

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**1,4462 DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN  
NİKEL ARA TABAKA KULLANARAK DİFÜZYON KAYNAĞI  
İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan  
Uğur DELİCE**

**TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. Bülent KURT**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2021  
NEVŞEHİR**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın baőından itibaren çok kıymetli bilgilerini benimle paylaőan ve değerli zamanını bana hiç esirgemedен айран, lisans eğitiminden itibaren benden desteğini esirgemeyen ve elinden geneli yapan danıőman hocam Prof. Dr. Bülent KURT'a teşekkür ediyorum ve őükranlarımı sunuyorum.

Yine lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Cemal ARBOęA, Doç. Dr. Zahide Bayer ÖZTÜRK, Dr. Öğr. Üyesi Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ ve Arő. Gör. Serkan DAL'a teőekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca bana maddi manevi desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan AİLEME teşekkür ediyorum.

# 1,4462 DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN NİKEL ARA TABAKA KULLANARAK DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans)

Uğur DELİCE

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ  
ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

## ÖZET

Bu çalışmada 1.4462 dubleks paslanmaz çelik numuneler Ni ara tabaka kullanılarak 5 ve 10 MPa basınç ve farklı sıcaklık ve sürelerde difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Toplam 6 farklı parametrede deneysel çalışmaları gerçekleştirilen numunelerde kaynak işlemleri tamamlanmıştır. Böylece 1.4462 dubleks paslanmaz çeliğin difüzyon kaynağı için optimum difüzyon kaynak parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilen numunelerin birleşme bölgesi ara yüzeyi optik ve SEM mikroskopları kullanılarak analiz edilmiştir. Görüntü analiz sistemi kullanılarak optik fotoğraflar ve ara yüzey ölçümleri alınmıştır. Yine ara yüzeyden alınan EDS analizleri ile elementer difüzyon profili çıkarılmıştır. Aynı zamanda, ara yüzey mikrosertlik analizleri ile sertlik profili çıkarılmıştır. Yapılan karakterizasyon çalışmaları neticesinde tüm parametrelerde Ni ara folyo ve ana malzeme arasında herhangi bir mikro boşluksuz bağlantılar elde edilmiştir. Yine farklı sıcaklık ve süre parametrelerinin ara yüzeyde elementer difüzyon bölgelerine sebep olduğu sonucuna da ulaşılmıştır. Difüzyon ara yüzeyi EDS analizlerinden alınan element dağılımı verilerine göre ara tabaka üzerinde Cr ve Fe elementlerinin difüzyonu tespit edilmiştir. Mikrosertlik analizlerinden ara tabakada nispeten daha düşük sertlik değeri ile birlikte ana malzemeye doğru sertlik değerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Difüzyon Kaynağı, Dubleks Paslanmaz Çelik, Nikel Folyo  
**Tez Danışmanı :** Prof. Dr. Bülent KURT  
**Sayfa Adeti :** 62

# **1.4462 DUPLEX STAINLESS STEEL USING NICKEL INTERLAYER WITH DIFFUSION WELDING WITH BONDING**

**(Master Thesis)**

**Uğur DELİCE**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF  
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**June 2021**

## **ABSTRACT**

In this study, 1.4462 duplex stainless steel samples were combined using Ni intermediate layer at 5 and 10 MPa pressure and diffusion welding technique at different temperatures and times. Welding operations were completed in samples where experimental studies were performed in a total of 6 different parameters. Thus, an attempt was made to determine the optimal diffusion welding parameter for the diffusion welding of 1.4462 duplex stainless steel. For this purpose, the junction zone interface of the samples combined using the diffusion welding technique was analyzed using optical and Dec microscopes. Optical photos and interface measurements were taken using my image analysis site.Dec. Again, the elemental diffusion profile was decoded by EDS analysis taken from the interface. At the same time, hardness profile was decoded by microcertness analysis of the interface. As a result of characterization studies, microvoids free bondings were obtained between the Ni foil and the main material in all parameters. Again, it was also concluded that different temperature and duration parameters cause elemental diffusion zones on the interface Dec. Diffusion Dec decoiler the diffusion of Cr and Fe elements on the intermediate layer was determined according to the elemental distribution data obtained from EDS Analyses. From microsertness analyses, it was concluded that the hardness value towards the parent material increased with a relatively lower hardness value in the intermediate layer.

**Keywords : Diffusion Bonding, Duplex Stainless Steel, Nickel Foil**

**Thesis Advosar : Prof.Dr.Bülent KURT**

**Page Number : 62**

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	x
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1 Paslanmaz Çelikler.....	2
2.1.1 Paslanmaz Çelik Çeşitleri.....	3
2.1.1.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler .....	4
2.1.1.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler .....	4
2.1.1.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler .....	4
2.1.1.4 Çökeltme Yoluyla Sertleşen Paslanmaz Çelikler.....	5
2.1.1.5 Dupleks Paslanmaz Çelikler .....	5
2.1.1.5.1 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Elementlerinin Kimyasal Oranları ve Mekanik Özellikleri.....	7
2.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanması Kabiliyetinin İncelemesi .....	8
2.1.2.1 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanma Kabiliyeti .....	10
2.1.3. Paslanmaz Çeliklerde Difüzyon Kaynağı Literatür İncelemesi.....	11
2.1.3.1 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Difüzyon Kaynağı Kabiliyetinin İncelenmesi ...	13
2.2 Difüzyon Kaynağı.....	17
2.2.1 Difüzyon .....	17
2.2.2 Difüzyon Kaynağı .....	18
2.2.2.1 Difüzyon Kaynağı Parametreleri.....	19
2.2.2.1.1. Sıcaklık .....	19

2.2.2.1.2 Zaman(Süre).....	20
2.2.2.1.3 Basınç .....	20
2.2.2.1.4 Numune Yüzeyi.....	20
2.2.2.2 Difüzyon Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları .....	21
2.2.2.3 Difüzyon Kaynağının Kullanım Alanları .....	22
BÖLÜM 3 .....	23
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	23
3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	23
3.2 Numune Hazırlama İşlemleri.....	23
BÖLÜM 4 .....	28
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1. Deneysel Çalışmalara Giriş .....	28
4.2 Optik Mikroskop Görüntüleri.....	28
4.3 SEM Görüntüleri ve EDS Analizi.....	33
4.3 Mikrosertlik Analizleri ve Görüntüleri .....	38
BÖLÜM 5 .....	46
SONUÇLAR.....	46
BÖLÜM 6 .....	48
KAYNAKÇA .....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	52

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Paslanmaz Çelik Çeşitlerinin Yüzde Olarak Nikel ve Cr Bileşimleri.....	3
Şekil 2.2	Dubleks Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı Görüntüsü ve Mevcut Fazların Dağılımı.....	6
Şekil 2.3.	Dubleks Paslanmaz Çeliklerin Yuvarlak Kesitli Yapısı.....	7
Şekil 3.1.	Hassas Kesme Cihazı .....	23
Şekil 3.2.	Zımparalama Cihazı .....	24
Şekil 3.3	Difüzyon Kaynağı Cihazı .....	25
Şekil 3.4	Difüzyon Kaynak Numunesinin Sıcaklık ve Yük Altındaki Durumu.....	25
Şekil 3.5	Difüzyon Kaynağı İle Birleştirme Sonrası Numunenin Makro Fotoğrafi ..	26
Şekil 3.6	Bakalite Alma Cihazı .....	26
Şekil 3.7.	Bakalite Alınmış ve Parlatılmış Numune .....	27
Şekil 3.8	Elektrolitik Dağlama Güç Ünitesi .....	27
Şekil 4.1	1000 °C Sıcaklık, 10 MPa ve 1 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)..	28
Şekil 4.2	1000 °C Sıcaklık, 5 MPa ve 2 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)..	29
Şekil 4.3	1050 °C, 10 MPa, 1 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x).....	30
Şekil 4.4	1050 °C, 5 MPa, 2 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x).....	30
Şekil 4.5	1100 °C, 10 MPa, 1 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x).....	31
Şekil 4.6	1100 °C, 5 MPa, 2 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x).....	32
Şekil 4.7	1000 °C'de 10 MPa Basınç ve 1 Saat, 5 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları.....	33
Şekil 4.8	1050 °C'de 10 MPa Basınç ve 1 Saat, 5 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları.....	34

Şekil 4.9	1100 °C'de 10 MPa Basınç ve 1 Saat, 5 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları.....	35
Şekil 4.10	1000 °C'de 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin EDS Analizi.....	37
Şekil 4.11	Mikrosertlik Ölçüm Cihazı .....	38
Şekil 4.12	1000 °C, 10 MPa, 1 Saat (A) ve 1000 °C, 5 MPa, 2 Saat (B) Parametrelerinde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri.....	38
Şekil 4.13	1050 °C, 10 MPa, 1 Saat (A) ve 1050 °C, 5 MPa, 2 Saat (B) Parametrelerinde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri.....	44
Şekil 4.14	1100 °C, 10 MPa, 1 Saat (A) ve 1100 °C, 5 MPa, 2 Saat (B) Parametrelerinde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri ...	44



## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Dubleks Paslanmaz Çelik Çeşitlerinin Temel Kimyasal Bileşimleri.....	7
Tablo 2.2	Dubleks Paslanmaz Çeşitlerinin Oda Sıcaklıktaki Mekanik Özellikleri.....	8
Tablo 3.1	1.4462 Dupleks Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Bileşimi.....	21
Tablo 4.1	Tüm Parametrelere Ait Deney Numunelerinin Mikrosertlik Değerleri.....	41



## SİMGELER VE KISALTMALAR

C : Karbon

Ni : Nikel

Cr : Krom

Fe : Demir

Mn : Mangan

S : Kükürt

Si : Silisyum

Cm : Santimetre

Mm : Milimetre

$\mu\text{m}$  : Mikronmetre

Dk : Dakika

MPa : Megapascal

Gr : Gram

SEM : Taramalı Elektron Mikroskopi

EDS : Enerji Dağılımlı Spektroskopi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dubleks paslanmaz çelikler özellikle gerilmeli korozyon çatlağı ve oyuk korozyonuna karşı sergilediğı yüksek direnç ve yüksek mekanik mukavemet ile diğ er paslanmaz çelik tiplerine kıyasla ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle de nükleer tesisler, petrol ve doğalgaz boru hatları, kimyasal tesisler ve denizcilik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasının konusu olan difüzyon kaynağı malzemelerin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta birleştirilecek parçalara plastik deformasyon oluşturmayacak bir basınç uygulayarak belirli sürelerde gerçekleştirilen bir katı hal birleştirme tekniğidir.

Difüzyon kaynağı bir katı hal kaynak tekniğı olduğu için farklı tipteki malzemelerin kaynağı için de uygundur. Örneğ in Ti alaşımlı bir malzeme ile çelikler arasında kuvvetli bağlar oluşturarak malzemelerde meydana gelebilecek yüksek sıcaklığ a bağlı olumsuzlukları ortadan kaldıracak bir kaynak yöntemidir [1]. Aynı zamanda, karmaşık şekilli parçalar üretmek için umut verici bir tekniktir ve kaynak sırasında herhangi bir deformasyon oluşmamaktadır [2].

Difüzyon işle mi, kaynak kalitesini belirleyen belirli parametrelerde gerçekleştirilmektedir ve bu parametreler temel olarak sıcaklık, basınç, süre ve ara yüzey bağı şeklinde gruplandırılabilir. Bu çalışmada 1.4462 dubleks paslanmaz çelik numuneler Ni ara tabaka kullanılarak 5 ve 10 MPa basınç ve farklı sıcaklık ve sürelerde difüzyon kaynağı tekniğı kullanılarak birleştirilmiştir. Böylece 1.4462 dubleks paslanmaz çeliğ in difüzyon kaynağı için optimum difüzyon kaynak parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla difüzyon kaynağı tekniğı kullanılarak birleştirilen numunelerin birleşme bölgesi ara yüzeyi optik ve SEM mikroskopları kullanılarak analiz edilmiştir. Görüntü analiz sistemi kullanılarak optik fotoğraflar ve ara yüzey ölçümleri alınmıştır. Yine, ara yüzeyden alınan EDS analizleri ile elementer difüzyon profili çıkarılmıştır. Aynı zamanda, ara yüzey mikrosertlik analizleri ile sertlik değerleri tespit edilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik krom içeriklerinin çok yüksek (%12) olmasıdır. Artan krom miktarına bağlı olarak da yüksek sıcaklıklarda paslanmaz çeliklerin oksidasyon dirençleri artmaktadır. Paslanmaz çelikler son yılların keşfi değildir. Paslanmaz çeliklerle ilgili araştırmalar ve incelemeler yaklaşık 200 yıllık bir sürece yayılmıştır. Bunlardan ilkinde Faraday 1822 yılında, demir içine krom katıldığında atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım oluştuğunu göstermiştir.

Daha sonra 1838 yılında Mallet kromlu çeliklerin bazı ortamlarda korozyona dayanıklı özellik gösterdiğini keşfetmiştir. 19'uncu asrın sonuna kadar kromlu çelikler yalnızca sıcak sülfirik asit kapları için kullanılmıştır. 1904 yılında Monnartz krom ilave edilmiş çeliklerin oksitleyici ortamlarda pasifleşme özelliğinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur.

Bu metallerin korozyon dayanıklılığının metal yüzeyinde oluşan pasif tabakadan ileri geldiğini ispatlamıştır. Fakat pasif filmin oluşması alaşımların her ortamda korozyona karşı dirençli olabilmeleri için yeterli değildir.

Paslanmaz çelikleri ortama daha dirençli kılmamanın yollarından birisi krom, nikel gibi ana alaşım elementlerinin oranını arttırmak, karbon içeriğini azaltmaktır. Bu koşullar sağlandığında paslanmaz çelik malzemelerin korozyon ortamlarda daha dirençli olacaktırlar.

Paslanmaz çelikler çok farklı alanlarda farklı alaşımlarda kullanılmaktadırlar. Bunları listeleyecek olursak;

Paslanmaz çeliklerin özellikle tıp, havacılık, nükleer, gıda, savunma sanayi gibi bir çok alanda gün geçtikçe kullanımı yaygın hale gelmektedir. Kullanım alanlarına göre istenen mekanik ve kimyasal özelliklerin sağlanması için paslanmaz çeliklerin bileşimde yapılan değişiklikler, paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini etkilemektedir [3].

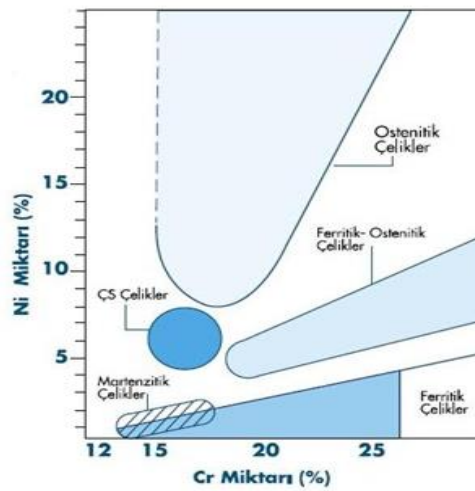
Paslanmaz çeliklerin sahip olduğu yüksek çekme mukavemeti, korozyon direnci ile düşük ısı iletkenlik, sünek bir malzeme olması, yüksek miktarda krom-nikel ve bir miktar molibden gibi mukavemet artırıcı elementlerin muhtevası ve işlerken pekleşme özelliği işlemeyi zorlaştıran başlıca etkenlerdir [4].

