihazı

4.4 Çekme Testi

Girilen parametrelerle Taguchi analiz yöntemi L_9 ortogonal dizisine göre deney sayısı 9'a indirgemiştir. 9 adet deney numunesinin çekme testinde hem statik hem dinamik test için kullanılabilen Instron BS 8801 marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.7). 180 mm uzunluğunda olan birleşmiş numuneler t yuvalı kurt ağzına yerleştirilerek özenle konumlandırılmış ve numunelere ayrılma gerçekleşene kadar 3 mm/dk hızda yük uygulanmıştır.



Şekil 4.7 Instron BS 8801 Çekme Test Cihazı

4.5 Taguchi Yöntemi, Deneyin Tasarlanması ve Modellenmesi

Taguchi ismini mucidi ve geliştiricisi olan japon uyruklu Genichi Taguchi'den almaktadır. Taguchi yöntemi mühendislikte temel olarak deney süresini, deney adedini kısaltmak ve maliyeti düşürmek için kullanılmaktadır (Özüak, 2008).

İstatiksel verilere dayanan bu program girilen parametreleri tanır, etki oranını hesaplar ve bu değerlere dayalı bir süreç oluşturur. Bu süreç hem zaman ve maliyetten tasarruf sağlarken aynı zamanda kaliteyi artırıcı bir sonuçtur. Bu sürecin hesaplanması sinyal/gürültü (S/N) toleransı adı verilen; sinyalin ortalamayı gürültününse standart sapmayı temsil ettiği logaritmik bir denklem ile sağlanmaktadır (Yıldız, 2017). S/N oranı aşağıdaki gibi üç şekilde hesaplanabilir:

1-En az - En mükemmel

$$S/N = -10.\log(\Sigma Y^2 /n) \quad (4.1)$$

Bu denklemde "Y" sıfıra yakınsanır, bu durumda en az olan en mükemmel sonuçtur.

2-En çok - En mükemmel

$$S/N= -10.\log[\Sigma(1/Y^2)/n] \quad (4.2)$$

Bu denklemde “Y” değeri sonsuza yakınsanır. Eksi değer değildir, hesaplanır.

3-Orta – En iyi

$S/N \text{ Oranı} = 10.\log(\Sigma(Y-m)^2/S^2)$ (4.3)

Bu denklemde “Y” değeri ortadır yani en iyi değer ortadır ve varyasyon sıfırdır.

4.6 Varyans Analizi (ANOVA)

Bu analiz yine Taguchi yöntemiyle bağlantılı olup parametrelerin etki düzeyinin hesaplanmasında rol oynar. Formülü temel olarak her parametrenin serbestlik derecesine ve tüm parametrelerin kareleri toplamının birbirine oranlanmasına dayanır (Yıldız, 2017).

Kareler toplamı aşağıdaki denklem ile ifade edilir;

$$KT = \frac{k}{N \times n}\sum_{t=1}^{\infty} T_t^2 - \frac{T^2}{N \times n}$$

Burada;

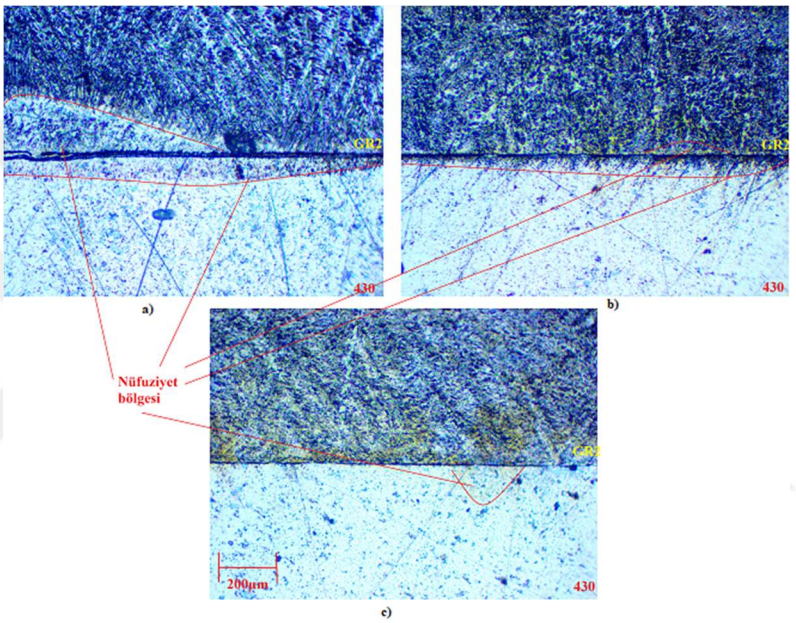
KT = Kareler toplamı
k = Ortogonal dizindeki seviye sayısı
t = Her faktörün seviyesi
T_t = Her faktöre ait sonuçların toplamı
T = Deney sonuçlarının toplamı
N = Deneme sayısı

Şekil 4.8 Kareler toplamı denklemi

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

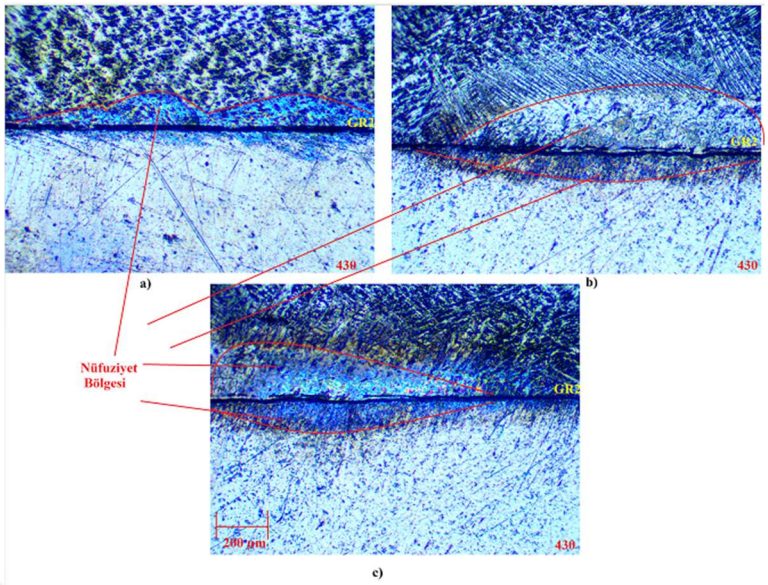
Çalışmada 430 paslanmaz çelik ve GR2 levhaların difüzyon kaynağı uygulamasıyla birleştirilmesi sağlanmıştır. Kaynak sonrası oluşan numunelere mikrosertlik, çekme ve mikroyapı testleri uygulanmıştır. ANOVA programında kopma testinde elde edilen sonuçlar kullanılarak parametrelerin etki oranları belirlenmiş ve belli bir doğruluk oranı hesaplanmıştır.

5.1 Kaynak Sonrası Mikroyapı Karakterizasyonları



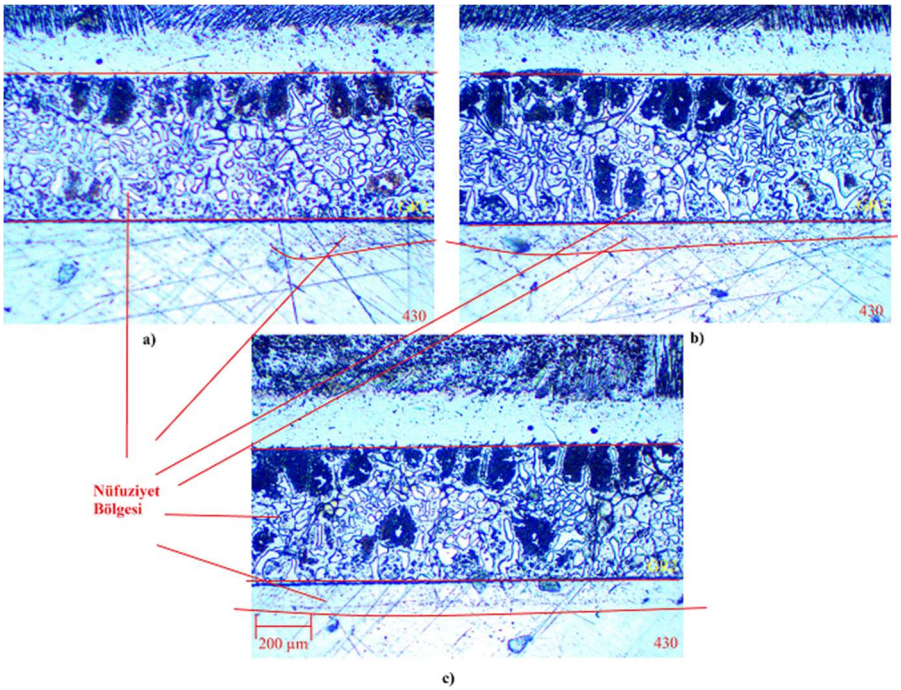
Şekil 5.1 980°C de kaynaklanmış numulerin mikroyapı görüntüleri a) 980°C, 60 dk, 1 MPa b) 980°C, 70 dk, 2 MPa c) 980°C, 80 dk, 3MPa

Şekil 5.1'de 980 ºC de 60,70,80 dakika bekleme sürelerinde kaynaklanmış bakalitli numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Birleşme kısmından saf titanyum tarafına ilerledikçe 200 µm uzunluğunda nüfuziyet oluşmuştur. 430 paslanmaz çelik tarafında ise 100 µm uzunluğunda nüfuziyet görülmüştür.



Şekil 5.2 1000°C kaynaklanmış numulerin mikroyapı görüntüleri a) 1000°C, 60 dk, 2 MPa b) 1000°C, 70 dk, 3 MPa c) 1000°C, 80 dk, 1 MPa

Şekil 5.2'de 1000ºC de 60, 70, 80 dakika bekleme sürelerinde kaynaklı bölgelerde oluşan nüfuziyet gösterilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte difüzyon oranı artmıştır. Kaynağın birleşme kısmından saf titanyum tarafına 400 µm mesafe nüfuziyet görülmüştür. 430 paslanmaz çelik tarafında ise 200 µm mesafe nüfuziyet oluşmuştur.