### 2.1.1 Paslanmaz Çelik Çeşitleri

Paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran, çeliğin yüzeyinde oluşan pasifleştirici ince krom oksit tabakasıdır. Bu da korozyonun malzeme yüzeyinden derine nüfuz etmesini engeller. Paslanmaz çelikler tane yapılarına göre farklı şekillerde sınıflandırılır. İçerdikleri katkı elementlerine göre bu tane yapılarını elde eden paslanmaz çelikler genel olarak beş farklı çeşit paslanmaz çelik vardır.

Bunlar :

- Östenitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
- Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çeliklerdir[5].



Şekil 2.1.Paslanmaz Çelik Çeşitlerinin Yüzde Olarak Nikel ve Cr Bileşimleri

### **2.1.1.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler**

Östenitik paslanmaz çelikler, kimyasal içeriklerinde bulunan %12-26 Cr ve %8-23 Ni içeren ve paslanmaz çelik ailesinin en yaygın kullanılan türlerinden biridir. Krom oranının yüksek olması ve korozyon direnci sağlarken, nikel ve mangan, östenit fazın yüksek soğuma hızında karşın oda sıcaklığında dahi kararlı olmasını sağlamaktadır [7].

Ostenitik paslanmaz çelikler, yüksek korozyon direncine sahip yüksek alaşımlı malzemelerdir. Ostenitik paslanmaz çeliklerdeki diğer önemli alaşım elementi de nikeldir. Nikel de bu malzemenin korozyon direncini artırır. Korozyon direncine ilaveten, normal karbonlu çeliklerle karşılaştırıldıklarında ostenitik paslanmaz çelikler yüksek dayanım ve yüksek süneklik özelliklerine sahiptirler ve yüksek deformasyon sertleşme eğilimi sergilerler [8].

### **2.1.1.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler**

Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapıları yoğun bir şekilde ferrit fazından oluştuğu için paslanmaz çelik türleri içerisinde ferritik paslanmaz çelik olarak adlandırılırlar. Ferritik paslanmaz çelikleri, gerilmeli korozyon çatlağı, aralık korozyon ve çukurcuk korozyon dirençleri oldukça iyidir. Nikelsiz türlerinin östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla fiyatı uygundur ve bu çeliklere iyi bir alternatif malzeme grubudur. Mekanik özelliklerinden ziyade iyi korozyon özellikleri nedeniyle pek çok endüstride kullanım alanı bulmaktadır. Düşük karbonlu ferritik paslanmaz çelikler ise kendilerine egzoz sistemlerinde uygulama alanı bulmaktadır [9].

### **2.1.1.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler**

Martenzitik paslanmaz çelikler ise yapılarında % 12 – 18 oranında krom elementi bulduran yüksek sertlik ve mekanik özellikler gösteren bir paslanmaz çelik grubudur. Bu grup çeliği bıçaklar, ameliyat aletleri, mil ve pim gibi malzemelerin yapımında kullanılmaktadır.

Martenzitik paslanmaz çelikler, genel olarak sahip olduğu yüksek sertlik değeriyle de işlenmesi zor malzemelerdir [10].

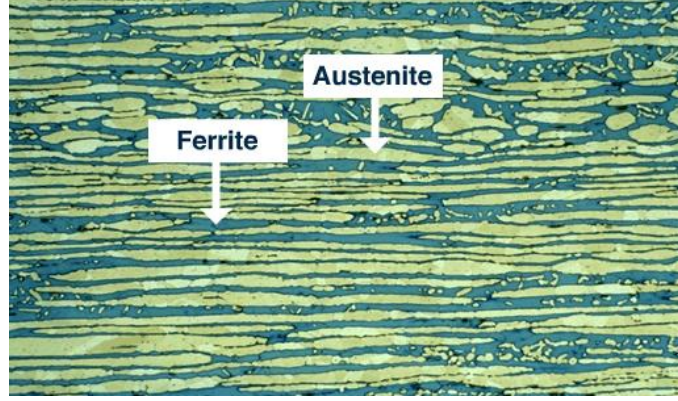
#### **2.1.1.4 Çökelme Yoluyla Sertleşen Paslanmaz Çelikler**

Çökelme sertleşmesi ısı işlemler sonrasında küçük ikincil fazların ana (matris) faz içerisine düzgün bir şekilde çökeltilmesi ve bunun sonucunda mukavemet ve sertliğinin artırılması durumudur.

Bunların ana içyapıları ostenitik, yarıostenitik veya martenzitik olabilir. Çökelme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MP'a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Piyasada çözme tavı görmüş halde satılır; Malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemleri uygulanabilir ve daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir.

#### **2.1.1.5 Dupleks Paslanmaz Çelikler**

Dupleks paslanmaz çeliklerle ilgili araştırmalar diğer paslanmaz çelik türlerine göre daha detaylı yapılmıştır. Çünkü çalışmada kullanılan 1.4462 paslanmaz çeliği dupleks paslanmaz çeliktir. Dupleks paslanmaz çelikler aslında Latince'de iki parçadan oluşan anlamına gelir. Ve bu doğrultuda dupleks paslanmaz çelikler yapılarında ferritik ve östenik yapıları eşit miktarda bulunduran paslanmaz çelik malzemelerdir. Bu paslanmaz çeliklerde bileşimlerinde bulunan ferrit ve östenit oranlarında %50 ferrit 50 östenit şeklinde bir oran vardır. Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren dupleks paslanmaz çeliklerin, östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma dayanımlarının iki kat kadar daha büyük olmasıdır [11].



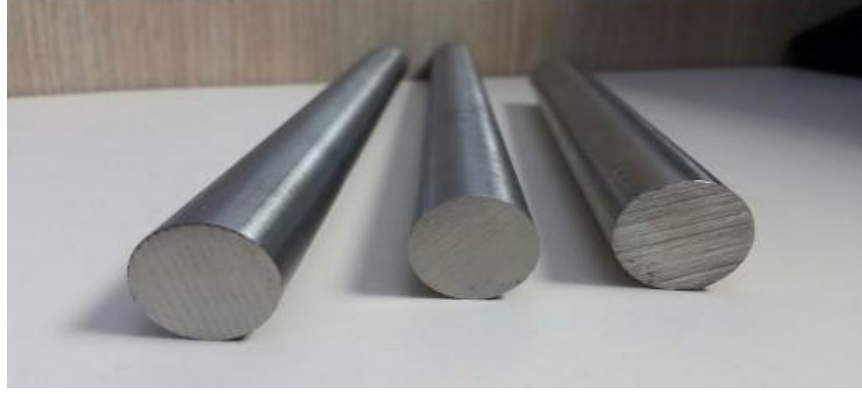
Şekil 2.2 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı Görüntüsü ve Mevcut Fazların Dağılımı

Dupleks paslanmaz çeliklerin mikro yapıdaki ferrit/ostenit dengesi sayesinde bu malzemeler yüksek mekanik özellikler gösterirler ayrıca korozyon davranışı üzerinde çok önemli etkiye sahiptir.

Dupleks paslanmaz çelikler, ostenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında ise özellikle gerilmeli korozyon çatlak ve oyuk korozyonuna karşı yüksek direnç ve yüksek mekanik mukavemete sahiptir. Bu nedenle nükleer tesisler, petrol ve doğalgaz boru hatları, kimyasal tesisler ve denizcilik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [12].

Dupleks paslanmaz çelikler, paslanmaz çelik sacları, ısı değiştiricilerin, kriyojenik kapların imalatında, gemi inşa , kağıt sanayi, deniz suyu ve tuzlu su ortamlarına karşı ostenitik paslanmaz çeliklerden daha dayanıklı bir mühendislik malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Sac malzemelerde ise sac kalınlığı inceldikçe, sac şekillendirme işlemleri, yırtılma ve kırılma gibi sorunları da beraberinde getirebilmektedir. İmalatçılar ve üretimden sorumlu insanlar, dupleks ve ostenitik paslanmaz çelik saclar gibi yüksek maliyetli sacları şekillendirme ve bükme işlerindeki bu tip sorunlardan (çizilme, yırtılma, kırılma ve katlanma) kaçınmayı hedeflemektedir ve bu doğrultuda da çalışmalar yapılmaktadır [13].





Şekil 2.3 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Yuvarlak Kesitli Yapısı

Bugün dupleks paslanmaz çelikler bileşimlerine bağlı olarak 3 gruba ayrılabilirler. Birinci tip %22 Cr, %5 Ni, %3 Mo element yüzdelerini içerir ve temel olarak yaklaşık %0.16 N bulundurmaktadır. İkinci tür dupleks paslanmaz çelikler ise bileşimlerinde yaklaşık olarak %23 Cr, %4 Ni, %0.1 N içerir. Zayıf bir dupleks paslanmaz çelik alaşımıdır ve bu alaşım dayanımın gerekli olduğu yerlerde ve gerilmeli korozyon, çatlama korozyon olan ortamlarda genelde yapısal uygulamalar için önerilmektedir. Son tür dupleks paslanmaz çelikler ise genellikle süper dupleks paslanmaz çelik olarak bilinirler ve %25 Cr, %7 Ni, %4'e kadar Mo, Cu ve W ilaveleriyle %0.28 N içerirler. Diğer türlerden daha yüksek korozyon direnci ve dayanım özellikleri gösterirler [14].

#### **2.1.1.5.1 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Elementlerinin Kimyasal Oranları ve Mekanik Özellikleri**

Dupleks yani çift fazlı paslanmaz çelikler mikro yapılarında östenit ve ferrit fazlarının bir arada bulunduğu paslanmaz çelik türüdür. İçerilerinde bulunan bu iki faz sebebiyle östenitik ve ferritik çeliklerin sahip oldukları avantajlara ve dezavantajlara sahiptirler. Ve bu avantaj ve dezavantajlar içerdikleri alaşım oranına göre değişim göstermektedir. Dupleks paslanmaz çeliklerin temel ve standart olarak imalatı yapılan ve en çok kullanılan dupleks paslanmaz çelik türlerinin kimyasal içerikleri ve bu malzemelerin oda sıcaklığında gösterdiği mekanik özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1. Dupleks Paslanmaz Çelik Çeşitlerinin Temel Kimyasal Bileşimleri [15]

ALAŞIM	UNS NO	EN NO	Malzeme Tanımı	% C	% Cr	% Ni	% Mo	%N
2304	S32304	1.4362	X2CrNi 23-4	0.03 0	21.5- 24.5	3.0-5.5	0.1-0.6	0.05- 0.6
2205	S31803	1.4462	X2CrNiMoN 22-5-3	0.03 0	21.0- 23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08- 0.20
255	S32550	1.4507	X2CrNiMoC uN25-6-3	0.04	24.0- 27.0	4.5-6.5	2.9-3.9	0.10- 0.25
2507	S32750	1.4410	X2CrNiMoN 25-7-4	0.03 0	24.0- 26.0	6.0-8.0	3.0-5.0	0.24 0.32
Z100	S32760	1.4501	X2CrNiMoC uWN25-7-4	0.03 0	24.0- 26.0	6.0-8.0	3.0-4.0	0.2- 0.3

Tablo 2.2 Dupleks Paslanmaz Çeşitlerinin Oda Sıcaklıklarındaki Mekanik Özellikleri

ALAŞIM	UNS NO	EN NO	Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Çentik Darbe Testi (J)
2304	S32304	1.4362	400	630-800	25	60
2205	S31803	1.4462	460	640-840	25	60
225	S32550	1.4507	490	960-890	25	60
2507	S32750	1.4410	530	730-930	20	60
Z100	S32760	1.4501	530	730-930	25	60

### 2.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanması Kabiliyetinin İncelenmesi

Paslanmaz çelikler özellikle yüzeylerinde oluşturdukları krom oksit tabakası sayesinde sağladıkları yüksek korozif özellikleri nedeniyle günümüzde kendilerine çok geniş kullanım alanları bulurlar. Bu kullanım alanlarında ise bazen farklı işlemler uygulanması gerekebilir. Paslanmaz çeliklere uygulanan bu işlemlerden biri de kaynak

işlemidir. Paslanmaz çelikler farklı şekillerde kaynaklanabilmektedir. Bu kaynak metodlarının uygulanması ile ilgili literatür taramalarına göz atacak olursak;

Çeliklerin kaynağında %0,2 karbon oranı kaynaklanabilirlik sınırındadır. Paslanmaz çelikler ve diğer çeliklerde de bu karbon oranının üzerine çıkılmaya başladıkça kaynak kabiliyetleri de düşmektedir. Başta özellikle talaşlı ve kalıp üretimi gibi pek çok alanda kullanılan takım çeliklerinin içeriğindeki %0,3 ile 2,4 arasındaki karbon yüzdeleri sebebiyle bu çeliklerin kaynağı ise zorlu ve problemlili olabilmektedir. Bu çeliklerin kaynağında meydana gelebilen en büyük sorun ise karbon içerikleri yüksek olduğu için yapılarında martenzitik taneler oluştururlar. Bu sebeplerden dolayı bu tip çeliklerin kaynağında uygun bir elektrod ve işlem sıcaklığı kaynak kalitesi açısından önem arz etmektedir [16].

Kaynaklı birleştirme işlemlerinde temelde ısıl süreçler olduğu için, birleştirmenin malzemelerin ergitilmesinin oluşmadığı ancak malzemenin mikro yapısının ve özelliklerinin önemli derecede değiştiği ( bu sayede birbirlerine difüze olmakta) sıcaklık aralıklarında çalışma sertleşmesi ile kazanılan özelliklerde bir değişim olması kaçınılmazdır [17-18]. Bu durum kaynaklı birleştirmelerinin yeniden kristalleşmenin ve tane büyümesinin olduğu ısı tesiri altındaki bölgesinin (ITAB) ana metalden daha zayıf oluşmasına sebep olmaktadır. Örneğin verecek olursak mutfak eşyaları genelde östenitik paslanmaz çeliklerden üretilmektedir. Ve östenitik paslanmaz çelik tencereler genelde ekstrüzyon işlemi uygulanarak üretilmektedir. Deformasyona uğrayan gövdelerine ise ferritik paslanmaz çelik sap ve tutamaçların kaynaklanması mecburi bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer bir şekilde durumu ifade edecek olursak; soğuk deformasyona uğrayan farklı paslanmaz çelik malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesi ve kaynakla imal edilmesi endüstride sıkça rastlanan bir durumdur ve yaygın olarak kullanılmaktadır [19].

Paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında kaynak metalinin mikroyapısında ferrit ve östenitik fazları olup çeşitli miktarlarda  $\delta$ -ferrit yapısını da içermektedir.  $\delta$ -ferrit miktarı önemli şekilde östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine etki etmektedir ve hacimce en uygun değeri % 5-10 arasındaki oran olup (en iyi mekanik özellikleri gösterdiği aralık), sünekliği, tokluğu ve korozyon direnci ile kaynak metalinin soğuması

sırasında oluşabilecek sıcak çatlama direncini arttırmaktadır. Koruyucu argon gazına ilave edilen diğer gazlar kaynak metalinin mikro yapısına etki etmektedir. Örneğin koruyucu argon gazının içerisinde az miktarda azot ilavesi azot kuvvetli bir östenit oluşturduğundan kaynak metali içerisindeki  $\delta$ -ferrit miktarını düşürmektedir [20].

Martenzitik paslanmaz çelik, yapısı itibariyle çok yavaş soğuma halinde bile sert ve gevrek yapılı martenzit oluşumu gösterir. Martenzit fazı kaynak bölgesinde kılcal çatlakların oluşumunu tetikleyerek kaynak dikişinin kırılma eğilimi göstermesine neden olur. Bu durum bu çeliklerin kötü kaynak kabiliyetine sahip olmasına ana sebep olarak gösterilmektedir. Ancak, bu tür çeliklere kaynak öncesi ve sonrasında uygun ısıl işlem uygulanarak birleştirilebilmesine olanak sağlanabilmekte ve istenilen dayanım elde edilebilmektedir.

Özellikle karbon oranı %0.15'in üzerinde olan AISI 420 ve AISI 440 martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak sonrası ısıl işlemi hemen hemen her zaman gereklilik arz etmektedir. Çünkü ısıl işlemler sonucunda düşük kırılma tokluğu ortaya çıkaran bu çeliklerin toklukları iyileşir ve sertliği azalır [21].

### **2.1.2.1 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanma Kabiliyeti**

Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliklerine değinecek olursak kaynak özellikleri genel olarak iyidir. Ancak kaynak işlemleri sırasında zararlı metaller arası bileşikler ile katılma ve hidrojen çatlakları oluşumu riskinden dolayı kaynak işleminde önlemler alınmalıdır.

Bununla birlikte; dupleks paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde yer alan ferrit ve östenitlerin ve ITAB'da yer alan ferrit ve östenit dağılımları korozyon ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kaynaklı bağlantılarında gerilmeli korozyon çatlaklarına yeterli düzeyde dayanım için en az %25 oranında, ana metalde sağlanan genel korozyon direnci ve tatmin edici mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için en fazla %60  $\delta$ -ferrit faz içeriğine sahip olmalıdır. Çünkü bu faz oranlarında daha iyi mekanik özelliklere erişilebilmektedir.

Ayrıca dubleks paslanmaz çeliklerin kaynaklı işlemlerinde TIG Kaynağı, Örtülü Elektrod Ark Kaynağı, Gazaltı (MIG) Kaynağı, Tozaltı Kaynağı gibi kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bunun yanında katı hal difüzyonuyla gerçekleştirilen difüzyon kaynağı ile ilgili de çalışmalar yapılmaktadır ve difüzyon kaynağının dubleks paslanmaz çelik üzerindeki incelemesi de çalışmanın temelini oluşturmaktadır [22,23,24].

### 2.1.3. Paslanmaz Çeliklerde Difüzyon Kaynağı Literatür İncelemesi

Çalışmanın temelini de oluşturan paslanmaz çeliklerin difüzyon kaynağı ile ilgili pek çok çalışma yapılmış olum bu çalışmalar son hızıyla devam etmektedir. Bu kaynak işlemi incelenecek malzemelerin araştırılacak özelliklerine göre ara tabakalar kullanarak da yapılabilmektedir.

Çünkü difüzyon kaynağı katı hal difüzyonu şeklinde gerçekleştiği için bazı malzemelerde istenilen sonuçları vermeyebilir. Bu nedenle difüzyon kaynağı ile ilgili bazı deneysel çalışmalarda ara tabaka olarak bazı malzemeler kullanılmaktadır.

Difüzyon kaynağı ile yapılan birleştirme işlemlerinde genellikle 800 °C ile 1200 °C sıcaklıklara çıkılmaktadır. Ve bu sıcaklıklarda işlem yapıldığı için ara tabakanın bu sıcaklık değerlerinde ergiyip malzemeye difüze olması gerekir. Bu nedenle (Cu,Ni vb.) ara tabakalar kullanarak difüzyon kaynağında daha iyi kaynaklar elde edilebilmektedir.

Literatür taramaları parça parça incelenecek olursa;

V. Srikanth, A. Laik ve G.K. Dey yaptıkları difüzyon kaynağı çalışmasında Ni ve Ti ara tabakaları kullanarak 304L seri paslanmaz çelik malzeme ile Zircaloy 4'ün kaynak işlemini gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Vakum atmosferinde gerçekleştirilen kaynak işlemi 30 ve 90 dakika aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık olarak ise 800 °C ve 900 °C sıcaklıkları arasında deneyler yapılmıştır. Kaynak sonrası 209 MPa'lık kayma parametresi ise 850 °C sıcaklıkta 60 dakika sürede elde edilmiştir. . NiZr<sub>2</sub>, NiZr, TiNi<sub>3</sub>, Ni-Zr gibi bileşiklerin olduğu mikroyapı analizleriyle tespit edilmiştir. 800 ve 850 °C

sıcaklıkta birleştirilen bağlantı garçalarında Ni-Ti tipi bileşikler gözlemlenmiştir. 850 °C, 60 dakika ve 900 °C, 30 dakika sıcaklıklarında NiTiZr ve NiZr fazlarında kırılma yüzeyleri incelenmiştir [25].

Xueping Ren, Shuxia Li, Zhiping Xiong ise yaptıkları difüzyon kaynağı çalışmasında aynı işlemlerle farklı korozyon dirençlerinin gerekliliğini göstermek için pahalı olan Cr30Ni7Mo3MnSi (SAE 2906, yüksek korozyon direncine sahip) malzeme ile ucuz Cr22Ni5Mo3MnSi (SAE 2205, düşük korozyon direncine sahip) dubleks paslanmaz çelikler için 1100°C sıcaklıkta termomekanik bir simülatör kullanarak difüzyon kaynağı işlemi gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Bağlantının kayma dayanımı süre ve basıncın artırılmasıyla bir miktar artış göstermiştir. 1100 °C sıcaklıkta 10 dakika gerçekleştirilen işlem sonrası birleşme noktasının kayma dayanımı 740 MPa'dan 808 MPa'ya yükselmiştir [26].

Yine bir başka çalışmada; Haitao Qu, Hangliang Hou, Pengfei Li, Shuxia Li, Xueping Re yaptıkları difüzyon kaynağı çalışmasında hafif bir malzeme olan ve belirli bir miktar korozyon direncine sahip olan gemilerde ve okyanus makinelerinde kullanılan dubleks paslanmaz çeliklerin kaynaklanmasını amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen difüzyon kaynağı işlemlerinin ışığında 2205/2906 numaralı çelik kalitelerinin 2205/2507 kalitesindeki çeliklerden her zaman daha yüksek bir kesme dayanımına sahip olacağını göstermiştir [27].

Çalışmalardan birinde de S. Zakipoura, M. Samavatiana, A. Halvaeab, A. Amadehb, A. Khodabandeha difüzyon kaynağı esaslı çalışmalarında 316 seri paslanmaz çelik ile Ti-6Al-4V malzemelerini Cu ara tabakası kullanarak kaynak yapmaya çalışmışlardır. 1100 °C sıcaklık ve 60 dakika parametreleri altında bu kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Difüzyon kaynağı bölgesi ve mikro yapısı SEM mikroskobu, EDS analizleri ile incelenmiştir. Daha sonra kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla sertlik testi ve kayma dayanımı araştırılmıştır. Sonuçlar kısmında ise tabakalar arası kalınlığın arttığı görülmüştür. Çalışmalar sonunda 50 µm kalınlığında oluşan difüzyon kaynağı bağı için 284 MPa'lık bir kayma dayanımı elde edilmiştir [28].

Wang Deqing, Shi Ziyuan ve Qi Ruobin ise çalışmalarında iki farklı kaynak yapmıştır ve bunlardan birinde 304L paslanmaz çelik ile L2Y2 alüminyum alaşım difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Diğer difüzyon kaynağı işleminde ise yine 304L kalite paslanmaz çelik ile Q235A karbon çeliği birleştirilmiştir ve bu çalışmada kaplama amacıyla Al-Cu-Mg ara tabaka alaşımı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar ise difüzyon kaynağının kaplama ile daha kontrol edilebilir sonuçlar verdiğini göstermiştir [29].

### **2.1.3.1 Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Difüzyon Kaynağı Kabiliyetinin İncelenmesi**

Dupleks paslanmaz çelikler dengeli oranda içerdikleri ferritik ve östenitik fazlar sayesinde paslanmaz çelik çeşitleri içinde dengeli mekanik özellikler göstermektedirler. Bu özellikleri dupleks paslanmaz çeliklerin pek çok alanda kullanımlarına neden olmaktadır. İmalat aşamalarında gösterdikleri özellikler ise dupleks paslanmaz çeliklerin farklı şekillerde işlemlere tutulmasına neden olmaktadır. Ve dupleks paslanmaz çelikler bu imalat metotları içinden pek çok kaynak işlemine tabi tutulurlar. Bu kaynak metotları TIG, Gazaltı, Örtülü Elektrod, Tozaltı vb. bir çok geleneksel çeşitlerde yapılmaktadır. Ancak bu kaynak metotları malzemeye şok derecesinde bir ısı girdisiyle oldukları için kaynak bölgelerinde çeşitli kusurlara ve mekanik özelliklerin azalmasına neden olmaktadır. Bunların ise minimize edildiği ve katı halde uygulanan difüzyon kaynağı son yıllarda dupleks paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirilmesi ve bu doğrultuda yapılan incelemelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Dupleks paslanmaz çeliklere uygulanan difüzyon kaynağı ile ilgili literatür çalışmalarına göz atacak olursak;

Dupleks paslanmaz çelik türlerinden Cr25Ni7Mo4MnSi malzemesine uygulanan difüzyonla kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir ve analizleri yapılmıştır. Bu analizler dupleks paslanmaz çeliklerin özellikleri bir termo-mekanik simülatör kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda sıcaklık parametresi 1100 ° C'de gerçekleştirildi. Malzemenin yüzey durumu ise, soğuk haddeleme, bekletilen süresi ve basıncın durumuna göre incelenmiştir. Deneysel çalışmalar içerisinde SEM mikroskobu kullanılarak deneysel numunenin karakteristik yapısı analiz edilmiştir. Bağlanma işleminin malzemenin kesme dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. 10 MPa basınçta 5 dakika bekletme işlemi sonucu ana malzeme de 420 MPa olarak belirlenen kesme

mukavemeti kaynaklı malzemenin birleştirilen yüzeyinde 407 MPa olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar yine bu düzeyde gelmiştir ve malzemenin bu bağlanma türündeki kesme mukavemeti (397-418 MPa) aralığında değişme göstermiştir [30].

Saf Titanyum malzeme ile dubleks paslanmaz çelik arasında gerçekleştirilen difüzyon kaynağı ile ilgili bir çalışmada; saf titanyum ve dubleks paslanmaz çelik arasındaki difüzyon kaynağı işlemi 800 ve 950°C sıcaklıkta 3 MPa'lık bir basınçta ve 90 dakikalık bir süre ile gerçekleştirilmiştir. Difüzyon kaynağı sonrası malzemelerde oluşan mikroyapıyı incelemek ve analiz etmek için SEM ve Optik mikroskop kullanılmıştır. FeTi esaslı ara tabakalar ve fazlar gözlemlenmiştir. İşlemler sonucu malzemenin gerilme ve kesme mukavemetinde iyileşmeler görülmüştür [31].

Paslanmaz çeliklerin difüzyonla kaynaklama işlemleri sadece demir esaslı veya çelik malzemelerle yapılmamaktadır. Bu çeliklerin kaynaklama işlemleri diğer metal malzemelerle de yapılabilmektedir. Az önce incelenen araştırma bunun basit bir örneğidir. Şimdi bakılacak olan çalışmada ise yine dubleks paslanmaz çelik saf bir titanyum ile nikel ara tabakası kullanılarak birleştirilmiştir. Bu çalışmanın özüne bakılacak olursa; Nikel'in dubleks paslanmaz çelik ile titanyum arasında ara tabaka olarak kullanıldığı difüzyon kaynağında deney, vakumlu bir atmosferde 4 MPa'lık basınç altında 45 dakika süreyle 800–950 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Malzemenin mikroyapısı SEM mikroskobunda mekanik özellikleri ise kırılma deneyinde gözlemlenmiştir. Ni<sub>3</sub>Ti, NiTi ve NiTi<sub>2</sub> gibi fazlar belirlenmiş işlem sıcaklığı yükseldiğinde fazında siyah lekeler görülmüştür. İşlemler sonucunda genel olarak ise malzemede 560 MPa çekme dayanımı ve 415 MPa kesme dayanımı ile % 8.3 süneklik değerleri elde edilmiştir [32].

Günümüzde difüzyon kaynağı işlemlerinde metal malzemeler ara tabaka veya birleşim malzemesi yani kaynak malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle difüzyon kaynağında Cu, Ni ve Ti başta olmak üzere alaşımları kullanılmaktadır. Ti alaşımlarının en sık kullanılanlarından olan Ti-6Al-4V de difüzyon kaynağı ile birleştirmede kullanılabilir ve bununla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, dubleks paslanmaz çelik ile Ti6Al4V arasında oluşan difüzyon bağlantıları vakumlu bir atmosferde 4MPa basınç altında 900°C sıcaklıkta ve 60 dakika boyunca



kaynakla birleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Bu çalışmanın temelinde ise 1 mol / L NaOH çözeltileri kullanarak Ti-6Al-4V ile dubleks paslanmaz çelik arasındaki kaynaklı bölgenin korozyon direnci incelenmiştir. Bu mikroyapı analizlerinde optik mikroskop ve SEM kullanılmıştır. Malzemenin gerilme mukavemeti 556 MPa kesme mukavemeti ise 420 MPa olarak incelenmiştir [33].

Yine Ti-6Al-4V alaşımı ile Dubleks paslanmaz çelikler arasında gerçekleştirilen difüzyon kaynağı işleminde kaynaklı bölgenin mikroyapı analizi ve mekanik özellikleri kaynak sonrası yapılan işlemlerle incelenmiştir. Difüzyon kaynak işlemi vakum atmosferinde 850°C sıcaklıkta ve 90 dakika sürede gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizlerinin incelemesi için SEM ve EDS kullanılmıştır. 850°C'de 90 dakika boyunca uygulanan deneysel çalışmalar sonucunda ise difüzyon tabakasının çekme mukavemeti yaklaşık olarak 510.1 MPa ve kesme mukavemeti yine yaklaşık olarak 397.5 MPa ve % 6.5 süneklilik değeri elde edilmiştir [34].

Difüzyon kaynağının pek çok metodu bulunmaktadır. Paslanmaz çeliğin titanyuma bağlanması normal koşullarda incelenmişti ancak bu çalışmada ise paslanmaz çelik ile titanyum alaşımının galyum destekli difüzyonla bağlanarak kaynaklanması işlemi araştırılmıştır. Çalışma detayında günümüzde yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik 304 L ile saf titanyum arasındaki güçlü galyum destekli yöntem kullanılarak incelenmiştir. İki aşamalı olan çalışmanın ikinci kısmında ise Ni ara tabakası kullanılmıştır. Çalışmada bağlantı noktalarında faz değişikliği mekanizmaları belirlenmiştir. Direkt bağlanma durumunda reaksiyon bölgesinde FeTi ve (Fe, Cr) Ti<sub>2</sub> intermetalik bileşik tabakaları bulunurken, nikel ile bağlanan numunelerde reaksiyon bölgesinde (Fe,Ni) Ti ve Fe<sub>2</sub>Ti fazları belirlenmiştir. Galyum difüzyonu ise bir  $\alpha$ Ti tabakasının oluşumuna yol açarken, Fe ve Ni'nin difüzyonu, difüzyon bölgesinde bir dubleks ( $\alpha + \beta$ ) Ti fazının oluşumuna yardımcı olmuştur. Nikel ara tabakalı bağlanmış numunelerin maksimum gerilme mukavemetleri 280 MPa ve tabakasız birleştirilmiş numunelerin gerilme mukavemeti 313 MPa olarak incelenmiştir. Bu çalışmada dubleks paslanmaz çeliklere uygulanan farklı bir difüzyon kaynağı çalışması olarak literatüre dahil olmuştur [35].