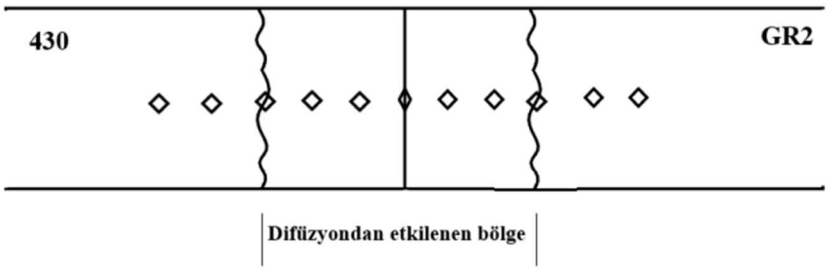


Şekil 5.3 1020°C kaynaklanmış numulerin mikroyapı görüntüleri a) 1020°C, 60 dk, 3 MPa b) 1020 °C, 70 dk, 1 MPa c) 1020°C, 80 dk, 2 MPa

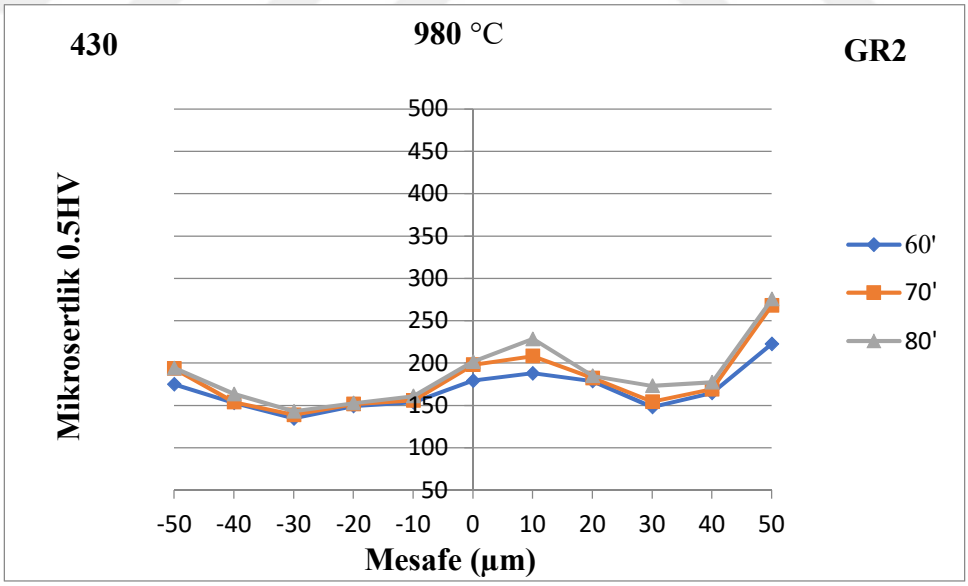
Şekil 5.3'de 1020ºC de 60, 70, 80 dakika bekleme sürelerinde kaynaklanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Sıcaklık arttıkça kaynak birleşim yerindeki difüzyon oranı artmıştır. Kaynak birleşme yerinden saf titanyum tarafına 600 µm uzunluğunda nüfuziyet alanı oluşmuştur. 430 paslanmaz çelik tarafında ise 200 µm mesafe nüfuziyet bölgesi görülmüştür.

5.2 Mikrosertlik Test Sonuçları

Bu işlem için kaynaklanmış numunelerin birleşme alanından yani difüzyonun oluştuğu kısımdan başlanarak belirli uzaklıklarda 11 noktadan sertlikler ölçülmüştür.



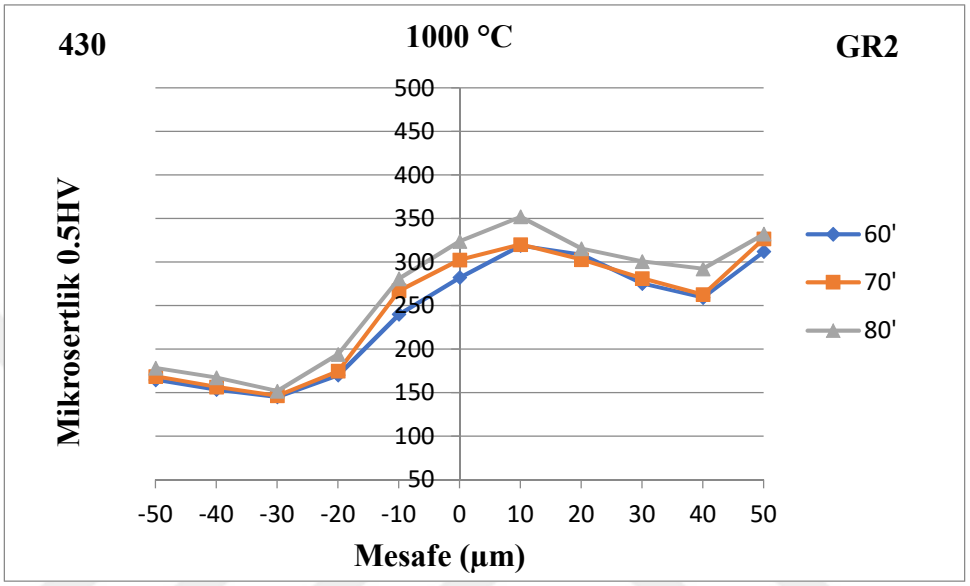
Şekil 5.4 Mikro sertlik deneylerinde ölçüm yapılan bölgelerin gösterimi



Şekil 5.5 980°C'de 60, 70 ve 80 dk bekleme sürelerinde kaynaklanmış numunelerden alınan sertliklerin grafiği

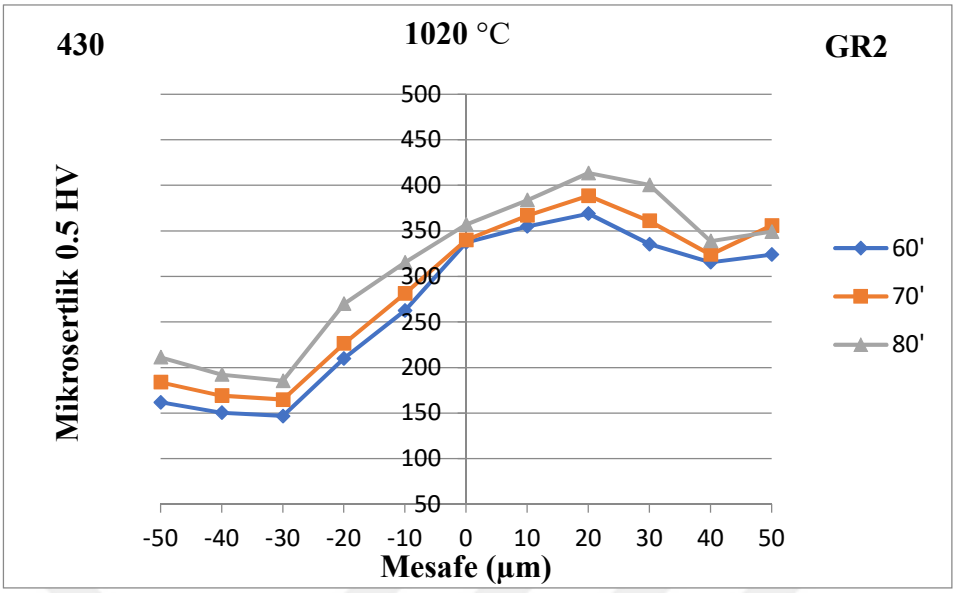
980°C'de 60, 70, 80 dakika bekleme sürelerinde birleştirilmiş numunelerin grafiği Şekil 5.5'de verilmiştir. Malzemenin birleşme kısmından 430 paslanmaz çeliğe doğru 10-20 mikron mesafede sertlikte 20-40 HV düşüş meydana gelmiştir. GR2 tarafında

ise 10 mikron mesafede 10-20 HV artış meydana gelmiştir. Alınan sertlik değerlerine göre 980ºC de en yüksek sertlik değeri 430 paslanmaz çelik için 70 dakika bekleme süresinde 193,6 HV; GR2 için 80 dakika bekleme süresinde 275,6 HV olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.6 1000°C'de 60, 70 ve 80 dk bekleme sürelerinde kaynaklanmış numunelerden alınan sertliklerin grafiği

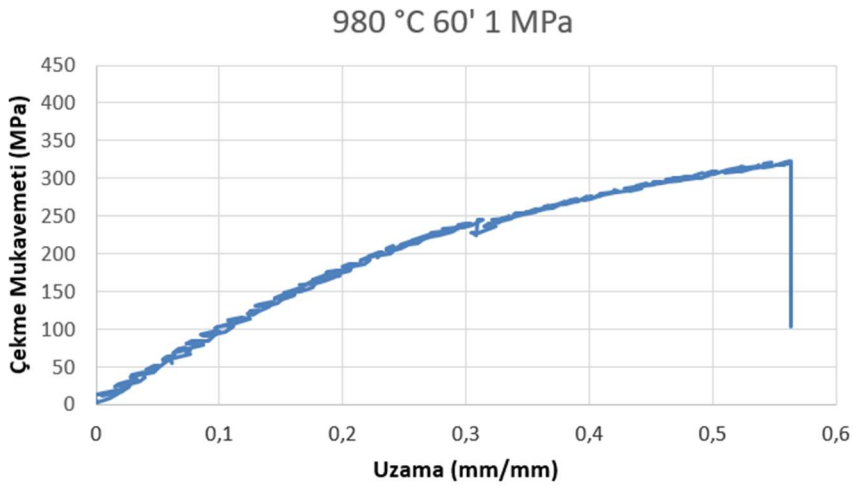
Malzemenin birleşme kısmından 430 paslanmaz çeliğin tarafına doğru 10-20 mikron mesafede alınan sertlik değerlerinde 40-70 HV düşme olmuştur. GR2 tarafında ise 10 mikron mesafede 20-30 HV artma gerçekleşmiştir. Alınan sertlik değerlerine göre 1000ºC de en yüksek sertlik değerleri 430 paslanmaz çelik için 80 dakika bekleme süresinde 178,4 HV; GR2 için 80 dakika bekleme süresinde 332,3 HV olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.7 1020°C'de 60, 70 ve 80 dk bekleme sürelerinde kaynaklanmış numunelerden alınan sertliklerin grafiği