Difüzyon kaynağı uygulanan malzemelerde genellikle sıcaklık olarak 800°C ve üzeri sıcaklıklarda uygulanmaktadır ve akademik yöndeki çalışmalar bu şekilde gerçekleştirilmektedir. Çünkü metaller ve alaşımları, demir esaslı malzemeler ve çelikler bu sıcaklık aralığında en iyi katı halde difüzyon özelliğine sahip olmaktadır. Ancak difüzyon kaynağı için düşük sıcaklıkların da kullanıldığı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda Ti-6Al4V Ti alaşımı ve dubleks paslanmaz çeliklerin düşük sıcaklıklarda difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi incelenmiştir. Çalışmada Ti-6Al-4V 650–800°C'lik sıcaklık aralığında dubleks paslanmaz çelikle birleştirilmiştir. Vakum ortamında 30 dakika boyunca 10 MPa basınç altında işlem gerçekleştirilmiştir. Deneysel numunelerin mikroyapı incelemeleri optik ve SEM mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. EDS yöntemi de kullanılarak malzemenin karakterizasyonu incelenmiş ve Fe + FeTi ve Ti gibi katmanlar belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklar kullanıldığında arayüz elemanlarının difüzyon katsayısı Fick yasası ile belirlenmiştir. Bağın kalitesi, mekanik kesme testi ve mikro sertlik ile değerlendirilmiş olup kırık yüzeyler incelenmiş ve kırılma mukavemeti sert Fe-Cr-Ti ile daha fazla kayma mukavemetine sahip 750°C'de bağlanmış birleşme yeri için XRD kullanılarak fraktograflar hazırlanmıştır [36].

Dubleks paslanmaz çelikler bileşimlerinde farklı miktarda alaşım elementleri içermektedirler. Bu alaşım elementlerinden en değişken olanları krom ve nikelidir. Dubleks paslanmaz çeliklerde farklı oranlarda Ni ve Cr içerebilirler. Bu şekilde imal edilmiş paslanmaz çelikler arasında da difüzyon kaynağı uygulanan çalışmalar olup mikro yapı ve mekanik özellikler analiz edilmektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalardan birinde Cr<sub>30</sub>Ni<sub>7</sub>Mo<sub>3</sub>MnSi (SAE 2906, daha yüksek korozyon direncine sahip) ve ucuz Cr<sub>22</sub>Ni<sub>5</sub>Mo<sub>3</sub>MnSi (SAE 2205, daha düşük korozyon direncine sahip) dubleks paslanmaz çelikler arasında 1100 ° C'de difüzyon kaynağı işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantının kesme mukavemeti araştırmanın içeriğinde tutma süresi ve basınçtaki artışla beraber hızla arttı ve ardından tutma süresi ve basınç sırasıyla 5 dakika ve 10 MPa'ya ulaştığında yavaşça arttı. Bu artan mukavemet, yapıştırma ara yüzündeki boşluk büzülmesi ve tane sınırı hareketinden kaynaklanıyordu. 1100°C'de 10 dakika süreyle son çözelti, eklem kayma mukavemetini önemli ölçüde 808 MPa'ya yükseltti, bu da taban çeliğinin 740 MPa'ından daha

yüksekti. Mekanik özelliklerde iyileşme görüldüğü çalışmanın detayında incelenmiştir [37].

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında difüzyon kaynağının kullanımıyla ilgili araştırmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çalışmalar doğrultusunda dubleks paslanmaz çeliklerin sadece demir esaslı metallere değil titanyum esaslı veya bakır esaslı malzemelerle farklı yöntemler de kullanılarak birleştirildiği görülmektedir. Ayrıca difüzyon kaynağı yapılırken daha iyi bir kaynak bağlantısı elde etmek amacıyla malzemelerin arasına ara tabaka olarak Ni, Cu gibi metallere deneysel olarak eklendiği görülmektedir. Dubleks paslanmaz çeliklerin difüzyon kaynağında 5-10 MPa aralığında basınç ve yaklaşık olarak 800 - 1200 ° C aralığında sıcaklıkların kullanıldığı görülmektedir. Zaman faktörü ise istenilen kaynaklı yapı türüne ve malzemelere göre belirlenmektedir. Deneysel çalışmaları takip eden süreçlerde ise malzemelerin mikroyapı analizleri için SEM ve optik mikroskop gibi gözlem cihazları kullanılmış ve malzemelerin karakteristik yapılarını aynı zamanda fazlarını belirlemek için XRD ve EDS gibi yöntemler kullanılmıştır. Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için ise çekme deneyi ve kesme deneyi uygulanmıştır. Bu çalışmaların genellikle olumlu sonuçlar verdiği ve malzemelerin mekanik özelliklerinde iyileşmeler olduğu görülmektedir. Yani difüzyon kaynağı paslanmaz çelik çeşitlerinden dubleks paslanmaz çelik için imalat ve üretim aşamalarında kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Şu an bu çalışmalar akademik düzeyde de olsa ilerleyen yıllarda daha çok uygulama alanı bulacaktır.

## **2.2 Difüzyon Kaynağı**

### **2.2.1 Difüzyon**

Difüzyon, atomların, moleküllerin ve iyonların buldukları ortamdaki sıcaklığa bağlı olarak yerlerini değiştirmeleri sonucunda meydana gelen kütleli bir akıştır. Ayrıca moleküllerin rasgele hareketi sonucu olan bir dağılma ve madde hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Atomlar yüksek konsantrasyonda buldukları bir bölgeden konsantrasyonlarının daha düşük olduğu bir bölgeye göç ederler.

Difüzyonun en hızlısı gazlarda meydana gelmektedir. Sıvılarda daha yavaş katılarda ise daha da yavaş olmaktadır. Bu nedenle katı cisimlere uygulanan difüzyon kaynağında süre uzun olmaktadır. [38]

### **2.2.2 Difüzyon Kaynağı**

Teknolojideki çok hızlı gelişme, pahalı veya farklı malzemelerin birbiriyle birleştirilerek kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Difüzyon kaynağı ,çok eskiden beri bilinmesine rağmen, özellikle son yıllarda uzay teknolojisinde, nükleer santrallerde ve elektronik sanayindeki hızlı gelişmeler, bu yöntemin kullanımını adeta zorlamıştır. Apollo uzay aracı ve uzay kapsülündeki parçalarda, nükleer santrallerdeki yakıt çubuğu koruyucu bağlantısında, bu yöntem uygulanmıştır. Uçak sanayinde, askeri ve yolcu uçaklarının uzun ve dayanıklı olan kanat parçalarında difüzyon kaynağı vardır. Soğuk hava depolarında, gaz dolmuş tesislerinde ve silah teknolojisinde de aynı yöntem kullanılmaktadır.

Difüzyon kaynağı, basit bir prensibe dayanır. Bu yöntem; “Uygun bir atmosferde, (genellikle vakum veya koruyucu gaz), uygun sıcaklık ve basınçta, katı halde malzemelerin birleştirmeleri” olarak tarif edilebilir. Difüzyon kaynağı şartları malzemelerin cinslerine göre değişebilir. Bu kaynak yöntemi, basınç uygulayarak yapılan diğer kaynak yöntemlerinde (soğuk basınç kaynağı, sürtünme kaynağı vs.), uzun kaynak süresi, nispeten düşük deformasyon ve uygun kaynak sıcaklığında yapılması yönünden farklılık gösterir [39].

Difüzyon kaynağı, birbirleriyle birleştirilmeleri ergitme kaynağı ile mümkün olmayan, aralarında seramik ve kompozitlerin de yer aldığı, birçok demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının birleştirilmesini mümkün kılan bir katı hal kaynağıdır. Difüzyon kaynağıyla kusursuz bir ara yüzey ve yüksek sıcaklıkta mekanik direnç elde edilebilmektedir [40].

Difüzyon kaynağının özellikle uçak ve uzay sanayinde, harp sanayinde kullanılması nedeniyle bu alandaki teknolojik gelişmeleri önemli ölçüde artırmıştır. Ayrıca çeşitli kompozit ve inorganik malzeme sınıfıyla kullanılan alternatif malzemelerin gelişimini de önemli ölçüde etkilemiştir. Bu kaynak yöntemini gerçekleştirebilmek için teknolojik

gelişmişliğin yeterli derecede olması gerekir. Bu şartı sağlayan imkanlar yerine getirildiğinde elde edilen kaynak verimi oldukça yüksek olacaktır.

Difüzyon kaynağının temel parametreleri sıcaklık, basınç ve süredir. Bununla beraber birleştirilecek parçaların yüzey şartları, kaynak atmosferi ve soğuma hızı kaynak kalitesine etki eden önemli parametrelerdir. Sıcaklık, oksidasyona, deformasyon miktarına, allotropik dönüşüme, tane boyutuna, yeniden kristalleşmeye ve kaynak işlem süresini doğrudan etkilediğinden difüzyon kaynağı için en önemli parametredir [41]. Bu parametreler daha detaylı olarak aşağıda incelenmiş ve yorumlanmıştır.

### **2.2.2.1 Difüzyon Kaynağı Parametreleri**

Difüzyon Kaynağı adından da geldiği üzere belirli parametreler altında malzemelerin difüzyonu sonucu birleştirilmesi sonucunda elde edilen bir kaynaklanma yöntemidir. Difüzyon kaynağında etkili olan parametreler kaynağın kalitesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bunun nedeni malzemelere gerekli koşullardan farklı koşullar altında uygulanan parametreler kaynağın kalitesini etkilemektedir. Difüzyon kaynağı parametreleri bu doğrultuda malzemelerin mekanik özelliklerini de etkilemektedir.

Bu parametreler temel olarak;

1. Sıcaklık
2. Süre
3. Basınç
4. Numune yüzeyi olarak sınıflandırılabilir.

#### **2.2.2.1.1. Sıcaklık**

Difüzyon kaynağı, birleştirilmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde makroskobik plastik deformasyon oluşturmayan bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek kadar bir sürede tutulmasıyla yapılan birleştirmedir. [42]

Yukarıdaki difüzyon kaynağı tanımından da anlaşılacağı üzere difüzyon kaynağı için sıcaklık en önemli parametrelerden biridir. Sıcaklık arttıkça malzemenin akma gerilmesi azalır ve malzemeler daha sünekliliği yüksek bir yapı alırlar. Sıcaklığın bu düzeyde ayarlanması ve basıncında etkisiyle kaynak işleminde difüzyon olması kolaylaşır. Ancak sıcaklığın gerekli olandan az veya fazla uygulanması planlanan kaynak özelliklerinden daha farklı kaynak özellikleri elde edilebilir. Kaynak yapılacak malzemelerin özelliklerine göre bir sıcaklık belirlenmeli ve bu sıcaklık standardından sapılmaması gerekmektedir [43].

#### **2.2.2.1.2 Zaman(Süre)**

Kaynak süresi difüzyon kaynağında kaynak kalitesini etkileyen tek öge değildir. Bu süre daha çok sıcaklık ve basınca bağlıdır. Sıcaklık ve basınç değerlerinde artış olursa kaynak süresi azalmaktadır eğer bu değerlerde azalma olursa kaynak süresi uzatılmaktadır. Bunun nedeni kaynağın belirli bir standartta ve kaliteli olmasındandır. Kaynak süresi az olursa kaynak işlemi başarısız olabilmektedir. Bunun dengesi için süreye dikkat edilmelidir.

#### **2.2.2.1.3 Basınç**

Basınç da sıcaklık ve zaman gibi difüzyon kaynağı için önemli bir parametredir. Ve sıcaklığa göre basınç değişmektedir. Yüksek sıcaklıklarda malzemelere olması gerekenden fazla basınç uygulanırsa malzemeler deforme olabilir. Bunun nedeni yüksek sıcaklıklarda kaynaklanan malzemelerin süneklilik değerleri artar bu doğrultuda malzemelere yüksek basınç uygulanırsa malzemede deformasyon görülebilir.

#### **2.2.2.1.4 Numune Yüzeyi**

Uzun kesitlerde elde edilen deney malzemesi kesici diskten olabildiğince düzgün bir şekilde kesilmelidir. Kesilirken bu özene dikkat edilmezse yamuk kesitli parçalar elde edilir ve bu durumda bu malzemeler deneylerde kullanılırsa kaynak kalitesi istenilen şekilde olmayabilir. Ayrıca numuneler düzgün şekilde kesildikten sonra numunelerin

yüzeylerindeki tufalleri almak için zımparalama cihazından geçirilmesi kaynak işlemini kolaylaştırmakta ve kaliteli bir kaynak ara yüzeyi elde edilmesini sağlamaktadır.

#### **2.2.2.2 Difüzyon Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları**

Difüzyon kaynağı son zamanlarda araştırmaları yaygınlaşan ve üzerine çokça çalışma yapılan bir kaynak yöntemidir. Pek çok kaynak yönteminden farklı olarak yapıldığı için difüzyon kaynağı da çeşitli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Bu avantajları listeleyecek olursak;

- Birbirinden farklı malzemelere homojen ve ITAB bölgesi oluşturmayan kaynaklar yapılmasını sağlar
- Kaynaklanan parçalar sonradan tekrar işleme gerekmeden birleştirilebilirler.
- Bazı kaynak yöntemleri ergitme mekanizmasına sahiptir ve bu bazı malzemelerin kaynağını zorlaştırır. Ancak difüzyon kaynağında bu durum söz konusu değildir. Bu durumu gerektiren malzemelerin kaynağı yapılabilir.
- Farklı şekillerdeki parçaların birleştirilmesi sağlanabilir.
- Malzemeler katı halde birleştirildikleri için mekanik özelliklerinde büyük oranda bir değişiklik olmaz bu da malzemelerin aynı yerlerde kullanılmasını mümkün kılar.
- Parametreler doğru bir şekilde ayarlandığında numunelerden yüksek kalitede bağlantı noktaları elde edilmektedir.
- Ergitme Kaynak yöntemlerinde meydana gelen mikro yapısal kusurlara difüzyon kaynağında rastlanılmaz.

Difüzyon kaynağının bu gibi avantajları olmasına rağmen bazı durumlardan dolayı kullanımını sınırlanabilir. Bu durumları da listeleyecek olursak;

- Difüzyon kaynağı mekanizmasını oluşturmak ve ekipmanlarının maliyeti genellikle fazladır. Bu durum kullanımını sınırlandırılabilir bu yüzden difüzyon kaynağının kullanımı yüksek teknoloji gerektiren durumlarda yaygındır.
- Kaynak işlem süresi diğer kaynak yöntemlerine göre uzundur.
- Çok yüksek miktarlarda ve seri üretime çok uygun bir kaynak yöntemi değildir.

- Kaynak için kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak kaynak işleminin vakum atmosferinde yapılması gerekebilmektedir. Bu da bu kaynak yönteminin kullanımını sınırlandırmaktadır.
- Kaynak bölgesinin kalitesinin kontrolü için muayene yöntemleri uygulanması zordur. Ancak kaynağına güvenildiği için kesinlik istenen birçok yerde kullanılabilir.

### 2.2.2.3 Difüzyon Kaynağının Kullanım Alanları

Literatür çalışmalarında da görüldüğü üzere difüzyon kaynağı pek çok amaç, çalışma ve işlem için kullanılmaktadır. Difüzyon kaynağı deneysel parametrelerin dışında kullanıldığında pek çok amaç için kullanılan güçlü bir kaynak yöntemidir. Pek çok farklı malzemenin kaynağına imkan verdiği içinde uygulama alanları genişlemektedir. Bu alanları sıralayacak olursak;

1. Uzay ve Havacılık Sanayi
2. Savunma Sanayi Teknolojisi
3. Nükleer Sanayi
4. Elektrik ve Elektronik Sanayi
5. Yüzey Kaplama İşlemleri Uygulamaları
6. Döküm ve Dövme Malzemelerin Kaynağı
7. Bir Defada Birleştirilmesi Gereken Karmaşık Şekilli Uygulamalar
8. Farklı Mühendislik Uygulamaları

Gibi çok farklı kullanım alanına sahiptir.