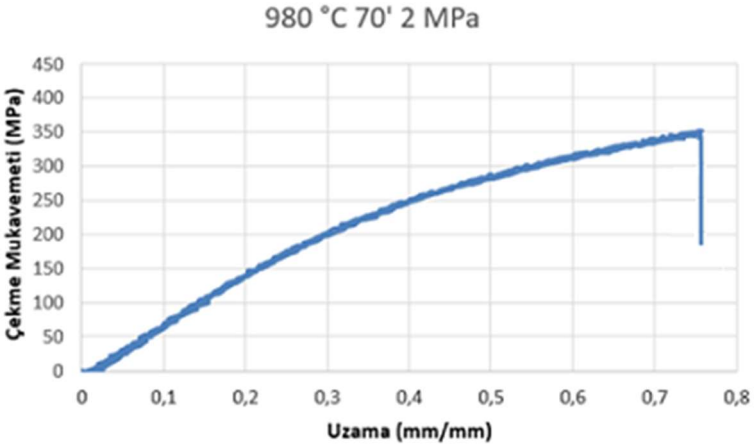
Malzemenin birleşme kısmından 430 paslanmaz çeliğe doğru 10-20 mikron mesafede alınan sertlik değerlerinde 40-70 HV düşüş meydana gelmiştir. GR2 tarafında ise 10 mikron mesafede 20-30 HV artış meydana gelmiştir. Alınan sertlik değerlerine göre 1020ºC de en yüksek sertlik değeri 430 paslanmaz çelik için 80 dakika bekleme süresinde 211,3 HV; GR2 için 70 dakika bekleme süresinde 355,9 HV olarak ölçülmüştür.

5.3 Çekme Testi Sonuçları



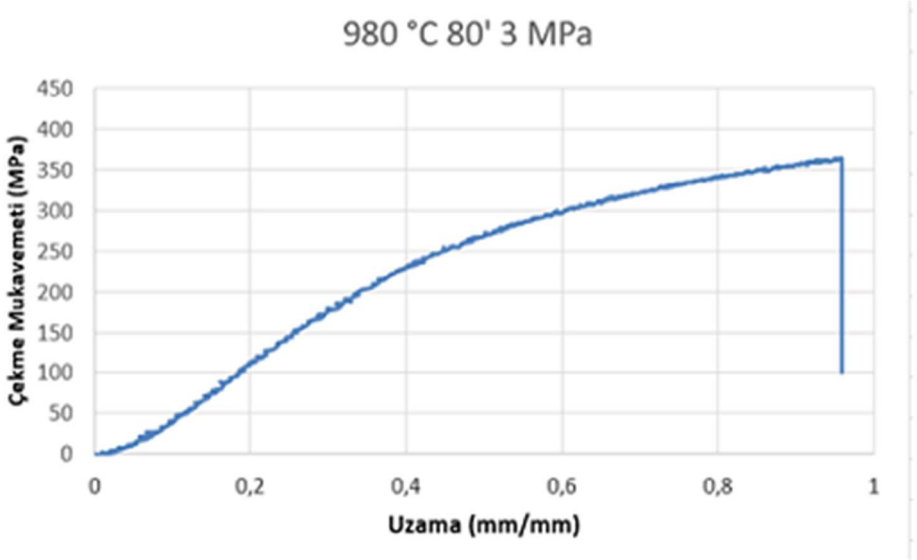
Şekil 5.8 980°C' de 60 dk, 1 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

980°C de, 1 MPa basınç altında, 60 dk bekleyen numunenin çekme grafiği Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Grafiğe göre 248,988 MPa basınçta akmaya başlamış 322,8206 MPa basınç altında kopmuştur. Bu basınçta numune 0,56 mm uzama göstermiştir.



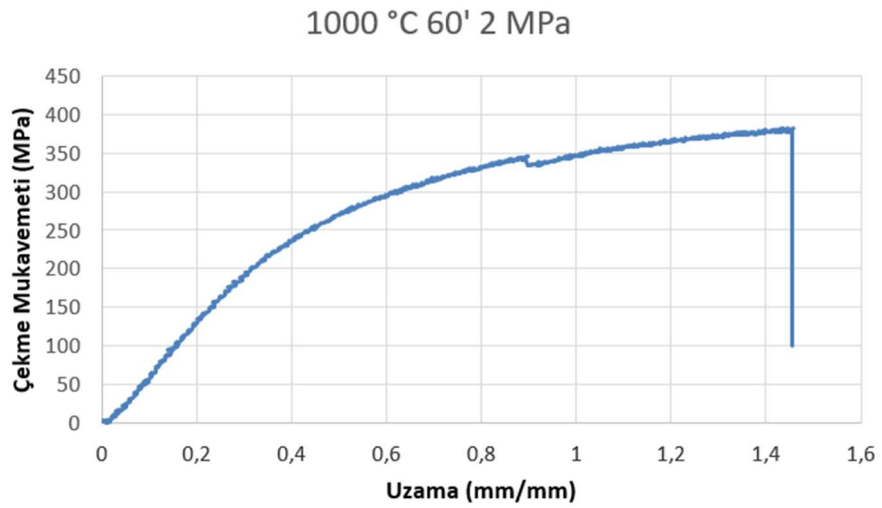
Şekil 5.9 980°C' de 70 dk, 2 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

Şekil 5.9'daki grafikte 980°C de 70 dk bekleme süresi ve 2 MPa basınç uygulanan numunenin 97,916 MPa basınç altında akmaya başlamış 352,1707 MPa basınç altında ise kopmuştur. Uzama miktarı ise 0,74 mm olarak ölçülmüştür.



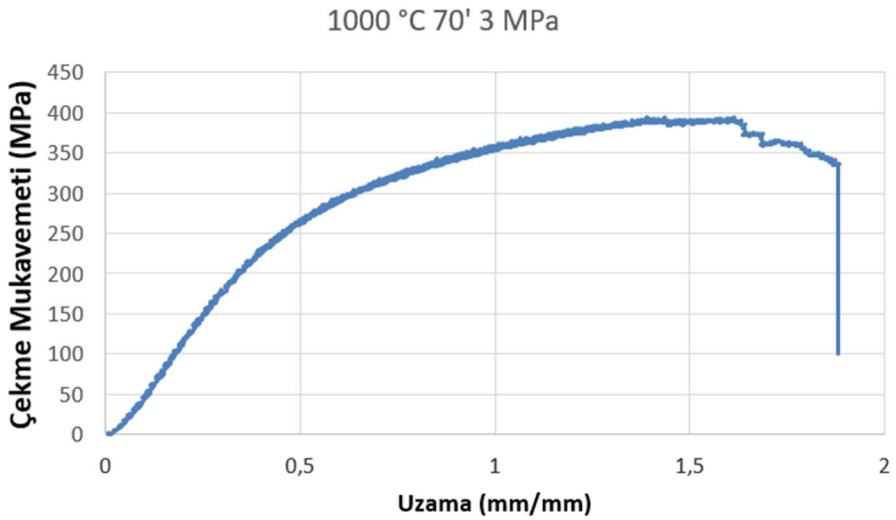
Şekil 5.10 980°C' de 80 dk, 3 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

980°C de, 3 MPa basınç altında, 80 dk bekleme süresinde bekletilen numune Şekil 5.10'daki grafiğe göre 101,228 MPa basınç altında akmaya başlamış ve 367,1165 MPa basınç altında kopmuştur. Bu basınçta numune 0,95 mm uzama göstermiştir.



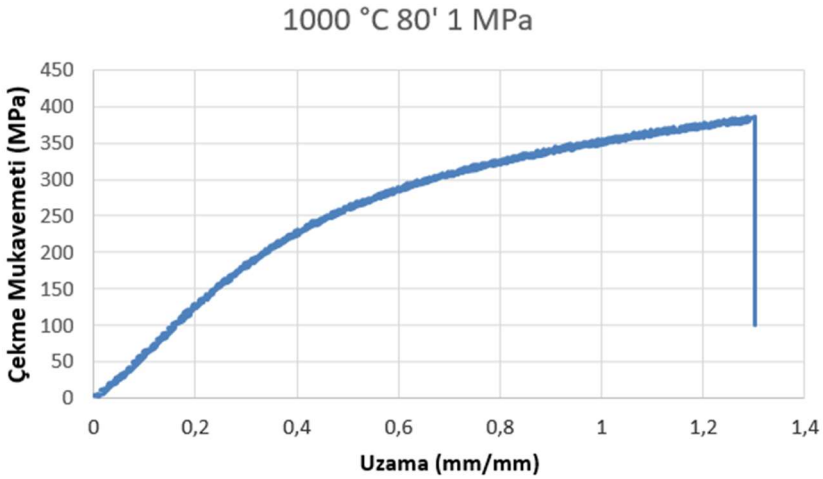
Şekil 5.11 1000°C' de 60 dk, 2 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

Şekil 5.11'deki grafikte 1000°C de 60 dk sürede 2 MPa basınç altında bekleyen numunenin akma noktası 348,675 MPa basınç altında başlamış ve 382,0365 MPa basınç altında kopmuştur. Numune 1,45 mm uzama göstermiştir.



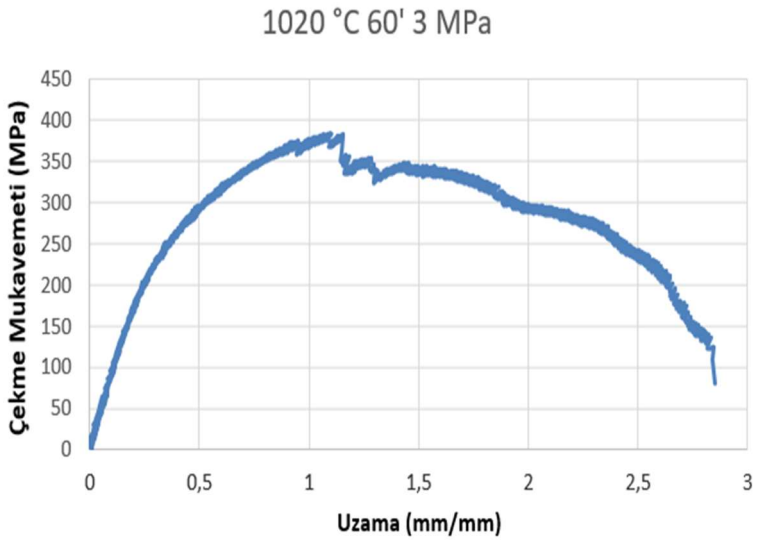
Şekil 5.12 1000°C' de 70 dk, 3 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

Şekil 5.12'deki grafikte 1000°C de 70 dk sürede 3 MPa basınç altında bekleyen numunenin akma noktası 247,881 MPa basınç altında başlamış ve 393,9243 MPa basınç altında kopmuştur. Bu basınç altında numune 1,88 mm uzama göstermiştir.



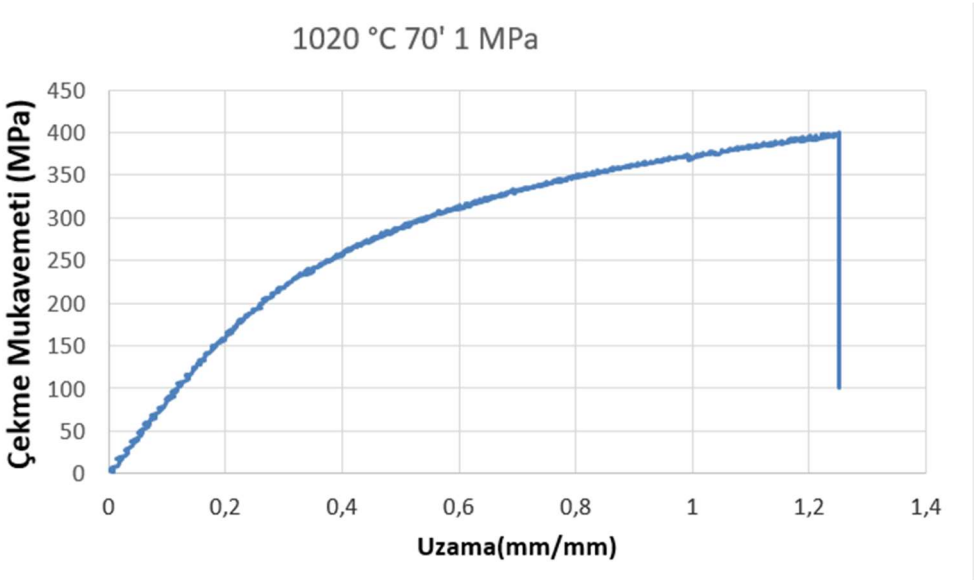
Şekil 5.13 1000°C' de 80 dk, 1 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

Şekil 5.13'deki grafikte 1000°C de, 1 MPa basınç altında, 80 dk bekleme süresinde bekletilen numune 233,934 MPa basınç altında akmaya başlamış 386,8418 MPa basınç altında ise kopmuştur. Numune 1,30 mm uzama göstermiştir.



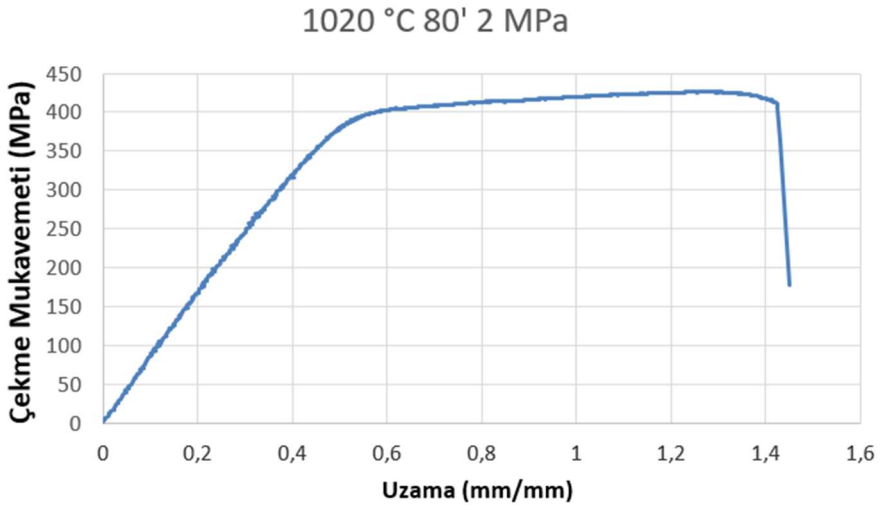
Şekil 5.14 1020°C' de 60 dk, 3 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

Şekil 5.14'deki grafikte 1020°C de 60 dk sürede 3 MPa basınç altında bekleyen numunenin akma noktası 327,658 MPa basınç altında başlamış ve 383,808 MPa basınç altında kopmuştur. Bu basınç altında numune 2,84 mm uzama göstermiştir.



Şekil 5.15 1020°C' de 70 dk, 1 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

Şekil 5.15'teki grafikte 1020°C de, 1 MPa basınç altında ve 70 dk bekleme süresinde birleştirilen numune 270,268 MPa basınçta akmaya başlamış ve 400,1938 MPa basınç altında kopmuştur. Uzama 1,25 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.16 1020°C' de 80 dk, 2 MPa basınçta difüzyon kaynağı uygulanan numunenin çekme mukavemeti

Şekil 5.16'daki grafikte 1020°C de 80 dk bekleme süresinde 2 MPa basınç uygulanan numune 388,862 MPa basınç altında akmaya başlamış ve 426,5077 MPa basınç altında kopmuştur. Uzama 1,4 mm olarak ölçülmüştür.

5.4 Deneylerin Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile İrdelenmesi

Taguchi analiz yöntemi temel anlamda kaynak işlemine başlanmadan belirlenen parametrelerin etki derecelerini belirler ve bu sayede kaynak işleminde zaman ve maliyet yönünden tasarruf, kalite yönünden ise artış sağlanması hedeflenir. Bu çalışmada kullanılan 430 paslanmaz çelik ve GR2 levhaların difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi sırasında istatiksel veriler elde edip yorumlayabilmek için minimum 27 adet deney yapılması gerekir. Taguchi analiz yönteminde ise L_9 ortogonal dizisi kullanılarak bir deney planlaması yapıldığında bu adet 9'a düşmektedir. Bu sayede zaman ve kullanılan ürünlerin maliyeti yönünden tasarruf sağlanmaktadır. Minitab 18 programında yapılan S/N ve ANOVA analizlerinin sonuçları aşağıdaki gibidir (Tablo 5.1)

Tablo 5.1 Taguchi L_9 deneysel tasarım çalışma tablosu

Deney no	Kaynak Sıcaklığı	Bekleme Süresi	Basınç
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

5.5 Sinyal / Gürültü (S/ N) Oranlarının Elde Edilmesi

Kaynağa uygulanan parametrelerin etki değerini belirlemek için kullanılan yöntemdir. Difüzyon kaynağı için en etkili parametre belirlenir ve en iyi sonuç elde edilmeye çalışılır (Konar, 2017).

Çalışmada kaynaklı numunelerin her birine ait çekme değerlerine ulaşıldıktan sonra Minitab 18 programında Tablo 5.3'te de görüleceği gibi S/N oran değerleri ve Varyans analiz değerleri bulunmuştur. S/N oranını belirlemek için üç farklı durum mevcuttur. Bu deneyde bulunan sonuçlar En çok - En mükemmel logaritmik denklemiyle

hesaplanmıştır.

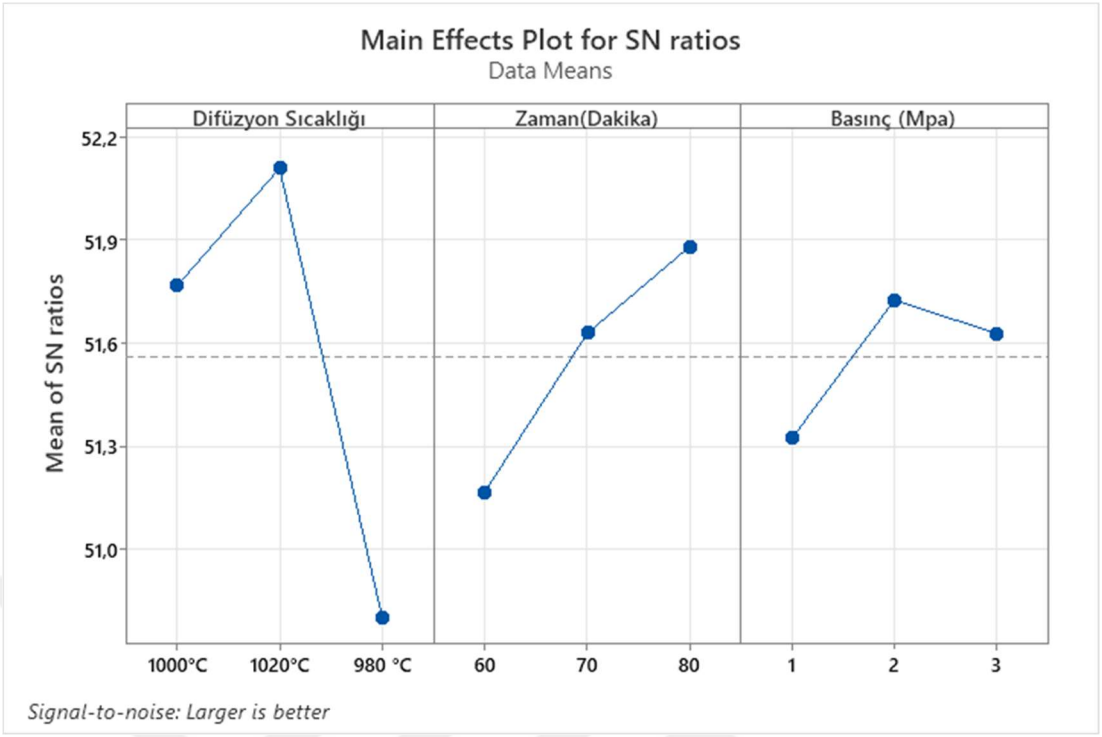
Tablo 5.2 Difüzyon kaynak parametreleri ve çekme mukavemeti deney sonuçları