Yüksek hızlı makineler, traktör ve bunlar gibi büyük kütleli araçların üretiminde kullanılmaktadır. Bu araçlarda döküm malzemeler ile çeliğin bağlantı noktalarında genellikle kullanılır.

Havacılık sektöründe ise difüzyon kaynağı daha ucuz ve daha hafif malzemelerin üretimini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Difüzyon kaynağının silah sanayindeki uygulamalarında amaç; diğer tekniklerle daha ekonomik ve entegre olarak üretilemeyen yapı ve elemanları üretmektir [42].



## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu tez çalışmasında AISI 1.4462 tipi dubleks paslanmaz çelik saf Ni ara folyo kullanılarak difüzyon kaynağı tekniği ile birleştirilmiştir. Duplex paslanmaz çelik numuneler 12 mm çapında çubuk halinde sanayiden temin edilmiştir. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de verilmiştir. Ara folyo olarak kullanılan saf Ni % 99,9 saflıkta olup 25 mikron kalınlığında yine piyasadan temin edilmiştir.

Tablo 3.1 1.4462 Dubleks Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Bileşimi

Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni
%Ağırlık	0,03	2,0	0,035	0,015	1,0	21-23	2,5-3,5	4,5-6,5

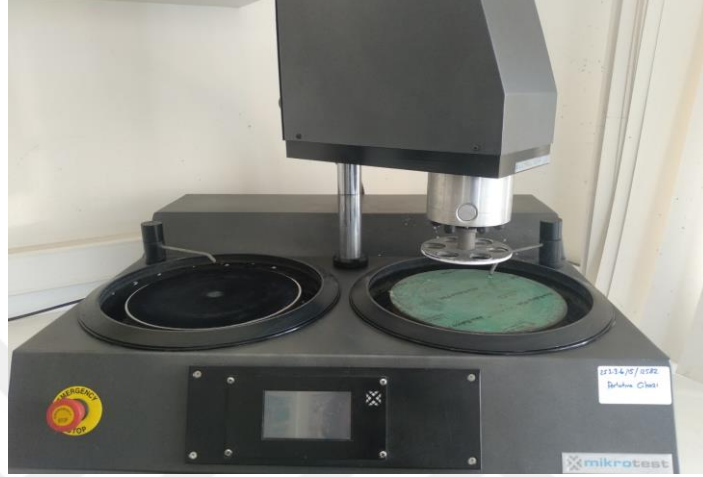
#### 3.2 Numune Hazırlama İşlemleri

Difüzyon kaynak numunesi için sanayiden 12 mm kalınlığında çubuk halinde temin edilen 1.4462 dubleks paslanmaz çelik hasas kesme cihazı kullanılarak 15mm boyunda kesilmiştir.



Şekil 3.1. Hassas Kesme Cihazı

Hassas Kesme Cihazı kullanılarak 15mm boyutlarında kesilen 1.4462 dubleks paslanmaz çeliklerin yüzeyleri kesme izlerini yok etmek amacıyla zımparalanmıştır. Bu amaçla, zımpara cihazında numunenin yüzeyi en son 1000 mesh zımpara kullanılarak zımparalanmıştır.



Şekil 3.2. Zımparalama Cihazı

Numune çapına uygun Ni ara folyo kesilmiş ve zımparalanan yüzeyler arasına yerleştirilmiştir. Böylece numuneler difüzyon kaynağına uygun hale getirilmiştir. Difüzyon kaynak işleminde aşağıda fotoğrafı verilen vakum ve koruyucu gaz atmosferinde çalışılabilen difüzyon kaynak cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Difüzyon Kaynağı Cihazı

Numuneler difüzyon kaynak cihazına Şekil 3.4’te gösterildiği üzere yerleştirilmiştir. Şekil 3.4’de aynı zamanda fırın içerisinde numunelerin sıcaklık ve yük altındaki durumu görülmektedir.



Şekil 3.4 Difüzyon Kaynak Numunesinin Sıcaklık ve Yük Altındaki Durumu

Difüzyon kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen numunenin açık havada soğutulmasından sonra çekilen makro fotoğrafı Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5 Difüzyon Kaynağı İle Birleştirme Sonrası Numunenin Makro Fotoğrafi

Difüzyon kaynağı ile birleştirilen numunelerin ara kesit mikroyapı ve mikrosertlik analizlerinin yapılabilmesi amacıyla yatay konumda bakalite alma tekniği ile kalıplanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Bakalite Alma Cihazı

Bakalite alınmış numuneler Şekil 3.7’de görüldüğü üzere zımparalama ve parlatma işleminden geçirilmiştir. Bu amaçla numuneler sırasıyla 120, 400, 800, 1200 mesh’lik zımparalama sonrasında 3 mikronluk elmas pasta ile çuha işleminden geçirilerek parlatılmıştır.



Şekil 3.7 Bakalite Alınmış ve Parlatılmış Numune

Parlatma işlemi sonrası ara yüzey mikroyapı analizlerini yapabilmek amacıyla dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemi, % 20 potasyum hidroksit ve % 80 saf su çözeltisi kullanılarak elektrolitik olarak gerçekleştirilmiştir. Elektrolitik dağlama Şekil 3.8’de görülen güç kaynağı kullanılarak 4 V gerilim ve 10 saniye sürede gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8 Elektrolitik Dağlama Güç Ünitesi

Dağlama işlemi sonrasında numuneler optik mikroyapı analizi, SEM analizi ve mikrosertlik ölçümleri için hazır hale getirilmiştir.

## BÖLÜM 4

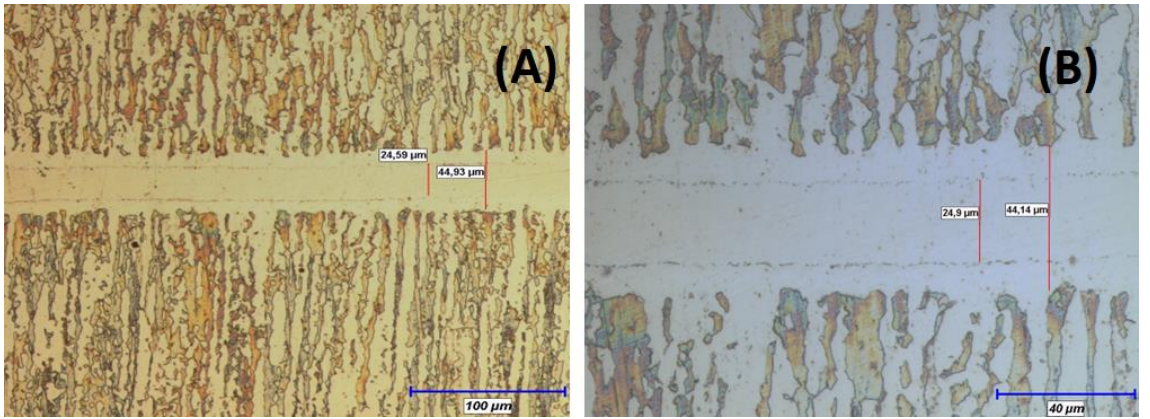
### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 4.1. Deneysel Çalışmalara Giriş

Bu tez çalışmasında, 1.4462 dubleks paslanmaz çelik numuneler 25 mikron kalınlığında Ni ara folyo kullanılarak 5 ve 10 MPa basınç altında ve 1000, 1050 ve 1100 °C'lik işlem sıcaklıklarında 1 ve 2 saat sürelerde difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Böylece 1.4462 dubleks paslanmaz çeliğin difüzyon kaynağı için optimum difüzyon kaynak parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilen numunelerin birleşme bölgesi ara yüzeyi optik ve SEM mikroskopları kullanılarak analiz edilmiştir. Görüntü analiz sistemi kullanılarak ise optik fotoğraflar ve ara yüzey ölçümleri alınmıştır. Yine ara yüzeyden alınan EDS analizleri ile elementer difüzyon profili ve mikrosertlik analizleri ile sertlik profili çıkarılmıştır.

#### 4.2 Optik Mikroskop Görüntüleri

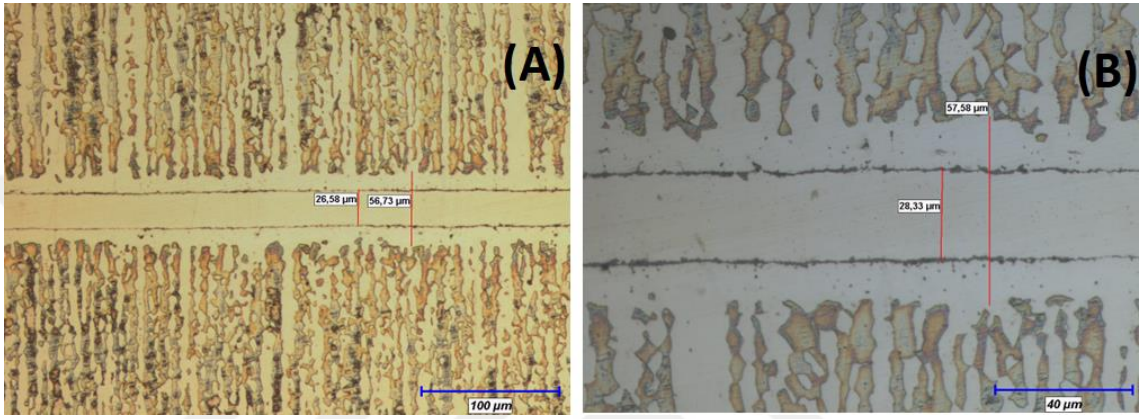
1000 °C'lik işlem sıcaklığı, 10 MPa basınç ve 1 saat süreyle birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğrafı Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. 1000 °C Sıcaklık, 10 MPa ve 1 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)

Mikroyapı fotoğraflarından Ni ara folyo ve ana malzeme ara yüzeyi belirgin bir şekilde görülmekle birlikte ara folyo kalınlığı 24,9 mikron olarak ölçülmüştür. Yine optik

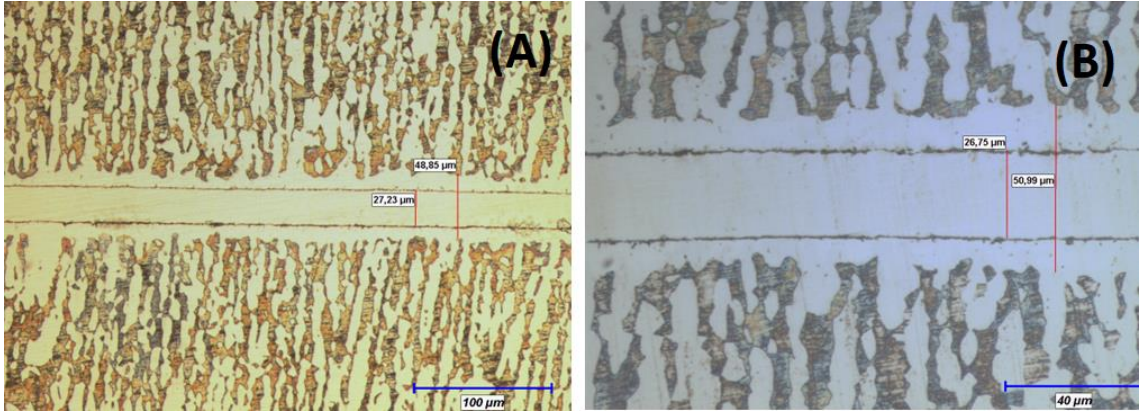
mikroyapı fotoğraflarından ara folyo ile birlikte ara yüzey difüzyon mesafesi 44,14 mikron olarak tespit edilmiştir. Ni ara folyo ve dupleks paslanmaz çelik arasındaki mikro boşlukların difüzyonla tamamen ortadan kalktığı ve mikroyapı fotoğraflarındaki siyah izin boşluk olmayıp bir ara yüzey fazı olduğu açıkça görülmektedir. 1000 °C'lik işlem sıcaklığı, 5 MPa basınç ve 2 saat süreyle birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğrafı Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. 1000 °C Sıcaklık, 5 MPa ve 2 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)

Şekil 4.2'den Ni ara folyo ve ana malzeme arası sınır aynı sıcaklıkta bir saatlik parametreye kıyasla daha belirgin hale gelmiştir. Bu durum, nispeten daha düşük difüzyon basıncından veya artan difüzyon süresiyle birlikte paslanmaz çelikten Ni ara folyoya muhtemel gerçekleşen Fe veya Cr difüzyonuyla ikincil bir fazın oluştuğunu göstermektedir. Yine optik mikroyapı fotoğraflardan kullanılan 25 mikronluk Ni ara folyo ile birlikte 28 mikronluk bir ara yüzey ve 57 mikronluk bir toplam difüzyon mesafesinin oluştuğu görülmüştür.

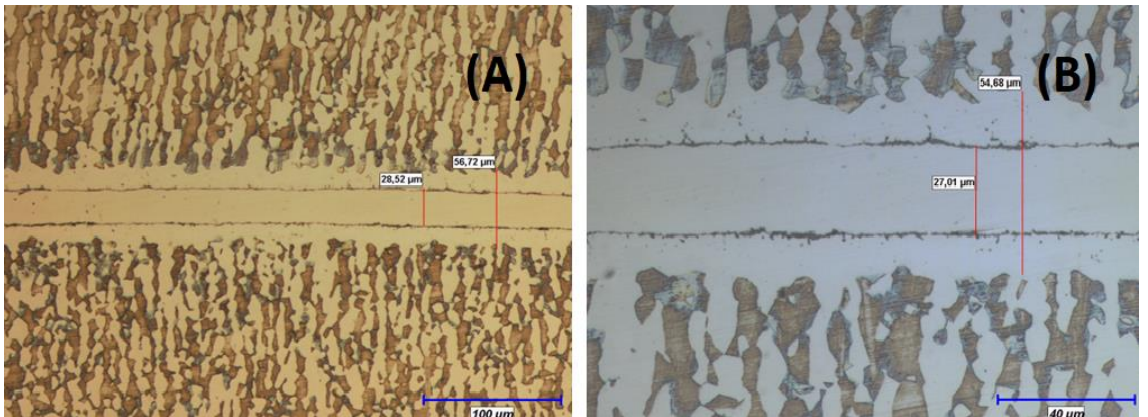
Şekil 4.3'te 1050 °C, 10 Mpa basınç ve 1 saat parametrelerinde difüzyon kaynağı yapılmış numunenin optik mikroyapı fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 4.3. 1050 °C, 10 MPa, 1 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)

Mikroyapı fotoğraflarından da görüldüğü üzere Ni ara folyo ve duplex ana malzeme arasında meydana gelen muhtemel difüzyondan kaynaklı ikincil faz oluşumu birleşme ara yüzeyi boyunca meydana gelmiştir. Mikro boşluğu andıran bu oluşumun detaylı incelendiğinde mikro boşluk olmadığı net olarak tespit edilmiştir. Yine, artan sıcaklıkla birlikte Ni ara folyo ile beraber her iki tarafta toplam 51 mikronluk difüzyon mesafesi elde edilmiştir. Duplex ana malzeme tarafına Ni ara folyodan gerçekleşen muhtemel Ni difüzyonuyla birlikte difüzyon ara bölgesi sınır boyunca ostenitik yapıya dönüşmüştür.

1050 °C sıcaklık, 5 MPa basınç ve 2 saatlik süre parametrelerinde difüzyon kaynağı yapılmış numunenin optik mikroskopla alınan mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.