Deney No	Difüzyon Sıcaklığı	Zaman(Dakika)	Basınç (Mpa)	Maksimum Çekme Dayanımı(MPa)
1	980 °C	60	1	322,8206
2	980 °C	70	2	352,1707
3	980 °C	80	3	367,1165
4	1000°C	60	2	382,0365
5	1000°C	70	3	393,9243
6	1000°C	80	1	386,8418
7	1020°C	60	3	383,808
8	1020°C	70	1	400,1938
9	1020°C	80	2	426,5077

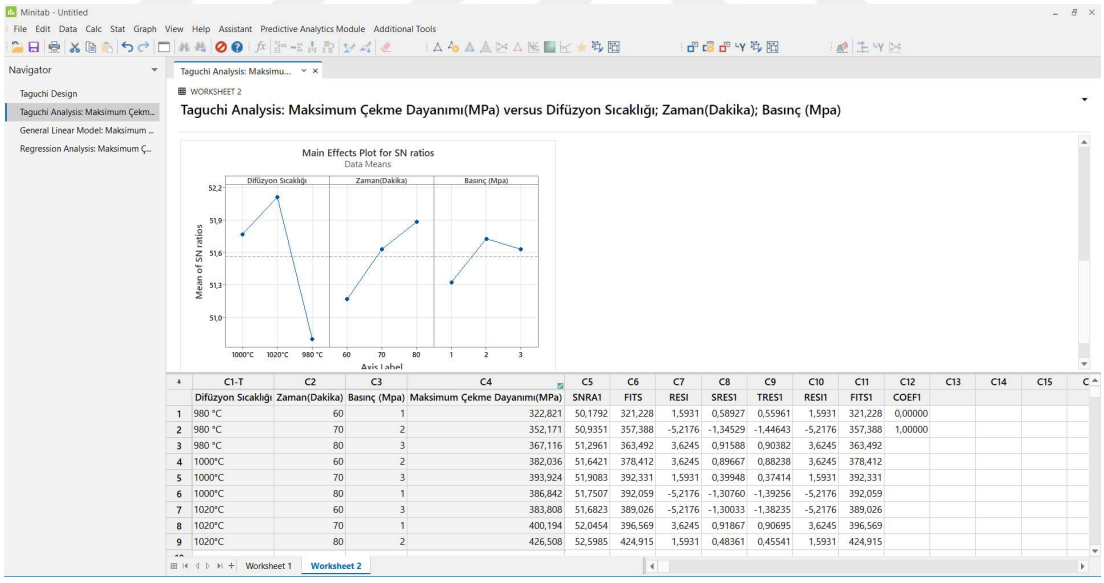
Tablo 5.3 Her bir parametre için Sinyal/Gürültü (S/N) performans değeri

Seviye	Sıcaklık(°C)	Süre (Dk)	Basınç(MPa)
1	51,77	51,17	51,33
2	52,11	51,63	51,73
3	50,80	51,88	51,63

Tablo 5.2'de gösterilmiş deney parametreleri kullanılarak yapılan S/N analizine göre çıkan sonuçlar Tablo 5.3'te gösterilmiştir. En çok - En mükemmel S/N oranına göre seçilen denklemde sıcaklık 52.11, bekleme süresi 51.88 ve uygulanan basınç 51.73 değerinde bulunmuştur. Bu sonuçlara göre 1000 °C sıcaklıkta, 2 MPa basınç altında 80 dakika bekleme süresinde yapılan difüzyon kaynağının en iyi sonucu vereceği belirlenmiştir.



Şekil 5.17 Çekme Mukavemeti için Taguchi deney dizaynında S/N performans grafiği



	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Difüzyon Sıcaklığı	Zaman(Dakika)	Basınç (Mpa)	Maksimum Çekme Dayanımı(MPa)	SNRA1	FITS	RESI	SRES1	TRES1	RESI1	FITS1	COEF1			
1	980 °C	60	1	322,821	50,1792	321,228	1,5931	0,58927	0,55961	1,5931	321,228	0,00000			
2	980 °C	70	2	352,171	50,9351	357,388	-5,2176	-1,34529	-1,44643	-5,2176	357,388	1,00000			
3	980 °C	80	3	367,116	51,2961	363,492	3,6245	0,91588	0,90382	3,6245	363,492				
4	1000°C	60	2	382,036	51,6421	378,412	3,6245	0,89667	0,88238	3,6245	378,412				
5	1000°C	70	3	393,924	51,9083	392,331	1,5931	0,39948	0,37414	1,5931	392,331				
6	1000°C	80	1	386,842	51,7507	392,059	-5,2176	-1,30760	-1,39256	-5,2176	392,059				
7	1020°C	60	3	383,808	51,6823	389,026	-5,2176	-1,30033	-1,38235	-5,2176	389,026				
8	1020°C	70	1	400,194	52,0454	396,569	3,6245	0,91867	0,90695	3,6245	396,569				
9	1020°C	80	2	426,508	52,5985	424,915	1,5931	0,48361	0,45541	1,5931	424,915				

Şekil 5.18 Çekme mukavemeti için varyans analiz çalışmasının ekran görüntüsü

Çekme mukavemeti verileri kullanılarak S/N oranını belirlemek amacıyla Minitab 18 programında hazırlanmış analiz çalışmasının ekran görüntüsü verilmiştir.

5.6 ANOVA Çalışmaları

ANOVA programının kullanımı Varyans analizi sayesinde kaynak parametrelerinin deneye olan etkilerini belirlemektir. Logaritmik denklemlerle hesaplanan sonuçlar ışığında deney yorumlanarak, kaynak kalitesi iyileştirilmeye çalışılabilir.

Tablo 5.4 Varyans Analiz Sonuçları

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler Toplamı	% Etki Oranı	P Değeri
Sıcaklık (°C)	2	5022,5	2511,24	71,37	0.025
Süre (Dk)	2	1435,1	717,55	20,39	0.082
Basınç (MPa)	2	451,4	225,71	6,41	0.222
Hata	2	128,7	64,35	1.83	
Toplam	8	7037,7		1.00	
R-Sq= %98.17			R-Sq(adj)= %92.69		

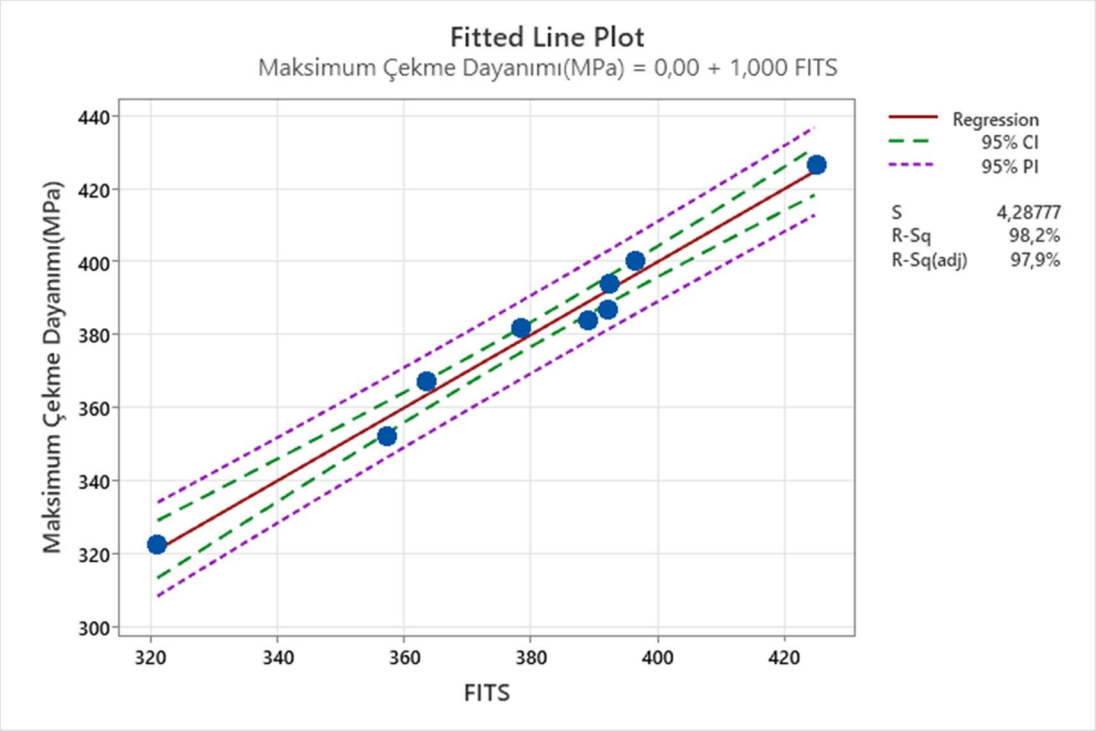
Bu yöntemde çıkan sonuçlar Tablo 5.4'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre difüzyon kaynağı için bu deneyde en etkili parametre %71,37 oranla difüzyon sıcaklığı olarak bulunmuştur. Difüzyon bekleme süresinin etki oranı %20,39, malzemeye uygulanan basıncın etki oranı %6,41 olarak bulunmuştur.

Çekme mukavemeti için Regresyon analizi: Tablo 5.5'de etki oranları belirtilen parametrelerin çekme mukavemetlerinin kısmi değerlerinin bulunması oluşturulan polinom denklemi verilmiştir.

Tablo 5.5 Regrasyon polinom denklemi

Çekme Mukavemeti	=	379.49-32.12Sıcaklık (°C)_980 +8.11 Sıcaklık (°C)_1000 +24.01 Sıcaklık (°C)_1020 -16.60 Süre (Dk)_60 +2.61 Süre (Dk)_70 +14.00 Süre (Dk)_80 -9.54 Basınç (MPa)_1 +7.41 Basınç (MPa)_2 +2.13 Basınç (MPa)_3

Çalışma için kullanılan parametrelere göre bir denklem oluşturulmuş ve aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. %95 güven seviyesi aşılmış ve %98,17 değerinde bir güven oranı elde edilmiştir.



Şekil 5.19 Çekme mukavemeti için olasılık grafiği

	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Difüzyon Sıcaklığı	Zaman(Dakika)	Basınç (Mpa)	Maksimum Çekme Dayanımı(MPa)	SNRA1	FITS	RESI	SRES1	TRES1	RESI1	FITS1	COEF1
1	980 °C	60	1	322,821	50,1792	321,228	1,5931	0,58927	0,55961	1,5931	321,228	0,00000
2	980 °C	70	2	352,171	50,9351	357,388	-5,2176	-1,34529	-1,44643	-5,2176	357,388	1,00000
3	980 °C	80	3	367,116	51,2961	363,492	3,6245	0,91588	0,90382	3,6245	363,492	
4	1000°C	60	2	382,036	51,6421	378,412	3,6245	0,89667	0,88238	3,6245	378,412	
5	1000°C	70	3	393,924	51,9083	392,331	1,5931	0,39948	0,37414	1,5931	392,331	
6	1000°C	80	1	386,842	51,7507	392,059	-5,2176	-1,30760	-1,39256	-5,2176	392,059	
7	1020°C	60	3	383,808	51,6823	389,026	-5,2176	-1,30033	-1,38235	-5,2176	389,026	
8	1020°C	70	1	400,194	52,0454	396,569	3,6245	0,91867	0,90695	3,6245	396,569	
9	1020°C	80	2	426,508	52,5985	424,915	1,5931	0,48361	0,45541	1,5931	424,915	

Worksheet 1 Worksheet 2

Şekil 5.20 Çekme mukavemeti için yapılan çalışma tablosu

6. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada ferritik AISI 430 paslanmaz çelik ile saf titanyum GR2 levhalar difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Deney kapalı bir haznede argon gazı ortamında, 1-2-3 sabit basınçlarında, 980-1000-1020°C sıcaklıklarında ve 60-70-80 dakika bekleme sürelerinde gerçekleşmiştir.

Kaynak sonunda numunelerin çekme mukavemeti ölçülmüş, mikroyapıları incelenmiş ve sertlikleri alınmıştır. Kaynak bölgelerinin mikroyapılarını görüntülemek ve sertliğini belirlemek için numuneler birleşme bölgesinden kesici takıma dik gelecek şekilde sabitlenerek kesilmiştir.

Çekme mukavemeti belirlendikten sonra Taguchi optimizasyon yöntemiyle deney sayısı ile dizin sıralamaları yapılmış, S/N ve Varyans (ANOVA) analizleri uygulanmıştır.

Deney ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Bu deneysel çalışmada difüzyon kaynağına etki eden parametreler belirlenmiştir ve bu parametreler istatiksel olarak değerlendirilmiştir. AISI 430 paslanmaz çelik ile saf titanyum GR2 levhalar arasında başarılı bir difüzyon kaynağı gerçekleşmiştir.

- Taguchi L_9 ortogonal dizisi kaynaklı numunelere optimum birleştirme mukavemeti ve birleştirme kalitesini elde etmek için işlem parametrelerini optimize etmek ve ayrıca bu kaynak işleminde en etkili işlem parametresini belirlemek için kullanılmıştır. Kaynaklı numunelere uygulanan üç işlem parametresi; kaynak sıcaklığı (980, 1000, 1020 °C), bekleme süresi (60, 70, 80 dakika) ve kaynak basıncıdır (1, 2, 3).

- Difüzyon sınırından itibaren saf titanyumun ana malzemesine ilerledikçe taneler büyüme eğilimi göstermiştir. Tane boyutu difüzyona bağlıdır, difüzyon oranı artıkça tane irileşmesi görülür. 1020 °C sıcaklıkta difüzyon bölgesinden saf titanyum tarafına yaklaşık 600 µm uzunluğunda bir alanda iri taneli içyapı meydana gelmiştir. Bu duruma Cr elementinin yol açtığı düşünülebilir. Bir β-

ötektoid elementi olan Cr elementinin hacimsel oranda çok düşük bulunması bile saf titanyumun faz diyagramını değiştirebilmektedir. Bu deneysel çalışmada da ilk katılaşan bölgede ince taneli yapı oluşurken, sıcaklığın daha yavaş soğuduğu alanda tane büyümesi olduğu görülmüştür.

- Tane boyutundaki ve yönetimindeki farklılıklar kaynak metalinde bağlantı bölgesinde kopmaya neden olmuştur. Tahminen faz arayüzünde biriken dislokasyonlar, kopmaya yol açan temel unsurlardır. Birleşme yapısının özellikleri ve kopma davranışı birbirleriyle ilişkilidir.

- Sertlik testinin sonuçlarına göre; birleşme noktasından AISI 430 paslanmaz çelik tarafına 10-20 mikron mesafe ilerledikçe sertlikte 20-30 HV azalma meydana gelmiş, difüzyon bölgesinden uzaklaştıkça sertliğin ana malzeme değerine yaklaştığı görülmüştür. Difüzyon alanından titanyuma doğru 10 mikron mesafe gidildiğinde sertlik değerinin bir pik yaptığı görülmüştür. Ana malzemelerden AISI 430 paslanmaz çelik için en yüksek sertlik değeri 1020 °C sıcaklıkta, 80 dakika bekleme süresinde, 2 MPa basınç altında 315,6 HV olarak ölçülmüştür. GR2 malzemede ise 1020 °C sıcaklıkta, 80 dakika bekleme süresinde, 2 MPa basınç altında 413,5 HV değeri elde edilmiştir.

- Çekme testine tabii tutulan deney numunelerinin tümünde artan sıcaklık ve basınçla doğru orantılı olarak çekme mukavemetinde artış gözlemlenmiştir. Deney numunelerinin tümü doğrusal olarak artmış ve anlık kırılma ile hasar görmüştür. En yüksek çekme mukavemeti 1020 °C sıcaklığında, 80 dakika bekleme süresinde, 2 MPa basınç altında kaynaklanmış deney numunesinde 426,5077 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük çekme mukavemeti ise 980 °C'de, 60 dakika bekleme süresinde, 1 MPa basınç altında kaynaklanmış deney numunesinde 322,8206 MPa olarak bulunmuştur.

- Deney numunelerinde 980 °C sıcaklığında belirgin bir uzama tespit edilmemiştir. En yüksek uzama 1020 °C de 60 dk sürede 3 MPa basınç altında bekleyen deney numunesinde 2,84 mm olarak ölçülmüştür.

- S/N oranı deney parametrelerinin en iyi kombinasyonunu sağlar ve çekme mukavemetinin en iyi sonucu vermesini sağlar. En çok- En mükemmel denklemi uygulanan S/N performans grafiğine göre bu çalışmada en iyi deneysel sonuç 1000 °C sıcaklıkta, 2 MPa basınç altında 80 dakika bekleme süresinde yapılan difüzyon kaynağından elde edileceği belirlenmiştir.

- Her bir süreç parametresinin yüzde katkısını belirlemek için kullanılan Varyans (ANOVA) analizinde; uygulanan çekme testi sonunda elde edilen verilere göre yapılan incelemede sıcaklık parametresinin etkisi %71,37, bekleme süresinin etkisi %20,39 ve numuneye uygulanan basıncın etkisi %6,41 olarak belirlenmiştir. Analizin hata payı %1,83 olarak çıkmıştır. Bu oranlara göre çekme mukavemetini etkileyen en önemli parametre difüzyon sıcaklığı, en az etki eden parametre ise kaynak basıncı olduğu görülmüştür.

- Sonuç olarak bu çalışmada uygulanan kaynak parametreleri doğrultusunda %98,17 oranında güven değerine ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Abuç, S. (2006). Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akikol, İ. (2005). Farklı Aktivasyon Yöntemleriyle Geliştirilen Aktif Karbonlar İle Sudan Ağır Metal Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Alibey, İ.T. (2010). Kalıp Malzemelerinin Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Al-Rubaye, A.Q.J. (2021). Titanyum Alaşımlarının Yüzeyinin Buhar Çöktürme Yöntemi (Pvd) İle Kaplanması Ve Kaplamaların Metalurjik, Mekanik, Aşınma, Korozyon Ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

Arman, M. A. (2017). Farklı Oranlarda Mikro Alaşım Bor İçerikli Aısı 4140 Çeliğinin Aşınma Davranışının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Atasoy, E. (2007). Titanyum ve düşük karbonlu çelik çiftinin arabağlayıcı kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirebilirliğinin araştırılması. Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.

Ateş, N. (2009). Kaplamalı Kesici Takımların Erken Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ayday A. (2020).“Ti6Al4V Alaşımı ve Saf Titanyumun (Cp-Ti) Oksidasyon Kinetiği” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (2); 402-409. DOI:10.31202/ecjse.648678

Aydın, K., Hıdıroğlu, M., Kaya, Y. ve Kahraman, N. (2014). Titanyum Ve Bakır Malzemelerin Difüzyon Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28

(1),. 12-23. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6702/89054

Aydın, T. (2002). Paslanmaz Çeliklerin Mıg Kaynağında Kullanılan Gazlar Ve Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bahçe, E., Aslan, A. K., Güler, M. S., Çakır, N. ve Emir, E. (2017). Kalça Protezinin Aşınma Özellikleri Üzerinde Çoklu Tabakalı Kaplanmasının Etkilerinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Nümerik Analizi. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (2), 201-214. e-ISSN: 2146-6459. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ordubtd/issue/33029/367261.

Balakan, A. (2020). AISI 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin Perçinleme Prosesinde Çatlak Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bartın Üniversitesi, (2008). Demirdışı Metaller Titanyum. https://cdn.bartin.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/hafifmetallertitanyum.pdf Erişim Tarihi: 14.11.2022.

Baştekeli, E. O. (2020). Havacılık Alanında Kullanılan Birleştirme Yöntemleri. Mühendis ve Makina, 61 (699), 154-169. DOI: 10.46399/muhendismakina.767267.

Başyiğit, A. B., Çalın, R. ve Pehlivanlı, Z. O. (2018). Dubleks ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı Sonrasında Oluşabilecek Kaynak Hatalarının Ultrasonik ve Radyografik Muayene Yöntemleri ile İncelenmesi. International Journal of Engineering Research and Development, 10 (2), 160-171. DOI: 10.29137/umagd.389961.

Baylan, O. (2004) Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen ÖstenitikMartenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı ile Özellikler Arasında İlişkinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Zonguldak.