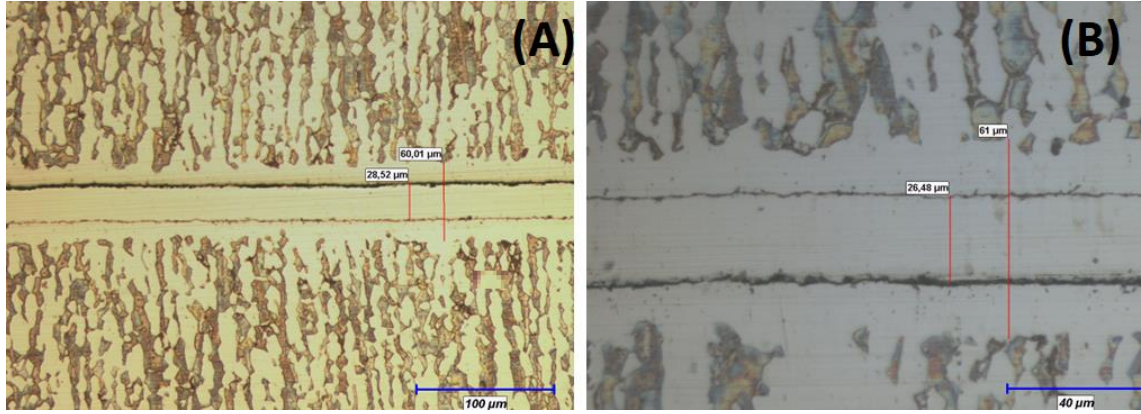


Şekil 4. 1050 °C, 5 MPa, 2 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)



Mikroyapı fotoğraflarından, artan difüzyon süresiyle birlikte 1 saatlik parametreye kıyasla Ni ara folyo ve duplex ana malzeme arasındaki ikincil fazlar daha belirgin bir hal almıştır. Bununla birlikte yer yer oluşan ikincil fazın sürekliliğini yitirdiği de görülmektedir. Aynı zamanda artan difüzyon süresiyle birlikte artan karşılıklı elementer difüzyon 54,6 mikronluk difüzyon mesafesinin oluşumuna yol açmıştır. Mikroyapı fotoğraflarından aynı zamanda duplex paslanmaz çeliğin ferrit + ostenitik yapıda olduğu ve faz dağılımı görülmektedir.

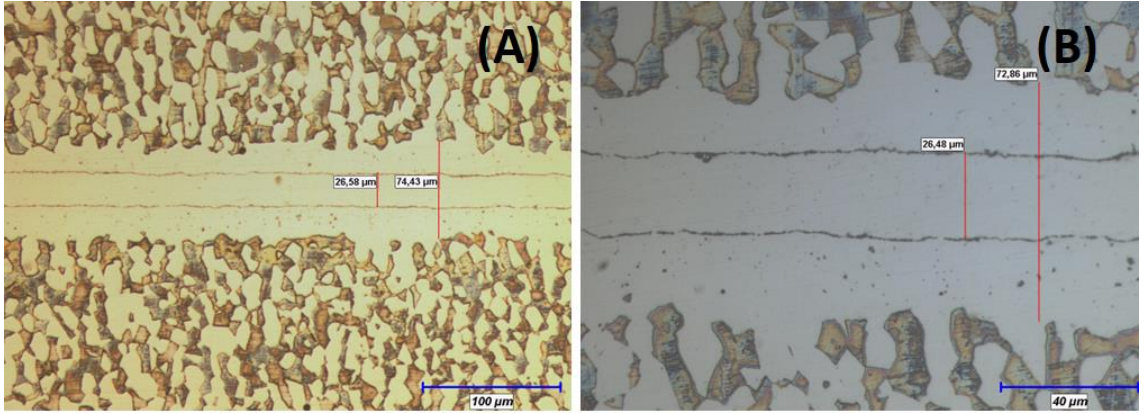
1100 °C sıcaklık, 10 MPa basınç ve 1 saat süre parametreleri kullanılarak birleştirilen numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. 1100 °C, 10 MPa, 1 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)

Mikroyapı fotoğraflarından anlaşılacağı üzere artan difüzyon sıcaklığı ile birlikte Ni ara folyodan duplex paslanmaz çelik tarafına Ni difüzyonu ve ana malzemeden ise Ni ara folyoya Fe ve Cr difüzyonuyla hem ara faz oluşumu hem de difüzyon mesafesi artmıştır.

Şekil 4.6’da 1100 °C sıcaklık, 5 MPa basınç ve 2 saat’lik işlem parametreleri kullanılarak birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.

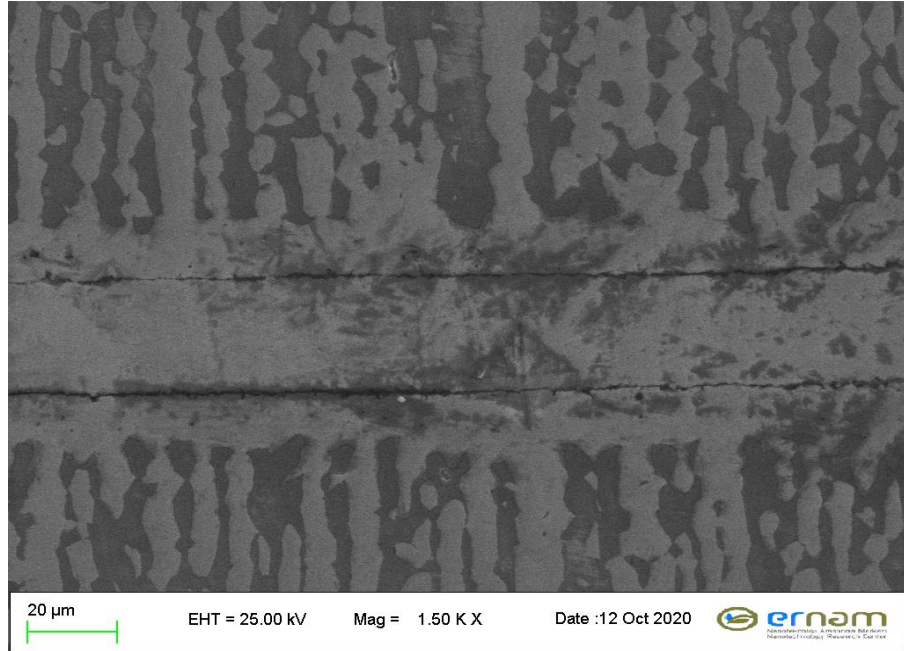
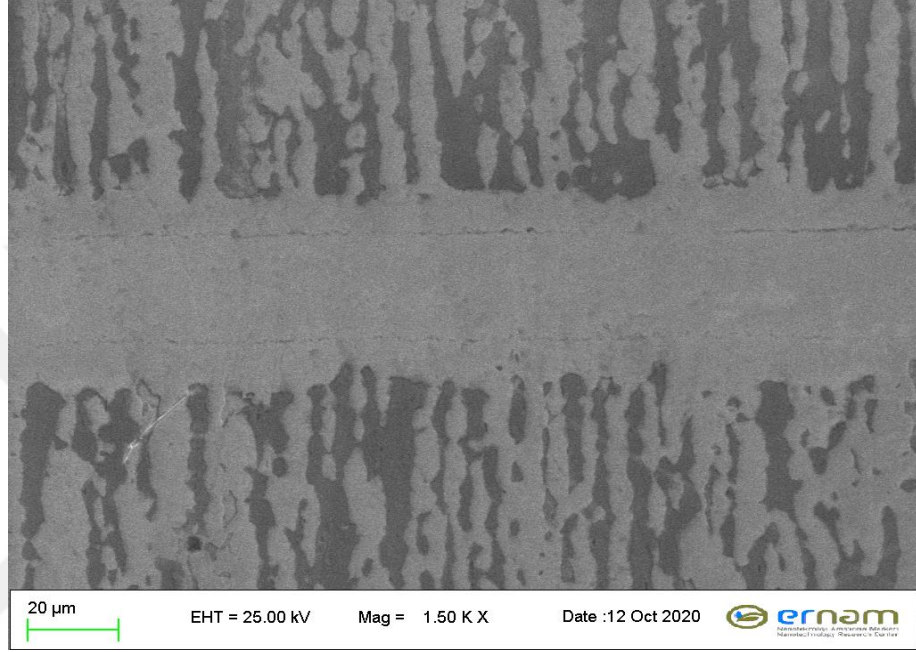


Şekil 4.6 1100 °C, 5 MPa, 2 Saat Süre Parametresi Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları (A-20x, B-50x)

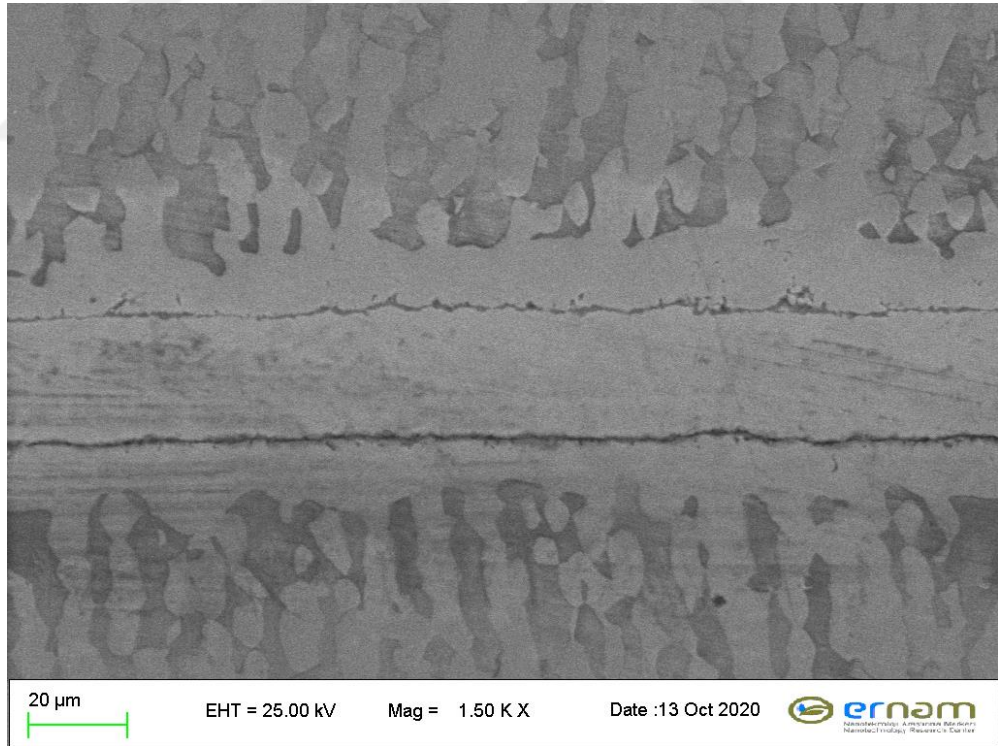
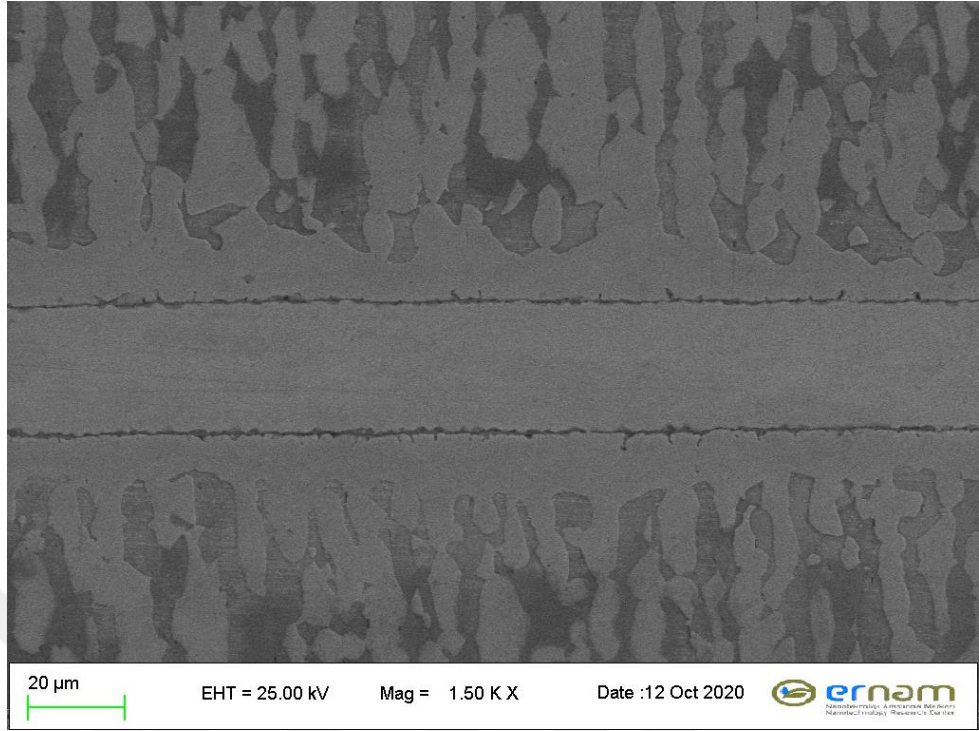
Mikroyapı fotoğraflarından, diğer parametrelere kıyasla artan difüzyon sıcaklığı ve süresiyle birlikte Ni ara folyo ve ana malzemenin oluşan ikincil faza rağmen bir bütünlük arz ettiği açıkça görülmüştür. Yine mikroyapı fotoğraflarından maksimum 72,8 mikronluk difüzyon mesafesinin olduğu görülmektedir. Bu durumun artan difüzyon sıcaklığı ve süresine bağlı olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, artan sıcaklıkla birlikte Ni ara folyo ve ana malzeme arasında meydana gelen ikincil faz oluşumu azalmıştır.

### 4.3 SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

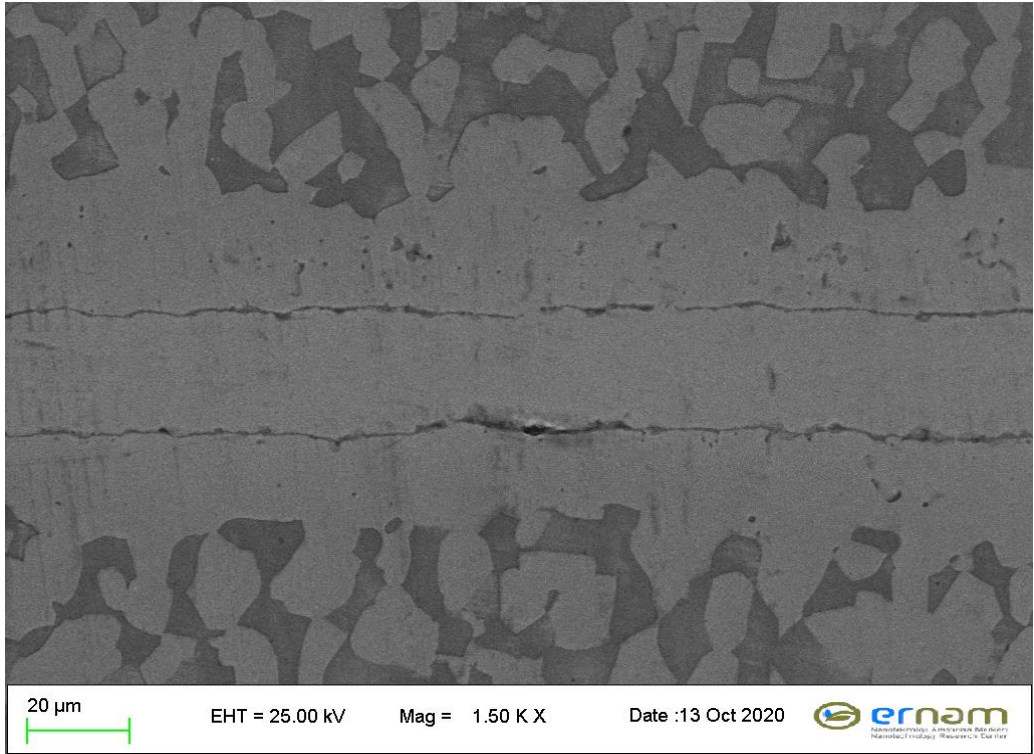
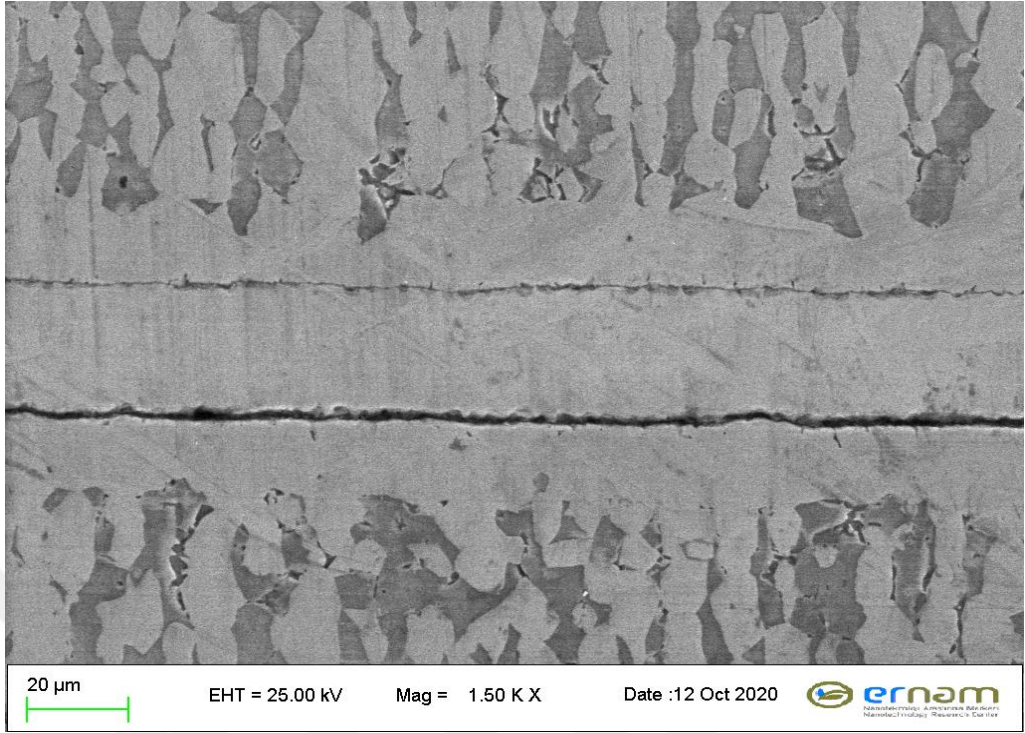
Difüzyon kaynağı tekniği ile 25 mikronluk Ni ara folyo kullanılarak 1000, 1050 ve 1100 °C sıcaklıklarda 5 ve 10 Mpa basınç altında 1 ve 2 saat süre ile birleştirilen numunelerden alınan SEM fotoğrafları Şekil 4.7 – 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.7 1000 °C’de 10 MPa Basınç ve 1 Saat, 5 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları



Şekil 4.8 1050 °C'de 10 MPa Basınç ve 1 Saat, 5 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları

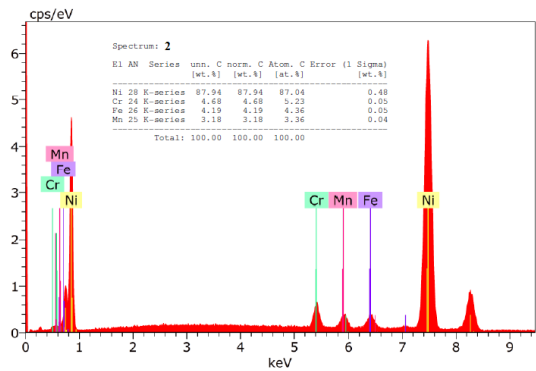
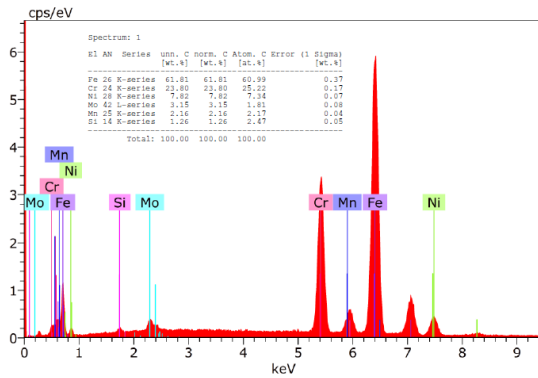
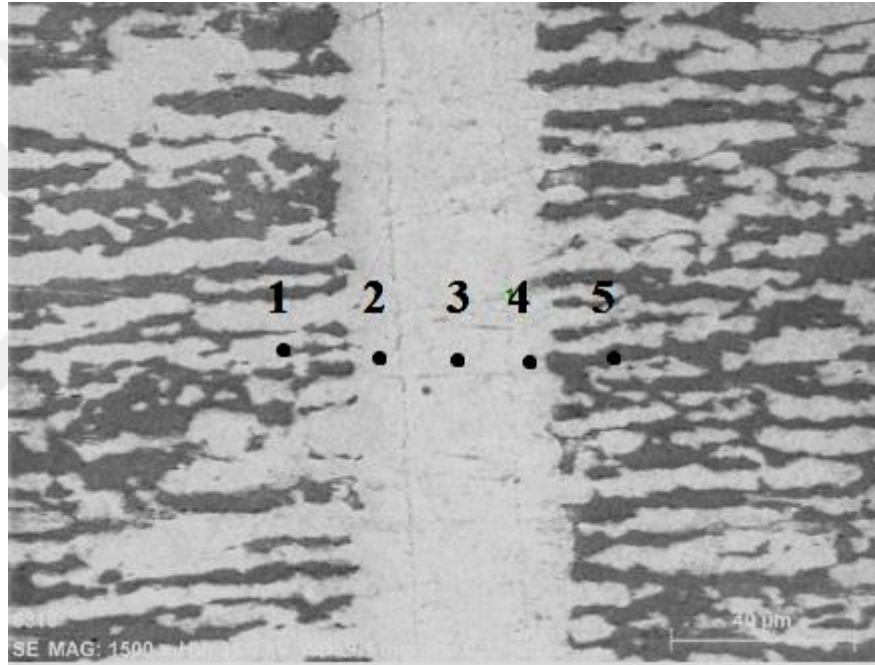


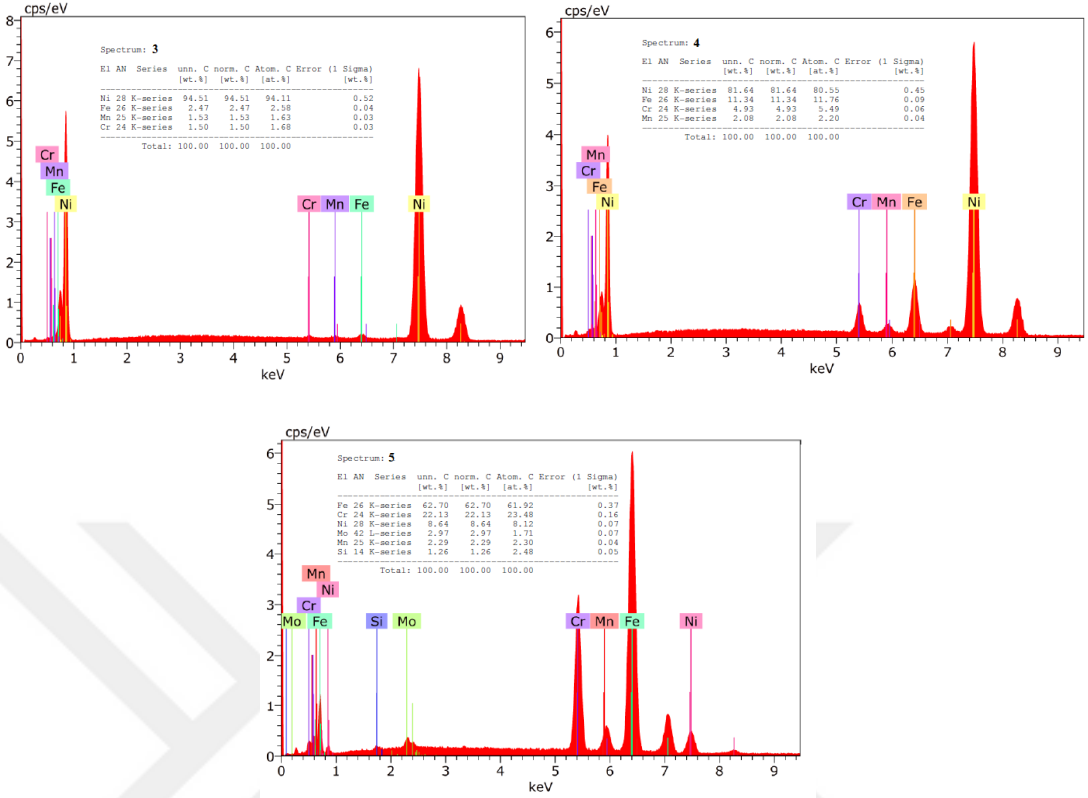
Şekil 4.9 1100 °C'de 10 MPa Basınç ve 1 Saat, 5 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları

SEM mikroyapı fotoğraflarından artan sıcaklık ve süre ile birlikte difüzyon ara tabakanın Ni ara folyodan ana malzemeye doğru muhtemel Ni difüzyonu ve ana

malzemedan ara tabakaya doğru ise Fe ve Cr elementlerinin difüzyonuyla birlikte arttığı tespit edilmiştir. Tüm parametrelerde Ni ara folyo ve ana malzeme arasında herhangi bir mikro boşluk oluşumu gözlemlenmemiştir. Ancak ikincil faz oluşumu meydana gelmiştir. Bu ikincil faz oluşumu optik mikroyapı fotoğraflarından da tespit edilmiş fakat SEM analiz sayesinde daha da netlik kazanmıştır.

Şekil 4.10'da 1000 °C'de 1 saat süreyle birleştirilen numunenin difüzyon ara yüzeyinden alınan EDS noktaları ve elde edilen elementer analiz sonucu görülmektedir.





Şekil 4.10. 1000 °C'de 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin EDS Analizi

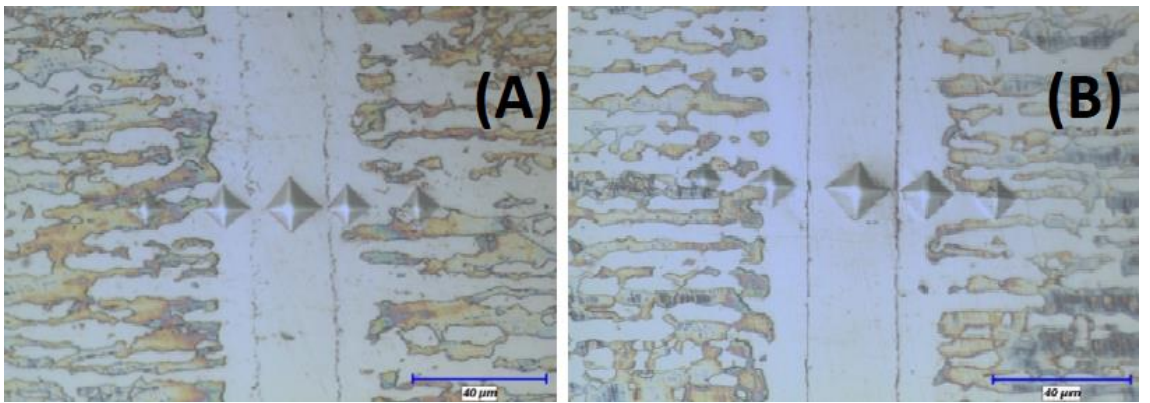
Şekil 4.10 verilen EDS analizlerinden 1. noktada görüldüğü üzere ağırlıkça %61,8 Fe % 23,8 Cr ve %7,8 Ni elementleri değeri elde edilmiştir. Bu nokta ana malzeme difüzyon bölgesidir. Ni ara folyodan ana malzemeye Ni elementinin difüzyonuyla birlikte ana malzeme Ni içeriği bir miktar artmıştır. EDS analizlerinden 2. noktada ağırlıkça % 87,9 Ni, % 4,6 Cr ve % 4,1 Fe değerleri elde edilmiştir. Ni ara folyo ve ana malzeme difüzyon bölgesini işaret eden bu bölgede elde edilen yüksek Ni değeri ile birlikte Fe ve Cr değerleri karşılıklı elementer difüzyonu ile meydana gelen mikroyapısal değişimi desteklemektedir. 3. Noktada ise % 94,5 Ni % 1,5 Cr ve % 2,4 Fe değerleri elde edilmiştir. Bu nokta tam olarak saf Ni ara folyonun orta noktasıdır. Elde edilen sonuç Fe ve Cr elementlerinin Ni folyonun merkezine kadar difüze olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, ana malzemedan ara folyoya Fe ve Cr difüzyonu ve Ni ara folyodan ana malzemeye Ni difüzyonuyla ara bölge ve difüzyon bölgesinin ostenitik katı eriyik fazından meydana geldiği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Difüzyon çiftinin diğer kısımlarından alınan EDS analizlerinde (Nokta 4 ve 5) benzer sonuçlar elde edilmiştir.

### 4.3 Mikrosertlik Analizleri ve Görüntüleri

Difüzyon kaynağı yapılmış deney numunelerin mikrosertlik değerleri tam kaynak bölgesinden, ana malzemeden ve ara tabaka ile ana malzemenin birleştiği yerden alınmıştır. Sertlik değerleri alındıktan sonra sertlik izleri optik mikroskop ve görüntü analiz sistemiyle görüntülenmiştir.