Baytemir, M. (2011). Ostenitik AISI 310-Ferritik Aısı 430 Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı İle Birleştirilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin

İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Biçen, M. (2019). Farklı ark kaynak yöntemleriyle birleştirilen yüksek mukavemetli API 5L X80 çeliğinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi. MS tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bilgin, B. (2007). Ti6Al4V-304L malzeme çiftinin bakır aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.

Bülbül, F. ve Çelik, İ. (2014). Isıl İşlemin Akımsız Ni-B Kaplanan Saf Titanyumun Yapısına Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29 (1), 35-44. DOI: 10.17341/gummfd.69914

Coşkuner Filiz, B. (2019). Farklı Alüminyum Kaynaklarından Co-Al İçerikli Metal Oksitlerin Üretimi ve Yapısal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 22 (3), 723-728. DOI: 10.2339/politeknik.423622

Çakmakkaya, M., Talaş, Ş., Yasan, H. A. ve Eroğlu, M. İ. (2019). AISI 420 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Sonrası Soğumaya Bağlı Mekanik, ve Morfolojik Özelliklerindeki Değişimler. Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 2 (1), 10-19. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/akuumubd/issue/45058/517752.

Çalıgülü, U. (2008). Tİ45.2Nİ49.1CU5.7 Kompozitinin 910-940-970 ºc Sıcaklıklarda Cu-Ni Folyolu Difüzyon Kaynağında Sıcaklık Ve Sürenin Birleşmeye Etkisiin Araştırılması. Engineering Sciences, 3 (3), 515-523.

Çavuşoğlu, O. (2020). Ti6Al4V Alaşımının Sert Nikel Alaşım Tozları İle Kaplanması Ve Aşınma Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı.

Çelik, İ. (2014). Metalik Biyomalzemelerde İyon Salınımı Problemi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2 (3), 167-169. ISSN: 1308-6693. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jesd/issue/20871/223963.

Çelik, İ. (2015). Biyomedikal Sektöründe Kullanılan Titanyum Ve Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri. Ordu Üniv. Bil. Tek. Dergisi,

5 (1), 67-75. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ordubtd/issue/11069/132197.

Çelik, Y. H. ve Kılıçkap, E. (2018). Titanyum Alaşımlarından Ti-6Al-4V'nın İşlenmesinde Karşılaşılan Zorluklar: Derleme. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 6 (1), 163-175. DOI: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.333494.

Çetin, G. (2019). Ti-6Al-4V Sacların Mikroyapı Değişimi Ve Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı.

Çiftçi, İ. ve Gökçe, H. (2019). Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Delme Yönteminin Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 22 (3), 627-631. DOI: 10.2339/politeknik.450289.

Delice, U. (2021). 1,4462 Dubleks Paslanmaz Çelik Malzemelerin Nikel Ara Tabaka Kullanarak Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demirel, M. Y. ve Karaağaç, İ. (2021). Titanyum Alaşımlarının Mikroyapı ve Şekillendirilebilirliğine Sıcaklığın Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Additional Issue, 192-207. DOI: 10.29130/dubited.853833.

Demirören, H. ve Yılmaz, Y. (2020). Biyomalzeme Olarak Kullanılan Titanyum Alaşımının Elektrokimyasal Sentezi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32 (1), 253-258. DOI: 10.35234/fumbd.646709.

Elibol, Ç. (2020). Eş Kanallı Açısal Pres (EKAP) Yöntemi ile Şekillendirilmiş Ti-6Al-4V Alaşımının Mekanik Özellikleri ve Makroskobik Deformasyon Davranışı Arasındaki İlişki. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (4), 672-682. DOI: 10.35414/akufemubid.715210.

Fidan, L. (2006). SAF Alüminyum ve Saf Bakırın Difüzyon Kaynağında Arafazların Oluşumu Ve Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.

Gökdemir, Y. (2005). Saf Titanyum Ve Ti6al4v Alaşımının Yüksek Sıcaklıkta Oksidasyon Davranışı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güleç, S. ve Çakmakkaya, M. (2013). Demir Esaslı İntermetalik Malzemelere Paslanmaz Çelik, Çelik ve Alüminyum Saplamaların Kondansatör Deşarjlı Saplama Kaynağı ile Birleştirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13 (2), 1-9. DOI:10.5578/fmbd.6278.

Gültekin, A. H. (1998). Nadir metal yatakları jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 21 (1), 27-41. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd/issue/52400/686399.

Gültekin, A.H. Titanyum Mineral Yatakları, Kayaçlarda Titanyum: İçeriği Ve Bölümlenmesi. Jeoloji Mühendisliği, S. 21-37. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a006957be65e608_ek.pdf?dergi=JEOLOJ%DD%20M%DCHEND%DDSL%DD%D0%DD%20DERG%DDS%DD

Günay, M., Meral, T. ve Korkmaz, M. E. (2018). AISI 420 Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Delinebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4 (3), 223-229. DOI: 10.30855/GJES.2018.04.03.009.

Gürsel, A. ve Yıldız, S. (2021). Yapıştırıcı Birleştirmelerde Bağlantı Mukavemetini Etkileyen Faktörler: Yüzey Morfolojisi ve Yüzey Enerjisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (2), 987-996. DOI: 10.29130/dubited.884675.

Güven, S., Altın Karataş, M., Gökkaya, H. ve Akınay, Y. (2022). Süperelastik Nikel-Titanyum şekil hafızalı alaşımların mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık ve yaşlandırma ısıl işleminin etkisi. DUJE (Dicle University Journal of Engineering) 13 (1), 27-34. DOI:10.24012/dumf.1038109

http://www.istanbul.edu.tr/eng/maden/linkler/kayanyazilar/titan.htm Erişim Tarihi: 26.09.2022.

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/136890/mod_resource/content/0/4.%20Hafta.pdf Erişim Tarihi: 14.11.2022.

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/182177/mod_resource/content/1/K%C3%BCtle%20AKtar%C4%B1m%C4%B1%20%283.%20Hafta%29.pdf Erişim Tarihi: 30.09.2022.

https://bircelik.com/tr/kategori/430-1-4016-#:~:text=430%20paslanmaz%20%C3%A7ubuk%20%C3%A7e%C5%9Fitli%20%C5%9Fekillerde,s%C4%B1kl%C4%B1kla%20430%20kalite%20malzemeler%20kullan%C4%B1lmaktad%C4%B1r. Erişim Tarihi: 29.09.2022.

https://cdn.bartin.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/cekme-deneyi-icin-calisma-notu.pdf Erişim Tarihi: 30.09.2022.

https://cdn.bartin.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/intermetalikmalzemeler1.pdf Erişim Tarihi: 30.09.2022.

https://cdn.bartin.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/isil-islem-5.-hafta.pdf Erişim Tarihi: 14.11.2022.

https://www.haraldpihl.com/tr/products/titanium-alloys/titanium-gr23/ Erişim Tarihi: 14.11.2022.

https://www.researchgate.net/figure/XRD-patterns-of-CPTi-Ti-6Al-4V-and-Ti-6Al-7Nb-alloys_fig1_242286245 Erişim Tarihi: 14.11.2022.

https://www.teknikmetal.com/ Erişim Tarihi: 28.09.2022.

ITA. (2011). International Titanium Association: https://cdn.ymaws.com/titanium.org/resource/resmgr/Docs/TiFacts.pdf Erişim Tarihi: 13.11.2022.

ITA. (2018). International Titanium Association: https://c.ymcdn.com/sites/titanium.siteym.com/resource/resmgr/Docs/DataSheetCorrosion.pdf Erişim Tarihi: 26.09.2022.

İçdem, C. (2007). Saf Titanyum Ve Ti6al4v, Ti6al7nb Alaşımlarının Akışkan Yatak Ortamında Termal Oksidasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kaçmaz, B., Topal, A., Şengöz, B. ve Tanyel, S. (2015). Farklı Tip Esnek Kaplamaların Yol Yüzey Özelliklerinin Arazi Ölçümleriyle Değerlendirilmesi. Teknik Dergi, 26 (3), 7115-7137. DOI: 10.18400/tekderg.298420.

Kahraman, H., Güvenç, M. A. ve Mıstıkoğlu, S. (2021). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Levhaların TIG Kaynağı ile Birleştirilmesinde Farklı Koruyucu Gaz Tiplerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Journal of Materials and Mechatronics: A, 2 (1), 1-12. e-ISSN 2717-8811. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmm/issue/62563/824629.

Kahraman,F. Kasman, Ş., Kahraman, A.D. ve Tunuslu, O. (2017). "Östenitik Paslanmaz Çelikler İle Takım Çeliklerinin Birbirleri İle Kaynağında Oluşan Kaynak Bölgesinin İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(1); 57-64. DOI:10.31202/ecjse.289638.

Kanbollu, S. (1996) Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri., Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karaca, E. (2017). Robotik Nd:Yag Fiber Lazer Kaynağı İle Birleştirilen Ti6al4v Alaşımının Mekanik, Mikroyapı Ve Isıl İşlem Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

Kaya, Y. (2009). AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin TIG, MIG ve örtülü elektrod ark kaynağıyla birleştirebilirliğinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25 (3), 549-557. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6685/88579.

Kejanlı, H. (2007). Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu alaşımlarının sıvı faz difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kejanlı, H. ve Avcı, M. (2018). "T/M yöntemiyle üretilmiş Mg-Ti alaşımının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesine aratabakanın etkisi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 9 (1), 279-289. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/452896.

Kejanlı, H., Katı, N. ve Keskin, M.S. (2017). "GR2-GR5 Titanyum alaşımlarının Alüminyum aratabaka kullanılarak difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmesi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 8 (4), 817-825. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/445838.

Keskin M.S. (2019). Bingöl S.H. "Farklı Alüminyum Alaşımların Difüzyon Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 10 (1), 203 – 210. DOI: 10.24012/dumf.524717

King, H.M. (2022). Uses of Titanium Metal and Titanium Dioxide. https://geology.com/articles/titanium/#:~:text=Titanium%20is%20a%20familiar%20metal,weights%20about%20half%20as%20much. Erişim Tarihi: 27.09.2022.

Kitapcı, S. (2020). AISI 4330 ve AISI 316L çelik çiftinin difüzyon kaynağı. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi.