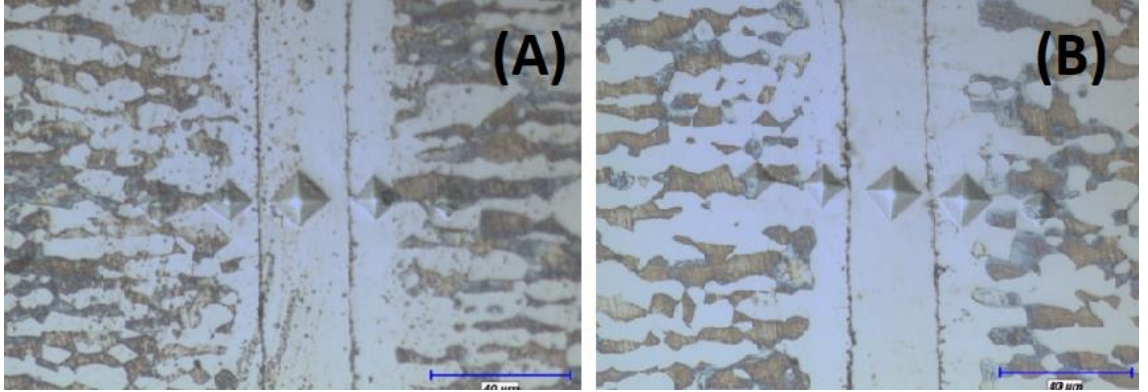


Şekil 4.11 Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

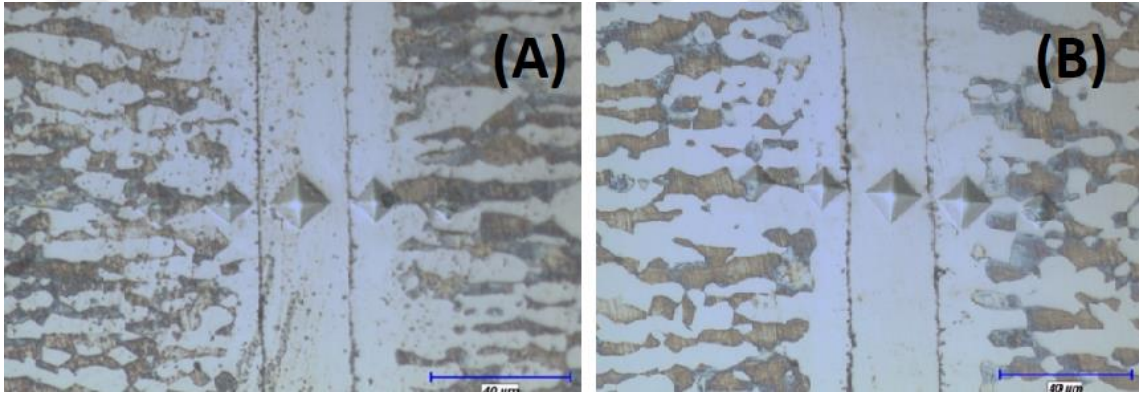


Şekil 4.12 1000 °C, 10 MPa, 1 Saat (A) ve 1000 °C, 5 MPa, 2 Saat (B) Parametrelerinde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri





Şekil 5.13 1050 °C, 10 MPa, 1 Saat (A) ve 1050 °C, 5 MPa, 2 Saat (B) Parametrelerinde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri



Şekil 4.14 1100 °C, 10 MPa, 1 Saat (A) ve 1100 °C, 5 MPa, 2 Saat (B) Parametrelerinde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri

Numunelerin sertlik davranışları ele alındığında ana malzemeye yakın bölgelerden alınan sertlik değerleri daha yüksek ve sertlik izleri de bu doğrultuda küçülmektedir. Buna örnek olarak ana malzemeye yakın bölgelerdeki sertlik değerlerinin tüm parametrelerdeki numuneler için 206 HV ile 321 HV aralığında değiştiği görülmektedir. Bunun yanı sıra difüzyonun en yoğun olduğu yerlerden alınan sertlik değerleri ve görüntüleri de bize ana malzemeye yakın sertlik değerini vermiştir. Bu doğrultuda ara tabaka ile 1.4462 duplex paslanmaz çeliğin difüzyon gölgesinde 197 HV ile 258 HV aralığında sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıdaki sertlik ölçüm tablosunda da görüldüğü üzere en düşük sertlik değerleri 3 numaraya verilen Ni ara folyo üzerinde elde edilmiştir. Aynı zamanda Ni ara folyoda artan işlem sıcaklığı ile birlikte katı eriyik faz

oluşumdan kaynaklı sertlik değerlerinde nispeten artış meydana gelmiştir. Ni içeriği açısından zengin difüzyon bölgesinde sertlikte artış tespit edilmiş ve ana malzemeye doğru sertlik artmıştır.

Tablo 4.1 Tüm Parametrelere Ait Deney Numunelerinin Mikrosertlik Deneyleri

<b>Numune No</b>	<b>Sertlik 1</b>	<b>Sertlik 2</b>	<b>Sertlik 3</b>	<b>Sertlik 4</b>	<b>Sertlik 5</b>
<b>1</b>	321,7	258,8	150,6	236,6	292,4
<b>2</b>	288,8	229,8	126	236,9	266,7
<b>3</b>	262,1	190,8	132,2	212,6	206,2
<b>4</b>	256,5	190,1	120,3	215,8	276,5
<b>5</b>	284,1	226,7	140,7	197,1	271,4
<b>6</b>	259,5	200,4	173,4	214,8	252,1

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Bu çalışmada 1.4462 dubleks paslanmaz çelik numuneler Ni ara tabaka kullanılarak 5 ve 10 MPa basınç ve farklı sıcaklık ve sürelerde difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Toplam 6 farklı parametrede deneysel çalışmaları gerçekleştirilen numunelerde kaynak işlemleri tamamlanmıştır. Böylece 1.4462 dubleks paslanmaz çeliğin difüzyon kaynağı için optimum difüzyon kaynak parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilen numunelerin birleşme bölgesi ara yüzeyi optik ve SEM mikroskopları kullanılarak analiz edilmiştir. Görüntü analiz sistemi kullanılarak optik fotoğraflar ve ara yüzey ölçümleri alınmıştır. Yine ara yüzeyden alınan EDS analizleri ile elementer difüzyon profili çıkarılmıştır. Aynı zamanda, ara yüzey mikrosertlik analizleri ile sertlik profili çıkarılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan 1.4462 dubleks paslanmaz çeliğin 1000 °C, 1050 °C ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 1 ve 2 saat süre parametreleri ve Ni ara folyo kullanılarak yapılan difüzyon kaynak numunelerinin birleşme bölgesi ara yüzey optik mikroyapı fotoğraflarından, tüm parametrelerde Ni ara folyo ve ana malzemenin mikro boşluksuz bir bağlanma oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır. Artan sıcaklık ve süreyle birlikte Ni folyodan ana malzemeye Ni difüzyonu ve ana malzemedan Ni folyoya Fe ve Cr elementlerinin difüzyonuyla birlikte difüzyon ara tabaka kalınlığı artmıştır. En kalın ara yüzey tabakası 72.6 mikron ile 1100 °C'lik sıcaklık ve 2 saat sürede birleştirilen numunede elde edilmiştir.

Mikroyapı numunelerinin birleşme ara yüzeyinden alınan SEM analizleriyle Ni ara folyo ve dubleks paslanmaz çelik arasında mikro boşluksuz bir bağlanmanın meydana geldiği aynı zamanda ana malzeme ferrit+ostenitik tane yapısının Ni difüzyonuyla birlikte difüzyon bölgesinde ostenitik yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir. Ara bölgeden alınan sıralı EDS analizlerinden difüzyon bölgesinde % 87,9 Ni, % 4,6 Cr ve % 4.1 Fe değerleri, orta noktada ise % 94,5 Ni % 1,5 Cr ve % 2,4 Fe değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç göstermiştir ki ana malzemedan ara folyonun merkezine % 2,4 Fe difüzyonu gerçekleşmiş böylece geçiş ve ara bölge tamamen ostenitik Fe-Ni katı eriyik fazından oluşmuştur. Bu durumun difüzyon kaynak bölgesinin mukavemeti açısından önemli bir durum olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Mikroyapı numunelerinin ara kesitinden sıralı bir şekilde alınan mikrosertlik analizleri neticesinde beklendiği gibi ara bölge sertliği ana malzeme ve difüzyon bölgesine kıyasla daha düşük çıkmıştır. Artan difüzyon sıcaklığı ile birlikte ara bölgedeki sertlik değerin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, Ni ara folyoya ana malzemedan gerçekleşen Fe ve Cr difüzyonuyla katı eriyik oluşumundan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.



## BÖLÜM 6

### KAYNAKÇA

1. Kurt B. “Ti-6al-4v Ve Paslanmaz Çeliğin Ni Ara Tabakası Kullanılarak Birleştirilmesi”, *Elazığ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.1-3, Elazığ, 2005
2. Keskin M.S., Bingöl S.H. “Farklı Alüminyum Alaşımların Difüzyon Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü*, 10 (1), s. 203 – 210, 2019
3. Kuzukaya M.S. “Yüksek Karbonlu Bir Çeliğin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine İzotermal Tavlamanın Etkisi” *Politeknik Dergisi*, 23(2). s. 457-482, 2020
4. Çelik E. “Martenzitik Paslanmaz Çelik Ve Ferritik Paslanmaz Çeliğin Kendileriyle Ve Birbirleriyle Sürtünme Karıştırma Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması” *Elazığ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 63-99, Elazığ, 2006
5. Kahraman N, Gülenç B., Akça H. “Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Ostenitik Paslanmaz Çelik İle Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (2), s 75-85 2002
6. Çiftçi İ. “A1sı 304 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Kaplanmış Sementit Karbür Kesici Takımla İşlenmesi Esnasında Oluşan Takım Aşınması” *Teknoloji Dergisi*,7, s 489-495, 2004
7. Köse C., Topal C. “Plazma Ark Kaynağıyla Birleştirilen A1sı 410s Ferritik Paslanmaz Çeliğin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, s 201-212, 2020
8. Korkmaz M. E., Meral T.,Günay M. “A1sı 420 Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Delinebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi” *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(3), s. 223-229, 2018
9. Emre H. E., Ramazan Kaçar ,Bülbül A., Manısalı B., “Weldability Of Dıssımlar A1sı 316l-A1sı 2205 Stamlless Steel Couple” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), s. 244-256 2017

10. Sönmez U., Çavuşoğlu N., Ceyhun V., “Orbital Tig Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmiş Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Mekanik, Metalurjik Ve Korozyon Özellikleri” *Mühendis ve Makine Dergisi*, 57(673), s. 30-38, 2016
11. Yıldızlı K., Dengiz C. G., “Ostenitik Ve Dupleks Paslanmaz Çelik Sacların Şekil Alma Kabiliyetlerinin Karşılaştırılması” *15. International Materials Symposium*, s. 21-28, Ankara, 2014
12. Tekin N. “Paslanmaz Çelik Malzeme İle Düşük Karbonlu Alaşimsız Çelik Malzemelerin Tozaltı Kaynak Metodu İle Birleştirilmesi” *6th International Advanced Technologies Symposium*, s. 14-19, Elazığ, 2011
13. Dolutaş H., Cavcar M., “Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı” *Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş.*, s.7-11, Ankara, 2001
14. Kahraman F., Kasman Ş., Kahraman A. D., Tunuslu O., “Investigation Of The Weld Zone Of Dissimilar Austenitic Stainless Steels To Tool Steels” *Journal Of Qafqaz University- Mechanical And Industrial Engineering*, s 73-81, 2013
15. Tekaslan Ö., Gerger N., Günay M., Şeker U., “Examination Of The Cutting Forces Of Aısi 304 Austenitic Stainless Steel In The Turning Process With Titanium Carbide Coated Cutting Tools” *Makina Eğitimi Bölümü, Karabük - Teknik Eğitim Fakültesi*, s.17-26, Karabük, 2005
16. Korkmaz R., Gündüz S., “Aısi 304-Aısi 430 Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynak Kalitesine Soğuk Deformasyonun Etkisi” *Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metal İşleri Bölümü*, s 472 295, Karabük 2018
17. R., Barlas Z., “The Effect Of Shielding-Gas Compositions On The Microstructure And Mechanical Properties Of Austenitic Stainless Steel Weldments” *Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü* 2008
18. Köse C., Kaçar R. “An Investigation Of Co2 Laser Beam Welding Method Of Aısi 420 Martensitic Stainless Steel” *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23 (67) s 179-194 2016
19. Başıyigit A. B., Kurt A., “S32205 Dupleks Paslanmaz Çeliğin Tıg Kaynağında Soğuma Hızının Mikroyapısal Özelliklere Etkileri” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(8), s. 76-89,2015
20. Başıyigit A. B., Çalın R., Pehlivanlı Z. O., “Radiographic And Ultrasonic Inspection Of Duplex And Austenitic Stainless Steels Weld Defects That

- Formed After Tıg Welding” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(9), s. 79-89, 2018
21. V. Srikanth, A. Laik Ve G.K. Dey “Joining Of Stainless Steel 304l With Zircaloy-4 By Diffusion Bonding Technique Using Ni And Ti İnterlayers” *Materials and Design*, 126, s. 141-154, 2017
  22. Ren X., Li S., Xiong Z. “Isostatic Diffusion Bonding And Post-Solution Treatment Between Cr22ni5mo3mnsi And Cr30ni7mo3mnsi Duplex Stainless Steels” *Journal pf Manufacturing Processes*, 34, s. 215-224, 2018
  23. Haitao Q., Hou H., Li P., Li S., Xueping R. “The Effect Of Thermal Cycling İn Superplastic Diffusion Bonding Of Heterogeneous Duplex Stainless Steel” *Materials and Design*, 96, s. 499–505, 2016
  24. S. Zakipoura, M. Samavatiana, A. Halvaeeb, A. Amadehb, A. Khodabandeha “The Effect Of İnterlayer Thickness On Liquid State Diffusion Bonding Behavior Of Dissimilar Stainless Steel 316/Ti-6al-4v System” *Materials Letters*, 19, s. 168-171, 2015
  25. Deqing W., Ziyuan S., Ruobin Q. “Cladding Of Stainless Steel On Aluminum And Carbon Steel By İnterlayer Diffusion Bonding” *Scripta Materialia*, 123, s. 269-372, 2007
  26. Ren X., Chen X., Xiong Z. “Characterization And Analysis Of Diffusion Bonding Process İn A Cr25ni7mo4mnsi Duplex Stainless Steel” *Journal of Manufacturing Processes*, 48, s. 603-3013, 2018
  27. S. Kundu, S. Chatterjee “Diffusion Bonding Between Commercially Pure Titanium And Micro-Duplex Stainless Steel” *Materials Science and Engineering*, 480, s. 316–322, 2008
  28. S. Sam , S. Kundu , S. Chatterjee “Diffusion Bonding Of Titanium Alloy To Micro-Duplex Stainless Steel Using A Nickel Alloy İnterlayer: Interface Microstructure And Strength Properties” *Materials and Design* 93, s. 237-244, 2012
  29. Bhola S. M., Kundu S., Bhola R., Mishra B., Chatterjee S. “Electrochemical Study Of Diffusion Bonded Joints Between Micro-Duplex Stainless Steel And Ti6al4v Alloy” *J. Mater. Sci. Technol.* 30(2), s. 163171, 2014
  30. Kundu S., Sam S., Chatterjee S., “Evaluation Of İnterface Microstructure And Mechanical Properties Of The Diffusion Bonded Joints Of Ti–6al–4v Alloy To

- Micro-Duplex Stainless Steel” *Materials Science and Engineering*, 528, s. 4910-4916, 2011
31. Shirzadli A.A., Laik A., Tewari R., Orsborn J., Dey G.K “Gallium-Assisted Diffusion Bonding Of Stainless Steel To Titanium Microstructural Evolution And Bond Strength” *Materialia* 4, s. 115-126, 2018
32. C. Velmurugan, V. Senthilkumar, S. Sarala, J. Arivarasan “Low Temperature Diffusion Bonding Of Ti-6al-4v And Duplex Stainless Steel” *Journal of Manufacturing Processes*, 234, s. 272-279, 2016
33. Rena X., Lib S., Xiong Z.D., “Isostatic Diffusion Bonding And Post-Solution Treatment Between Cr22ni5mo3mnsi And Cr30ni7mo3mnsi Duplex Stainless Steels” *Journal of Manufacturing Processes*, 273, s. 215-224, 2018
34. Fidan L., “Saf Alüminyum Ve Saf Bakırın Difüzyon Kaynağında Arafazların Oluşumu Ve Etkisi” *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 26-33, Balıkesir, 2006
35. Çelik S., Ay İ. “Koruyucu Gaz Altında Difüzyon Kaynağı Ve Uygulaması” *J. of Engineering and Environmental Science*, 23, s. 63-70, 1999
36. Kara R., Virdil H., Çolak F., Taşgetiren S., “Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilen Fe- Cu Çiftinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, s 45-52, 2016
37. Dikbaş H., Çalgülü U., Taşkın M., “Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Ni-Ti Kompozitinin Difüzyon Kaynağında Sıcaklığın Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi” *Natural and Applied Sciences*, 3(4), s. 4-9, 2008
38. Mavi A., Uzun G., “Dubleks 1.4462 Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisi” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(3), s. 177-184, 2017
39. Erden M. A., “Toz Metalurjisi İle Üretilen Alaşımız Çeliklerde Nikel İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisinin Araştırılması” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 6(1) s. 257-264, 2017