Konar, M. (2017). DP600-8XXX serisi alüminyum alaşımının CMT tekniği ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Köksel Kara, M. (2014). Sürekli Tavlama Yöntemi İle Yeni Kalite Bir Emaye Çeliği Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Mühendisliği Programı.

Köse, C. ve Kaçar, R. (2015). AISI 420 Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Co2 Lazer Işını Kaynak Yöntemiyle Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması. Technological Applied Sciences, 10 (4), 13-27. DOI: 10.12739/NWSA.2015.10.4.2A0090

Köse, C. ve Karaca, E. (2019). Nd:YAG lazer kaynağı ile birleştirilen Ti6Al4V alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine ısıl işlemlerin etkileri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (1), 232-243. DOI: 10.25092/baunfbed.543606.

Kurt B. (2005). Ti-6al-4v Ve Paslanmaz Çeliğin Ni Ara Tabakası Kullanılarak Birleştirilmesi, Elazığ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.

Kurt, A., Elitaş, M., Demir, B. ve Yazıcı, Ö. (2021). Sıcak Haddeleme Yolluk Makarası Soğuk İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21 (2), 469-477. DOI: 10.35414/akufemubid.823799.

MEB, (2015). Kalıp Malzemeleri. Makine Teknolojsi. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kal%C4%B1p%20Malzemeleri.pdf

Meriç, C., Köksal, N. S., Erdoğan, M. T. ve Okur, A. (2008). Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş Farklı Malzemelerin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi. Celal Bayar University Journal of Science, 4 (2), 135-144. ISSN 1305-1385. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/cbayarfbe/issue/4047/53348.

MTA Genel Müdürlüğü, (2022). Titanyum, https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/titanyum Erişim Tarihi: 27.09.2022.

Murathan, Ö. F. ve Kılıçlı, V. (2016). Nano Beynitik Çelikler. Politeknik Dergisi, 19 (2), 115-128. DOI: 10.2339/2016.19.2 115-128.

Mutlu, Z. (2009). YBCO Süperiletken İnce Filmin Si Altlık Üzerine Ped Sistemi İle Üretimi Ve Film Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Osmanoğlu, T. (2012). AISI 304 VE 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Oyar, P. (2015). Titantum Ve Özellikleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, Supplement 11, 151-159. DOI: 10.17567/dfd.73222.

Ölmez, A. ve Kisbet, S. (2013). Kompozit rezin restorasyonlarda bitirme ve polisaj işlemlerindeki yeni gelişmeler. Acta Odontologica Turcica, 30 (2), 115-122. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/gaziaot/issue/6536/86666.

Özçanak, T. (2008). Kataforez Kaplama Öncesinde Yüzey Hazırlama, Kurutma Ve Kaplama Proseslerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özçatalbaş, Y. (2020). Çeliklerin işlenebilirliği: kimyasal bileşim, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik ilişkisi. Politeknik Dergisi, 23 (2), 457-482. DOI: 10.2339/politeknik.550000.

Özdemir, E. (2020). Biyomedikal Endüstrisinde Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalat Sürecinde Yüzey Bütünlüğü Ve Fonksiyonel Performansının Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özer, N. (2021). Yapı Malzemelerinde Korozyon Ve Korozyondan Korunma Yöntemleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26 (3), 1159-1178. DOI: 10.17482/uumfd.796947.

Özüak, S. (2008). Taguchi deney tasarımlarının excel çizelge arayüzleriyle uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi.

Paslanmaz Çelik Nedir?. Teknik Metal. https://www.teknikmetal.com/tr/paslanmaz-celik#:~:text=Paslanmaz%20%C3%A7eliklerin%20ay%C4%B1rt%20edici%20%C3%B6zelli%C4%9Fi,u%C4%9Framayan)%20soy%20metallerden%20biri%20de%C4%9Fildir. Erişim Tarihi: 28.09.2022.

Pürçek, G. (2007). Metallerde Mukavemet Artırıcı Mekanizmalar, Ders Notları, file:///C:/Users/Acer/Downloads/Metallerde%20Mukavemet%20Art%C4%B1r%C4%B1c%C4%B1%20Mekanizmalar.pdf

Saklakoğlu, N., Gençalp İrizalp , S., Gökdemir, Z.E. ve Polat , S. (2016). AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliğinin HCl ve H2SO4 çözeltilerindeki gerilim korozyon çatlaması davranışı, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7 (1), 139-149.

Sapan, Ç. (2021). Arabağlayıcı kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilen GR2 ve Cu malzemelerin kaynak parametrelerinin araştırılması ve optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi.

Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2003). Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller üretimi, kullanımı, standartları. http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/paslanmaz.pdf Erişim Tarihi: 27.09.2022.

Semerci, İ.Ö. (2014). https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/erime-noktasi-en-dusuk-ve-en-yuksek-metaller-hangileridir Erişim Tarihi: 14.11.2022.

Siyahjani, F. (2015). Characteristics And Wear Performance Of Nitrıded Titanıum Alloys. Department Of Metallurgical And Materials Engineering, Metallurgical And Materials Engineering Program. Istanbul Technical University. Graduate School Of Scıence, Engineering And Technology.

Subaşı, M. ve Karataş, Ç. (2012). Titanyum ve Titanyum Alaşımlarından Yapılan İmplantlar Üzerine İnceleme. Politeknik Dergisi, 15 (2), 87-103. DOI: 10.2339/2012.15.2, 87-103.

Taş, Z. (2012). Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma mekanizmaları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 28 (2), 97-101. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/25566/269694.

Tayanç, M. ve Zeytin, G. (2000). Yüksek Hız Çeliklerinin İç Yapı ve Isıl İşlem Özellikleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (1), 103-122. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/baunfbed/issue/24788/261895.

Tehçi, T. (2011). AISI 316 Serisi Ostenitik Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Parametrelerinin Nufuziyete Ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Terzi, M. (2012). Esan – Eczacıbaşı Milas Feldspat Tesisi Atıklarından Titanyum Mineralleri Kazanılması Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

TKİK, (2022). Açık Ocak Madenciliği. https://www.tki.gov.tr/acik-ocak-madenciligi Erişim Tarihi: 26.09.2022.

Tolun, F. ve Çelik, S. (2013). Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmiş Bakır ve Porselenin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Termal ve Yapısal Analizleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15 (1), 93-105. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/baunfbed/issue/24792/261936.

Türkan, M. (2013). Kaynaklı Ve Kaynaksız Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Korozif Ortamlardaki Çekme Davranışları. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Türkoğlu, T. (2017). Borlanmış Aısı 304, Aısı 420 Ve Aısı 430 Paslanmaz Çeliklerin İçyapı, Sertlik Ve Korozyona Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

USGS. (2018). USGS: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/titanium/ Erişim Tarihi: 26.09.2022.

Uyar, M. (2019). Borlanmış 430f Ferritik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Davranışı Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uygur, İ. (2013). Fe-Cu-C Çeliklerine Mangan İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (3), 325-330. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6673/88401.

Uzun İ.H., Bayındır F. (2010). Dental uygulamalarda titanyum ve özellikleri. Atatürk Üniv. Diş Hek. Fak. Dergisi, 20 (2), 213-220. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunidfd/issue/2479/31733.

Woodruff, L., Bedinger, G. ve Piatak, N. (2017). USGS: https://pubs.usgs.gov/pp/1802/t/pp1802t.pdf Erişim Tarihi: 26.09.2022.

Woodruff, L., ve Bedinger, G. (2013). Titanium Statistics and Information. USGS, https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/titanium/ Erişim Tarihi: 26.09.2022.

Woodruff, L., ve Bedinger, G. (2013). USGS: https://pubs.usgs.gov/fs/2013/3059/ Erişim Tarihi: 13.11.2022.

www.pasteltitan.com/tio2-tarihsel%20geli%C5%9Fim.htm Erişim Tarihi: 28.09.2022.

Yavuz, H. İ. ve Yamanoğlu, R. (2022). β Tipi Ti Alaşımlarının Özellikleri Üzerine Bir Derleme: Mikroyapı, Mekanik, Korozyon Özellikleri ve Üretim Yöntemleri. Politeknik Dergisi, 1 (1), 1-24. DOI: 10.2339/politeknik.987216.

Yıldız, A. (2014). Titanyum ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Nikel Arabağlayıcı Kullanılarak Difüzyon Kaynak Yöntemi İle Birleştirebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.

Yıldız, B. (2017). Derin çekme işleminde kalıp tasarımının sonlu elemanlar yöntemi ile optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Dicle üniversitesi.

Yılmaz, B. ve Güllü, A. (2020). AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26 (4), 628-633. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/56390/782173.

Yorulmaz, F. N., Durmuş, H. ve Çömez, N. (2022). Kimyasal Bileşimin Paslanmaz Çelik Kaplamaların Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2022 (ICAENS-1), 485-491. DOI: 10.31590/ejosat.1082931.

Yunus, B. ve Eren Y. (2021). Gıda Tankeri için AISI 304 Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağının İncelenmesi. European Journal of Science and Technology, 622-626. DOI: 10.31590/ejosat.1039236.

Yücel, M.B. (2018). Dünyada Ve Türkiye'de Titanyum. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü. Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/Titanyum.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Soyad, Ad :	Yeşiltaş, Ayda Selin
E-Posta :	

Eğitim Bilgileri		
Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans :	Dicle Üniversitesi	2022
Lisans :	Dicle Üniversitesi	2017

İş Deneyimi		
Dönem (Yıl) /	Şirket, Kurum/	Görev

Yabancı Dil
İngilizce

Yayınlar
1.
2.
3.
4.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Ayda Selin Yeşiltaş		
Öğrenci No	18818007		
Ana Bilim Dalı	Mühendislik		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Haluk Kejanlı		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	SAF TİTANYUM (GR2) VE FERRİTİK (430) PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ.		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	104		
Raporlama Tarihi	13.01.2023		
Benzerlik Oranı (%)	13		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 103 sayfalık kısmına ilişkin, 13.01.2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 13 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☒Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☐Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Ayda Selin Yeşiltaş
Tarih: 30.01.2023
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi Haluk Kejanlı Tarih:30.01.2023	İmza:
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Vedat Oruç Tarih:30.01.2023	İmza: