

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

**MİKRO ALAŞIM BOR İÇERİKLİ AISI 8620 ÇELİĞİNİN**  
**NİKEL ARA FOLYO KULLANILARAK DİFUZYON**  
**KAYNAĞININ ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan**  
**Mustafa SAY**

**TEZ DANIŞMANI**  
**Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Yüksek Lisans Tezi**

**MAYIS 2021**  
**NEVŞEHİR**



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

**MİKRO ALAŞIM BOR İÇERİKLİ AISI 8620 ÇELİĞİNİN**  
**NİKEL ARA FOLYO KULLANILARAK DİFUZYON**  
**KAYNAĞININ ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan**  
**Mustafa SAY**

**TEZ DANIŞMANI**  
**Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Yüksek Lisans Tezi**

**MAYIS 2021**  
**NEVŞEHİR**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın baőından itibaren çok kıymetli bilgilerini benimle paylaőan ve değerli zamanını bana hiç esirgemedен айıran, lisans eğitimimden itibaren benden desteğini esirgemeyen ve elinden geneli yapan danıőman hocam Doç. Dr. Cemal ARBOğA'ya ve Yine lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Bülent KURT'a teşekkür ediyorum ve őükranlarımı sunuyorum.

Yine lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini, bilgilerini ve tecbelerini esirgemeyen her zaman fikir alıőveriőinde bulunduğum değerli hocalarım, 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.

# MİKRO ALAŞIM BOR İÇERİKLİ AISI 8620 ÇELİĞİNİN NİKEL ARA FOLYO KULLANILARAK DİFUZYON KAYNAĞININ ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans)

Mustafa SAY

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ  
ENSTİTÜSÜ

MAYIS, 2021

## ÖZET

Bu çalışmada, AISI 8620 çeliği Ni ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynak tekniği ile birleştirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan numuneler 25 µm'lik ara tabaka kullanılarak sabit basınç altında farklı sıcaklık ve süre parametrelerinde difüzyon kaynak işlemine tabi tutulmuştur. Deneylerde; 10 MPa basınç altında 1000 °C, 1050 °C ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 1 ve 2 saat süre parametreleri kullanılmıştır. Böylece AISI 8620 çeliği 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, belirli aralıklarla alınan mikrosertlik analizleri ile difüzyon ara yüzeyi sertlik profili çıkarılmıştır. Yapılan karakterizasyon çalışmaları neticesinde düşük sıcaklık ve sürelerde ara yüzeylerde mikro boşlukların varlığı tespit edilirken artan sıcaklık ve süreyle birlikte mikro boşluklarının tamamen ortadan kalktığı sonucuna ulaşılmıştır. Yine farklı sıcaklık ve süre parametrelerinin ara yüzeyde farklı kalınlıkta difüzyon bölgeleri oluşturduğu sonucuna da ulaşılmıştır. Difüzyon ara yüzeyi EDS analizlerinden alınan verilere bağlı olarak kimyasal bileşimler incelendiğinde difüzyon bölgelerinde Ni elementinin her iki tarafta ana malzemeye doğru difüze olduğu sonucu da ortaya çıkmıştır. Mikrosertlik

analizlerinden ara tabakada nispeten daha düşük sertlik değeri ile birlikte ana malzemeye doğru sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Difüzyon Kaynağı, AISI 8620 eliği, Nikel Ara Folyo*

**Tez Danışmanı :** *Do.Dr.Cemal ARBOĞA*

**Sayfa Adedi :** *43*



**INVESTIGATION OF DIFFUSION WELDING OF MICRO-ALLOY BORON-  
CONTENT AISI 8620 STEEL USING NICKEL INTERMEDIATE FOIL**

**(Master Thesis)**

**Mustafa SAY**

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

**May 2021**

**ABSTRACT**

In this study, AISI 8620 Steel was bonded with diffusion welding technique using Ni intermediate layer. Samples prepared for this purpose were used in 25 µm intermediate layer and diffusion welding operations were performed at constant pressure, different temperature and duration parameters. In the experiments, duration parameters of 1 and 2 hours were used at temperatures of 1000°C, 1050 °C and 1100 °C under pressure of 10 MPa. Thus, an attempt was made to determine the optimum diffusion welding parameter for AISI 8620 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 photographs and deconstructions were taken using my image analysis site. Again, the elemental diffusion profile was decoded by EDS analysis taken from the interface. At the same time, the hardness profile of the diffusion interface was decoded by microhardness Analyses taken at certain intervals. As a result of characterization studies, it was concluded that micro cavities completely disappear with increased temperature and duration, while the presence of micro cavities on the interfaces at low temperatures and decays was detected. Again, it was also concluded that different temperature and duration parameters create diffusion zones of deciduous thickness on the interface. Diffusion interface depending on the data obtained from EDS analyses, when the chemical compositions were examined, it was also revealed that the NI element diffused towards the parent material on both sides in the diffusion zones.

From microsertness analyses, it was found that the hardness value towards the parent material increased along with a relatively lower hardness value in the intermediate layer.

**Keywords:** *Diffusion Bonding, AISI 8620 Steel, Nickel Foil*

**Thesis Advosar:** *Doç.Dr.Cemal ÇARBOĞA*

**Page Number:** 43





## İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
2.1 Çelik .....	3
2.1.1 Çeliklerin Kullanım Alanları .....	3
2.1.2 Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti .....	5
2.1.3 Çelik Çeşitleri .....	6
2.2 8620 Çeliği.....	9
2.2.1 8620 Çeliğini Oluşturan Alaşım Elementleri.....	9
2.3 Difüzyon Kaynağı.....	14
2.3.1 Difüzyon Kaynağı Parametreleri.....	15
2.3.2 Difüzyon Kaynağı İle İlgili Çalışmalar .....	16
BÖLÜM 3 .....	19

DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	19
3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler .....	19
3.2 Numune Hazırlama İşlemleri .....	20
BÖLÜM 4 .....	24
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	24
4.2 Optik Mikroskop Görüntüleri .....	24
4.3 SEM Görüntüleri ve EDS Analizi .....	31
4.5 Genel Değerlendirme ve Sonuç .....	38
KAYNAKÇA .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	42

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çeliklerin Çekme Dayanımı ve Buna Bağlı Olarak Uzama Miktarı.....	4
Şekil 2.2. Çeliklerin DIN Normlarına ve İçeriklerine Göre Sınıflandırılması.....	7
Şekil 2.3. Altıgen Kesitli Üretilmiş AISI 8620 Çeliği.....	11
Şekil 2.4. AISI 8620 Çeliğinin Dişli Çarklarda Kullanımı.....	11
Şekil 2.5. AISI 8620 Çeliğine Uygulanan TIG Kaynağının Kaynak ve Kaynak Dikiş Örnekleri.....	12
Şekil 2.6. Bakır (Cu) , Tungsten (W)- Nikel (Ni) Karışım ve Nikel (Ni) Ara Tabakalarının Beraber Kullanıldığı Numune Düzenegi.....	15
Şekil 3.1. Deneyleerde Kullanılan AISI 8620 Çeliği.....	17
Şeki l3.2. Hassas Kesme Cihazı.....	18
Şekil 3.3. Zımparalama Cihazı.....	18
Şekil 3.4. Difüzyon Kaynağı Cihazı.....	19
Şekil 3.5. Bakalite Alma Cihazı.....	19
Şekil 3.6. Optik Mikroskop Cihazı ve Görüntü Analiz Sistemi.....	20
Şekil 3.7. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı.....	21
Şekil 4.1. 1000 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları.....	22-23
Şekil 4.2. 1000 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları.....	23-24
Şekil 4.3. 1050 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları.....	25

Şekil 4.4. 1050 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları.....	26
Şekil 4.5. 1100 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları.....	27
Şekil 4.6. 1100 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları.....	28
Şekil 4.7. 1000 °C'de 1 ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları.....	29
Şekil 4.8. 1050 °C'de 1 ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları.....	30
Şekil 4.9. 1100 °C'de 1 ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları.....	30-31
Şekil 4.10. 1050 °C'de 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin EDS Analizi.....	32-33
Şekil 4.11. 1000 °C, 1 ve 2 Saat Parametrelerde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri.....	34
Şekil 4.12. 1050 °C, 1 ve 2 Saat Parametrelerde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri.....	34
Şekil 4.13. 1100 °C, 1 ve 2 Saat Parametrelerde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deney Numunesinin Mikrosertlik İzleri.....	34

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. AISI 8620 Çeliği İçerisindeki Alaşım Elementleri ve Yüzdeleri.....	9
Tablo 3.1. 8620 Çeliğinin Yaklaşık Olarak % Kimyasal İçerikleri.....	17
Tablo 4.1 Tüm Parametrelere Ait Deney Numunelerinin Mikrosertlik Deneyleri.....	35



# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Kaynak insanoğlunun malzemeleri aktif olarak kullanmaya başladığından beri kullanılan bir birleştirme yöntemidir. Zaman geçtikçe bu yöntemler gelişmiş ve çeşitlenmiştir. Bu nedenle çok farklı teknolojiler ve kaynak yöntemleri icat edilip kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle mikro ve makro boyuttaki çalışmalar için kaynağın vazgeçilmez olduğu durumlar olabilmektedir.

Difüzyon kaynağı, adından da anlaşılacağı gibi difüzyon olayı ile gerçekleşen ve son dönemlerde hem araştırma hem uygulama alanlarında ( elektronik, uzay, uçak, nükleer gibi) pek çok uygulamada kullanılmaya başlamıştır. Bu uygulamalar genellikle maliyetin yüksek olduğu uygulamalardır. Birbirine temas eden yüzeylerde tam birleşmenin sağlandığı ve ITAB bölgesinin olmadığı bir kaynak yöntemidir.

Difüzyon kaynağını diğer kaynak yöntemlerinden ayıran en büyük özellik benzer olmayan malzemelerin kaynaklanmasına imkan vermesidir. Bu nedenle endüstride kullanım alanı da doğal olarak artabilmektedir. Örneğin Ti alaşımli malzemelerle çelik esaslı malzemelerin kaynağına imkan vermektedir [1].

Difüzyon kaynağı, bir katı hal kaynak yöntemi olup, 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. Bu nedenle bu kaynak yönteminde etki eden sıcaklık, basınç ve uygulanacak süre çok çok büyük önem arz etmektedir. Bu parametrelerin doğru ayarlanmaması difüzyon kaynağını olumsuz etkileyebilmektedir.[2]

8620 Çeliği de İyi mukavemeti ile dikkat çeker ve tokluk özelliği de makul seviyelerdedir. Mukavemetinin hem içte hem de dışta iyi olması ise ayrıca göz önünde bulundurulması gereken bir özelliktir. Dolayısıyla bu özelliğe bağlı olarak 8620 kalite çeliğin yüksek aşınma direncine sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Yine buna bağlı olarak da uzun bir kullanım süresi, oldukça sağlam bir yapı ve dayanıklılık söz konusu olmaktadır. Çeşitli makine ve araçlardaki kullanım alanı dışında, farklı noktalarda da karşımıza çıkabilen bir çelik türüdür. [3]

8620 Çeliğine Ni ara tabaka kullanılarak uygulanan difüzyon kaynağı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bizim yapacağımız bu çalışma bu konu ile ilgili yapılacak diğer çalışmalara öncülük edecektir. Ve çalışma da birinci bölüm giriş, ikinci bölüm literatür araştırılması, üçüncü kısımda ise deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın dördüncü kısmında ise elde edilen mikroyapı görüntüleri yorumlanıp tartışılmıştır. Beşinci kısımda ise bu analizler ışığında bir takım sonuçlar elde edilmiştir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1 Çelik

Çelik, bir demir (Fe) karbon (C) alaşımıdır. C'dan başka farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite (saf olmayan, kirlilik yaratan) elementler bulunur. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelik elde edilir.

Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) ve Silisyum (Si) üretim sırasında hammaddeden kaynaklanan elementler olup, çelik bünyesinde belirli oranlarda bulunur. Diğer elementler ise (Cr, Ni vs.) ferro-alyajlar halinde istenilen miktarlarda çelik bünyesine ilave edilir.

Çelik demir cevherinden veya hurdadan geri dönüşüm ile iki şekilde üretilmektedir. Sıvı çelik üretildikten sonra döküm ile ingot olarak veya sürekli döküm yöntemi ile kütük veya blum olarak şekillendirilir.

Vasıflı Çelikler alaşımsız, düşük alaşımlı ve alaşımlı çelikler olup, kitlesel olarak üretilen çeliklerden bazı noktalarda ayrılmaktadır [4].

#### 2.1.1 Çeliklerin Kullanım Alanları

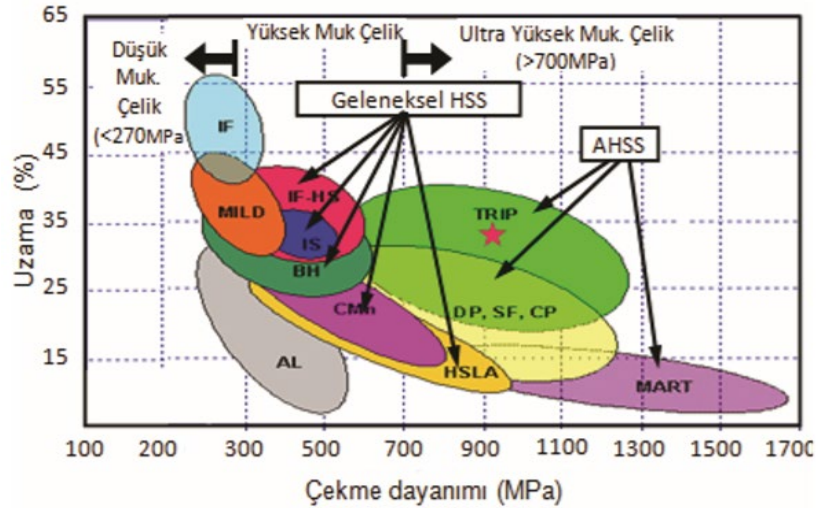
Çelik esaslı malzemeler hayatımızın her alanında kullanılırlar. Öyle ki çok küçük mikro parçacık kullanılan alanlardan çok büyük yapılara kadar her alanda her aşamada ve her yapıda çelik malzemeler kullanılabilir. Örneğin sofralarımızdaki kaşık çatallardan hastane ekipmanlarına hatta otomobil sektörüne kadar her alanda çelik malzemeler kullanılır.

Çalışma kapsamında kullanılacak olan AISI 8620 Çeliği ise;



Zorlamalı olan parçalarda, makine ve otomobillerde, dişli çark, pim, mil, şalter kovani, soğuk şişirilerek ve fişkırtılarak şekillendirilen piston pimleri, zincir baklaları ve benzeri parçalarda kullanılır. Aynı zamanda sementaston ve nitrasyon (yüzey sertleştirmeye) işlemine uygun bir malzemedir. Çekirdekte yumuşak ve tokluğun istenildiği, yüzeyde ise sert ve aşınmaya dayanıklı olan ve darbeli yerlerde tercih edilen esnek bir yapı çeliğidir. [5]

Özellikle otomotiv sektöründe kullanılan 8620 çeliği anlaşıldığı üzere pek çok otomotiv ve makine parçasında kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde çelik haricindeki plastik, alüminyum, magnezyum vb. gibi malzemelerin kullanımı, araçlarda yakıt tüketimini düşürmek maksadıyla ağırlık azaltma kaygısından dolayı artış göstermesine rağmen, çelik endüstrisinde kaydedilen ilerlemeler sayesinde çelik; otomotiv sektörü için hala önemini korumaktadır. Dünyada her 9 saniyede bir trafik kazasının olduğu düşünüldüğünde güvenlik ve kullanılan malzemeler önem arz etmektedir. Amerikan Demir-Çelik Enstitüsünün (American Iron and Steel Institute, AISI) 2003 yılında yayınladığı rapora göre; tasarımı çelik yapılarla yapılmış araçlarda can kaybının % 90 oranında azaltıldığı rapor edilmiştir. Yapılan diğer bir araştırmada ise güvenlik açısından malzemelerin maksimum dayanımının 600 MPa civarlarında olmasının can kaybını önemli ölçüde azalttığını bildirilmiştir. [6]



Şekil 2.1 Çeliklerin Çekme Dayanımı ve Buna Bağlı Olarak Uzama Miktarları[6]

### **2.1.2 Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti**

Çelikler günümüzde pek çok alanda kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler kullanım yerine göre kesilebilir veya birleştirilebilir. Çeliklerin birleştirilmesinde de çeşitli kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Ve bu kaynak yöntemleri çeşitli gaz atmosferlerinde belirli sıcaklık ve basınç gibi farklı parametreler doğrultusunda yapılmaktadır.

Tozaltı Kaynağı, Gazaltı Kaynağı, Mıg-Mag Kaynağı, TIG Kaynağı, Lazer Kaynağı, Sürtünme Kaynağı, Elektrik Ark Kaynağı, Direnç Kaynağı, Örtülü Elektrot Ark Kaynağı, Difüzyon Kaynağı gibi birçok kaynak işlemi yapılmaktadır.

#### **2.1.2.1 Tozaltı Kaynağı**

Tozaltı ark kaynağında kaynak metali; esas malzeme, ilave metal ve kaynak tozunun kimyasal ve fiziksel reaksiyonu sonucu meydana gelir. Kaynak arkı, otomatik olarak kaynak yerine gelen çıplak bir elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir ve kaynak arkı taneseli ve eriyebilen bir toz kütlesi tarafından korunur. Kaynak yönteminin yarı-otomatik veya otomatik olarak yapılabilmesi, çok yüksek bir metal biriktirme oranı, mükemmel görünüşlü kaynak dikişleri derin nüfuziyet, enerji ekonomisi, yüksek ergime gücü ve kaynak hızı gibi üstünlükleri bilinmektedir [7].

#### **2.1.2.2 Gazaltı Kaynağı**

Gaz altı kaynağı, genel olarak kaynak yeri bir gazla korunan özel bir ark kaynağı yöntemidir. Bu yöntemde, dışarıdan sağlanan özel bir gazla korunan ve otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen elektrot kullanılır. İlk ayarlar kaynakçı tarafından yapılır. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve akım şiddeti ve elektrot besleme hızı kaynak makinesi tarafından otomatik olarak sabit değerlerde tutulur. [8]

#### **2.1.2.3 MIG/MAG Kaynağı**

MIG-“Metal İnert Gas” kaynağında, genel olarak argon atmosferi altında kaynak yapılmaktadır. İlk olarak 1948 yılında ABD de “Linde Air Products Company” tarafından bulunarak, önce alüminyum ve alaşımlarının sonra da yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının ve karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır. MIG

kaynak yöntemi, TIG yönteminden arın, kaynak yerine otomatik olarak gelen ilave metal ile iş parçası arasında teşekkül etmesi ile ayrılır. [8]

#### 2.1.2.4 TIG Kaynağı

Tungsten Inert Gaz kaynağı adından da anlaşılacağı gibi ergimeyen bir Tungsten elektrot ile ısının kaynak bölgesine iletiildiği ve inert bir gaz ile (Argon) kaynak bölgesinin olası reaksiyonlardan korunduğu bir kaynak işlemidir. Ve çeliklerin kaynağında sıklıkla kullanılan bir kaynak yöntemi olarak bilinmektedir. TIG kaynağı ile nispeten düşük hızda kaynaklar yapılırsa da iyi kaynak dikişleri elde edilir. [9]

Bu kaynak yöntemlerini bizim kullanacağımız difüzyon kaynak yönteminden ayıran önemli özellik kaynaklı bölgedeki hasardır. Bu tip kaynaklarda difüzyon kaynak yöntemine göre daha geniş ITAB bölgeleri oluşur.

#### 2.1.3 Çelik Çeşitleri

Çelik çeşitleri genel olarak Karbonlu Çelikler, Alaşım Çelikleri ( Islah – Sementasyon Çelikleri), Takım Çelikleri, Plastik Kalıp Çelikleri, Paslanmaz Çelik gibi gruplara ayrılmaktadırlar. Günümüze kadar yapılan ve hala yapılmaya devam eden daha birçok farklı içeriğe sahip çelik ve çelik grupları bulunabilmektedir.

KARBON ÇELİĞİ	ALAŞIMLI ÇELİK	
DIN C10(SAE 1010)	Islah	Semente
DIN C20(SAE 1020)	DIN 25CrMo4(SAE 4130)	DIN 21NiCrMo2(SAE 8620)
DIN C30(SAE 1030)	DIN 42CrMo4(SAE 4140)	DIN 17CrNiMo6
DIN C40(SAE 1040)	DIN42CrMo4QT(SAE4140 QT)	DIN 18CrNiMo7-6
DIN C45(SAE 1045)	DIN 50CrMo4(SAE 4150)	DIN 17MnCr5
DIN C50(SAE 1050)	DIN 34CrNiMo6(SAE 4340)	DIN 20MnCr5
DIN C60(SAE 1060)	DIN 34CrNiMo6QT(SAE 4340QT)	Rulman
DIN S235JR (ST37)	DIN 41Cr4(SAE 5140)	DIN 100Cr6
DIN S275JR (ST44)		
DIN S355JR (ST52)		

TAKIM ÇELİĞİ		Plastik Kalıp Ç.
Soğuk İş Takım Ç.	Sıcak İş Takım Ç.	
		1.2083
1.2063	1.2343(EFS/ESR)	1.2311 QT
1.2067	1.2344 (EFS/ESR)	1.2312 QT
1.2080	1.2344 EFS PLUS	1.2316 QT
1.2162	X44	1.2738 QT
1.2210	1.2365	1.2738 QT SUPREME
1.2328	1.2367	1.2764
1.2358	1.2567	Yüksek Hız Ç.
1.2363	1.2581	1.3243
1.2379	1.2713	1.3343
CM 79	1.2714 A	1.3344
1.2419	1.2714 HH QT	Paslanmaz Çelik
1.2436	1.2714 ISO B MOD	AISI 204Cu
1.2510	1.2740	AISI 303
1.2550	1.2885	AISI 304
1.2601	NİTRASYON	AISI 316
1.2767	1.8550	AISI 316L
1.2842	1.8550 QT	AISI 410
	1.8509	AISI 420
	1.8519	AISI 430

Şekil 2.2 Çeliklerin DIN Normlarına ve İçeriklerine Göre Sınıflandırılması [10]

Tez çalışmasının temelinde kullanılmak üzere olan AISI 8620 çeliği alaşımli çelik gruplarından sementasyon çeliklerine dahil olmaktadır.

### 2.1.3.1 Alaşımli Çelikler

Bu çelikler yapılarında çeliğin doğasında bulunan C, Mn gibi temel alaşım elementlerinin yanı sıra daha farklı alaşım elementleri içererek farklı uygulamalar için daha farklı ve daha iyileştirilebilir özellikler elde etmek amacıyla elde edilmektedir.

İçerdikleri alaşım elementlerine örnek olarak; Krom (Cr), Molibden (Mo), Nikel (Ni) gibi alaşım elementleri içermektedirler.

### **2.1.3.1.1 Sementasyon Çelikleri**

Sementasyon işlemi, yüzey sertliği aşınma dayanımı ve sürekli dayanımı iyileştirici özelliğe sahip olmakla birlikte, parça çekirdek bölge dayanımı ve sünekliğini de iyileştirir. Bu sayede büyük yüklerin taşınması, darbe tarzındaki yüklerin karşılanması sağlanır. Sementasyon çeliklerinde karbon oranı genelde % 0.10 – 0.20 arasındadır, bazı çeşitlerde % 0.25 e kadar çıkabilir. Alaşımli veya alaşımısız olarak üretilbilirler. Sementasyon işlemi yapılan çeliklerden aşağıdaki özellikler beklenir;

- Uygun sertlik sonucunda iyi derecede aşınma ve erozyon direnci göstermeleri
- Yeterli kalınlıkta kabuğun boyunca uygun dayanım sonucunda yüksek yüzey basınçlarına karşı koyma direnci ve kabiliyeti
- Uygun stres dağılımı sonunda yorulma dayanımının artması
- Karşılaşılan servis şartlarına bağlı olarak dış yüzeyde uygun dayanım ve iç kısmın da tok olması

Genellikle sementasyon uygulanan çeliklerin çekirdekteki mikroyapısı ferritik ve perlitik yapıdan oluşmaktadır.

Yüzeyden iç bölgeye doğru sertlik değerleri arasında olan aşırı farklar, kullanım sırasında çeliğin yumuşak kısmında çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bu değişik oranlardaki çeşitli alaşım elementleri içeren çeliklerin kademeli olarak sertleştirilmesi ile önlenmektedir. Mikroyapı incelemeleri, çeliğin kullanımı sırasında en uygun performansı sağlayabilecek sementasyon işleminin yapılacağı hususunda kılavuzluk eder. Bu işlem ile tane büyüklükleri veya incelemeleri, oluşabilecek çatlak ve kırılmaların belirlenmesi açısından önemlidir. [11]

## 2.2 8620 Çeliği

Çelik uzun yıllardır kullanılmasına rağmen hala gelişmeye açık bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Çünkü çeliklerin birçok özelliği gibi fiziksel özelliklerinin de iyileştirilmesi, kimyasal bileşimlerinin optimize edilmesi veya ısıl işlemlerle mümkün olabilmektedir. 8620 çeliğin alaşım elementleri nikel, krom ve molibdendir.

Bir tür sementasyon çeliği olan 8620, oldukça iyi bir kaliteyi ifade eder. İyi mukavemeti ile dikkat çeker ve tokluk özelliği de makul seviyelerdedir. Mukavemetinin hem içte hem de dışta iyi olması ise ayrıca göz önünde bulundurulması gereken bir özelliktir.

Dolayısıyla bu özelliğe bağlı olarak 8620 kalite çeliğin yüksek aşınma direncine sahip olduğunu söyleyebiliriz. Yine buna bağlı olarak da uzun bir kullanım süresi, oldukça sağlam bir yapı ve dayanıklılık söz konusu olmaktadır. Çeşitli makine ve araçlardaki kullanım alanı dışında, farklı noktalarda da karşımıza çıkabilen bir çelik türüdür.

Endüstride malzemelerin kaynak problemleri malzeme ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Sementasyon ve ıslah çelikleri bu ihtiyacı karşılamaya yönelik üretilen çelikler arasındadır. AISI 8620 Sementasyon çelikleri ise dişli çark, piston pimleri ve mil yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

8620 çeliği DIN Normlarındaki ifadesi 1.6523, SAE ve AISI enstitülerindeki karşılığı 8620 ve EN enstitüsündeki karşılığı ise içerdikleri alaşım elementlerini belirten 20NiCrMo2 şeklinde ifade edilmektedir.

Buna bağlı olarak bazı durumlarda kaynaklanması gerekebilmektedir. Çalışmanın deneysel aşamasında bu malzemelerin kaynaklanma kabiliyetlerini daha iyi göreceğiz. [3, 5,12]

### 2.2.1 8620 Çeliğini Oluşturan Alaşım Elementleri

Bir sementasyon çeliği olan AISI 8620 çeliğin alaşım elementleri içerisinde bulundurduğu temel alaşım elementleri dışında nikel, krom ve molibden elementleri AISI 8620 Sementasyon çeliği için önemlidir. Buna bağlı olarak içerisinde bulundurabileceği bileşim miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Malzeme	% C	% Si	% Cr	% Ni	% Mn	% P	% Mo	% S
AISI 8620	0,18- 0,25	0,20- 0,35	0,4 – 0,6	0,4 – 0,7	0,7 – 0,9	0,02 – 0,025	0,15 – 0,25	0,015 – 0,025

Tablo 2.1 AISI 8620 Çeliği İçerisindeki Alaşım Elementleri ve Yüzdeleri [12]

### 2.2.1.1. Karbon (C)

Karbon canlı yaşamı için en önemli maddelerden biridir. Yaşamın akışını sağlayan çoğu madde de ve bunların bağlantılarında karbon elementinin yeri büyüktür.

Karbon diğer malzemeler için ne kadar önemliyse demir esaslı malzemeler ve çelikler içinde o kadar önemlidir. Bir demir esaslı malzemenin içerdiği karbon miktarına göre çelik olup olmadığı belirli olmaktadır. Eğer demir esaslı malzeme içerisinde %2'ye kadar karbon (C) bulunduruyorsa bu malzemeye çelik adı verilmektedir. Bu miktardan daha fazla yani % 2'den fazla karbon bulunduruyorsa demir adını almaktadır.

AISI 8620 çeliği içerisinde de belirli bir miktar bulunan ( % 0,18- 0,25 oranında) karbon her ne kadar çelik adı için önemli olsa da bu malzeme için diğer alaşım elementleri de kritik önem taşımaktadır. [13]

### 2.2.1.2 Krom (Cr)

Krom elementi de karbon gibi önemli bir elementtir. Özellikle paslanmaz çeliklerin oluşmasında kullanılır. Paslanmaz çeliklerin yüzeyindeki krom oksit tabakası sayesinde paslanmazlık özelliklerini kazanırlar.

AISI 8620 sementasyon çeliğinde ise % 0,40 ile %0 ,60 aralığında krom (Cr) elementi bulunmaktadır. [13,14]

### 2.2.1.3 Nikel (Ni)

Nikel, darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Paslanmaz çeliklerde kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Nikel malzemenin mukavemetini ve tokluğunu artırır. Sıcağa ve tufalleşmeye karşı iyileştirici özelliğe sahip olmasının

yanı sıra, krom ile birlikte kullanılarak, sertleşmeyi, sünekliği ve yorulma direncini artırır. Nikel aynı zamanda, tane küçültme özelliğine de sahiptir. [14,15]

#### **2.2.1.4. Molibden (Mo)**

Molibden de karbon gibi çelikler için önemli bir alaşım elementidir ve çelik içinde belirli özellikleri sağlaması gerektirmektedir. AISI 8620 Sementasyon çeliğinde alaşım elementinde kullanılan Molibden, düşük nikel ve düşük krom içeren çeliklerde temper gevrekliği eğilimini gidermek için kullanılır. Ayrıca, çeliklerin sürünme dayanımını ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımli takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir. [15,16]

#### **2.2.1.5. AISI 8620 Çeliğinde Bulunan Diğer Alaşım Elementleri**

AISI/SAE 8620 sementasyon çeliğinde yukarıda teorik olarak açıklanan temel alaşım elementlerinin yanı sıra Mangan (Mn), Kükürt (S), Fosfor (P) ve Silisyum (Si) gibi bir çok alaşım elementi bulunmaktadır.

Bu alaşım elementleri çeliğin mekanik özelliklerini daha iyi yapmakla beraber çeliğin iyi olan özelliklerini de daha iyi hale getirmek amacıyla eklenebilir veya oranları düşürülebilir.



### 2.2.2 AISI 8620 Çeliğinin Kullanım Alanları

AISI 8620 Çeliği alaşım elementinden aldığı güç ile birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak kullanım alanlarını listeleyecek olursak;

- Makine ve Otomobillerde
- Dişli Çarklarda
- Pim ve Millerde
- Şalter Kovanlarında
- Soğuk Şişirilerek ve fişkırtılarak şekillendirilen piston pimlerinde
- Zincir baklaları ve benzeri parçalarda kullanılmaktadır.

Aynı zamanda sementasyon işlemlerine ve nitrasyon işlemlerine uygun malzemelerdir. Çekirdekte yumuşak ve tokluğun istenildiği, yüzeyde ise sert ve aşınmaya karşı dayanıklı olan ayrıca darbeli yerlerde tercih edilen esnek bir yapı çeliğidir.



Şekil 2.3 Altıgen Kesitli Üretilmiş AISI 8620 Çeliği



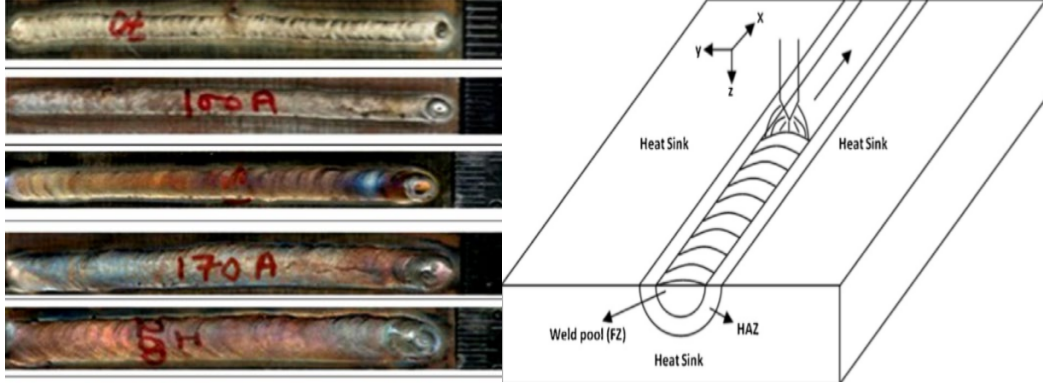
Şekil 2.4 AISI 8620 Çeliğinin Dişli Çarklarda Kullanımı

### 2.2.3 AISI 8620 Çeliğinin Kaynağı

Sementasyon çeliklerinin kaynak kabiliyetleri iyidir. Alaşımli çeliklerde kaynaktan sonra tavlama gerekir. Talaşlı işlenebilirlik en iyi, normal tavllanmış veya kaba taneli yapıya sahip malzeme ile sağlanır. Yumuşatma yapılmış malzeme kötü yüzey kalitesi verdiği için tercih edilmez. [17]

AISI 8620 Çeliği düşük karbon içerdiğinden dolayı kaynak kabiliyetleri iyidir. Bu tür malzemelere uygulanacak kaynak yöntemlerini listeleyecek olursak;

- Tozaltı Kaynağı,
- Gazaltı Kaynağı,
- Mıg-Mag Kaynağı,
- TIG Kaynağı,
- Lazer Kaynağı,
- Sürtünme Kaynağı,
- Elektrik Ark Kaynağı,
- Direnç Kaynağı,
- Örtülü Elektrot Ark Kaynağı,
- Difüzyon Kaynağı



Şekil 2.5 AISI 8620 Çeliğine Uygulanan TIG Kaynağının Kaynak ve Kaynak Dikiş Örnekleri

### 2.3 Difüzyon Kaynağı

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.[17,18]

Difüzyon kaynağı, birbiriyle temasta olan yüzeyler arasında minimum makroskobik deformasyon verecek bir basınç ve ısı uygulayarak kontrollü difüzyonla gerçekleştirilen katı hal kaynağıdır. Difüzyon, atomların, malzemenin serbest enerjisini (kimyasal potansiyel farkını) azaltmak amacıyla yüksek enerjili bölgelerden düşük enerjili bölgelere göçmesi olayıdır. Kaynak sıcaklığı, bağlanacak parçaların erime sıcaklığının altındadır. Malzemelerde difüzyon yeniden kristalleşme sıcaklığında başlamaktadır. Bu nedenle birleştirmelerde bu özel yöntem ergitme kaynağının kullanılmadığı yerlerde etkili olarak kullanılabilir. Difüzyon kaynağının kullanımında en önemli parametreler; kaynak sıcaklığı, basınç süresi, şekil değiştirme miktarı, yüzey kalitesi ve koruyucu atmosferdir. Bu parametreler, difüzyon kaynağının kalitesini etkilemektedir.

Difüzyon kaynağı ile, benzer metalleri veya farklı metalleri bir katı hal kaynağı formunda birleştirme imkânı vardır. Birleştirilecek metal yüzeylerinin düzgünlüğü, oksitlenme veya kimyasallarla etkileşimi, yağ, pislik gibi istenmeyen katı maddelerin barındırılması veya yüzeye absorbe olmuş olan gaz veya nem durumu birleşmeyi

olumsuz yönde etkileyecektir. Olumsuz etkiyi bertaraf etmek için kaynak edilecek metale uygun, yüzey hazırlama işlemleri, büyük bir dikkatle uygulanmalıdır.

Difüzyon kaynağında işlemin düşük sıcaklıklarda yapılması, ön ve son tavlamaya ihtiyaç duyulması, birleştirilecek parçalarda deformasyonun az olması ve çok değişik malzeme çiftlerinin birleştirilebilmesi, bir kere de karmaşık şekilli parçaların birleştirilebilmesi, bu yöntemin avantajlarıdır. İşlemin yavaş oluşu, büyük parçalara uygulama zorluğu ve tahribatsız kontrol imkânının sınırlı oluşu, dezavantajlarını teşkil eder. [19]

### **2.3.1 Difüzyon Kaynağı Parametreleri**

Difüzyon kaynağı son yıllarda önemini artırmış bir kaynak yöntemidir. Bir çok malzemenin kaynağında kullanılan difüzyon kaynağı katı hal birleşmesinin önemli bir yöntemidir. Ancak her kaynak yönteminde olduğu gibi difüzyon kaynağında da kaynağın kalitesini ve sağlamlığını belirleyen parametreler vardır. Bu parametreler temel olarak sıcaklık, basınç ve zamandır. Bunları detaylı olarak inceleyecek olursak;

#### **2.3.1.1 Sıcaklık**

Difüzyon kaynağı ara tabakalı veya ara tabakasız olarak uygulanabilmektedir. Ara tabakasız kaynakta birleşme mikro-deformasyon mekanizmasıyla gerçekleşmektedir, bunun için ise yüksek sıcaklık ve basınç gereklidir. Eğer bunlar yeterli değilse ara yüzeyde bazı boşluklar ve yetersiz birleşme görülecektir. Her iki malzemenin ısıl genleşmeleri farklı ise ara yüzeyde çatlama ve kırılmalar görülebilecektir. Ara tabaka kullanıldığında termal genleşme farkı birbirine yaklaştırılacak ve gerilmeler azaltılmış olacaktır. Ara tabakanın her iki malzeme tarafına deformasyonu ile ara yüzeydeki boşluklar ortadan kaldırılmış olacaktır. Böylece tamamen birbirine temasta olan iki ara yüzey elde edilecektir. Bu avantajları metal-seramik malzemelerinin birleştirilmesinde difüzyon kaynağını vazgeçilmek hale getirmektedir. [20]

#### **2.3.1.2 Basınç**

Difüzyon kaynağının kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden birisi de basınçtır. Basınç değeri numune için uygun bir değerde olmazsa yani deney yapacağımız numunelere olması gerekenden daha fazla basınç uygularsak numuneler beklenmedik ve

olumsuz sonuçlar verebilir. Ancak deney numunelerine daha az basınç uygularsak da istediğimiz kaynağı elde edemeyeceğimizi görürüz. Bu nedenle numunelere uygulanacak basınç değeri iyi bir şekilde ayarlanmalıdır.

### **2.3.1.3 Süre(Zaman)**

Difüzyon kaynağında birleştirme işlemi yapacağımız numunelere uygulayacağımız kaynak işlemi süresi de önem taşımaktadır. Ve süre difüzyon kaynağı için en önemli ve dikkatli uygulanması gereken parametrelerden biridir. Numunelere uygulayacağımız süre olması gerekenden az olursa numuneler istendiği gibi sağlıklı şekilde yapışmaz ve kaynak işlemi başarısız olur.

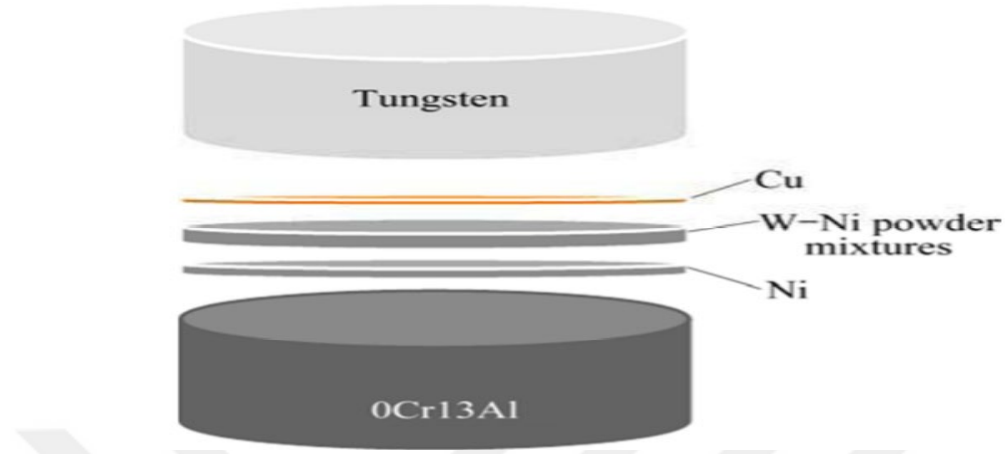
Numunelere uyguladığımız kaynak sıcaklığının olması gereken süreden daha fazla uygularsak da numunelerin mekanik özelliklerinde bozulmalar görülebilir. Bu nedenle kaynak işlemi yaparken numunelere ideal süreleri uygulamak konusunda hassas olunmalıdır.

### **2.3.2 Difüzyon Kaynağı İle İlgili Çalışmalar**

Difüzyon kaynağı günümüzde çokça kullanılmaya başlayan özellikle akademik derecede yapılan araştırmalarda kullanılan katı yollu bir birleştirme işlemidir. Difüzyon kaynağının uygulandığı deneysel çalışmalara örnek verecek olursak;

Çalışmalardan birinde çoklu ara katman kullanılarak difüzyon kaynağı yapılmak istenmiştir. Çalışmada Bakır (Cu), Tungsten (W) – Nikel (Ni) ve Nikel (Ni) ara tabakaları kullanarak Tungsten ve 0Cr13Al Çelik malzemeleri arasında bir birleşme çalışması yapılmış ve sonuçları gözlenmiştir. Çalışmada 0Cr13Al Çelik malzemesi ile Tungsten malzeme arasında difüzyon bağı oluşması amacıyla 60 dakika boyunca 5 MPa'lık basınç altında 1150 °C'de vakumla birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda kaynak yapısı SEM ve EDS ile analiz edilmiş ve deney numunesine termal şok testleri uygulanmıştır. Deney sonucunda homojen bir mikro yapıya sahip (W – Ni kompozit alt katmanı) ve deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinde kayda değer bir hasar gözlemlenmemiştir. Hatta kayma testi sırasında W-Nİ kompozit alt tabakasının ve Ni alt tabakasının yaptığı bağlanma bölgesindeki bağlantıların 256 MPa'ya kadar dayandığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki önemli nokta difüzyon kaynağında farklı ara tabakaların bir arada bulunmasının sağlıklı sonuçlar

doğurabileceği ve çeşitli testlerde gerekli standartları sağlayabileceğinin incelenebilmesidir.



Şekil 2.6 Bakır (Cu) , Tungsten (W)- Nikel (Ni) Karışım ve Nikel (Ni) Ara Tabakalarının Beraber Kullanıldığı Numune Düzenegi

Bu çalışmadaki önemli nokta difüzyon kaynağında farklı ara tabakaların bir arada bulunmasının sağlıklı sonuçlar doğurabileceği ve çeşitli testlerde gerekli standartları sağlayabileceğinin incelenebilmesidir. [21]

Bir önceki incelediğimiz çalışmada 0Cr13Al Çelik malzemesi ile Tungsten malzeme arasında oluşumunu incelediğimiz difüzyon kaynağının şimdiki inceleyeceğimiz çalışmada ise 304L Paslanmaz Çeliği ile Zircaloy-4 malzemeleri arasında oluşan difüzyon kaynağını Nikel (Ni) ve Titanyum (Ti) ara katmanları varken araştırılmıştır.

Çalışmada 304L paslanmaz çeliği ile zircaloy-4 malzemeleri 30 dk ile 90 dk arasında değişen zaman aralıkları içinde vakumlu bir atmosferde 800 °C - 900 °C aralığındaki sıcaklıklarda birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. 850 °C, 60 dakika'da 209 MPa'lık kesme mukavemeti elde edilmiştir. 304L paslanmaz çelik ve Zircaloy-4 arasında eklem arasında NiZr<sub>2</sub>, NiZr, NiTi ve NiTiZr gibi ara bileşikler oluşmuştur. Ve ara bileşiklerin inceleme işlemleri yapıldığında malzemelerin mekanik özelliklerinde bir çarpılma olmadan difüzyon işlemi sonrası ara bileşiklerin sağlıklı şekilde oluştuğu görülmüştür. [22]

Bir başka çalışmada da Ti6Al4V alaşım çifti Ag ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ve kaynağın sıcaklık parametresinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Titanyum günümüzde kullanılmaya başlayan ve

işlenme özellikleri yüksek olan maddelerden biridir. Ti ve alaşımlarının sahip olduğu yüksek dayanım, iyi tokluk, düşük yoğunluk, biyouyum ve iyi korozyon dayanımı gibi özelliklerinden dolayı uzay endüstrisi ve yüksek performansın gerekli olduğu uygulamalarda oldukça fazla kullanım alanına sahiptir. Çalışmada difüzyon kaynakları, özel olarak hazırlanmış difüzyon kaynak aparatında 5 MPa sabit kaynak basıncı, 60 dk'lık sabit kaynak süresi ve 750-850 ve 950 °C'lik sıcaklıklarda argon atmosferinde yapılmıştır. Kaynak sıcaklığı değişken parametre olarak seçilmiştir. Kaynak sonrası birleşme ara yüzeyinde meydana gelen mikro yapı değişiklikleri optik mikroskop yardımıyla incelenmiş ve kaynak ara yüzeyindeki element geçişleri için EDS analizi ve olası fazların tayini için XRD analizi yapılmıştır. Ayrıca kaynak ara yüzeyindeki sertlik değişimini gözlemek amacıyla numunelere mikrosertlik testi uygulanmıştır. Ve sonuçlar incelenmiştir. [23]

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu tez çalışmasında mikro alaşım bor içerikli AISI 8620 çeliği saf Ni ara folyo kullanılarak difüzyon kaynağı tekniği ile birleştirilmiştir. Çelik numuneler 15x10x10 mm ölçülerinde plaka halinde temin edilen (Şekil 3.1) malzemedan hassas kesme cihazı ile kesilmiştir. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de verilmiştir. Ara folyo olarak ise % 99,9 saflıkta ve 25 mikron kalınlığında Ni folyo piyasadan temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde Kullanılan AISI 8620 Çeliği

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	B
0.2 -	0.25-	0.75-	0.015-	0.01-	0.2-	0.45-	0.4-	0.15-	58
0.3	0.35	0.85	0.025	0.02	0.25	0.55	0.50	0.20	ppm

Tablo 3.1. 8620 Çeliğinin Ağırlıkça % Kimyasal Bileşimi



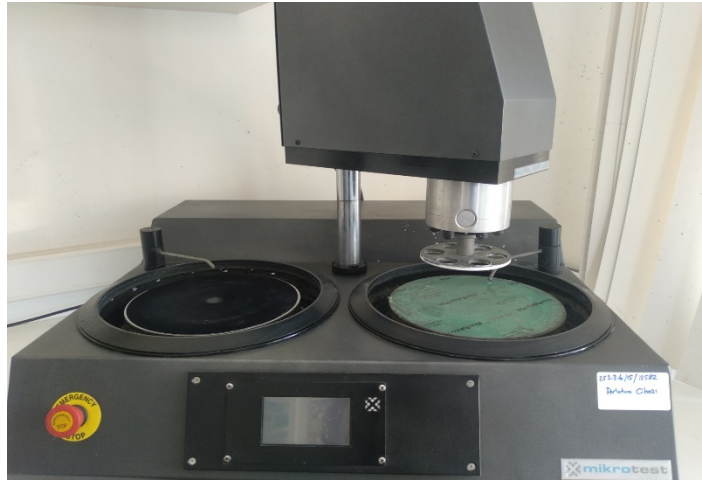
### 3.2 Numune Hazırlama İşlemleri

Difüzyon kaynak numunesi için plaka halinde temin edilen 8620 çeliğinden hassas kesme cihazı kullanılarak 15x10x10 mm ölçülerinde numuneler kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 3.2 Hassas Kesme Cihazı

Hassas Kesme Cihazı kullanılarak istenilen ebatlarda kesilen numunelerin birleştirilecek yüzeyi kesme izlerini yok etmek amacıyla zımparalanmıştır. Bu amaçla, zımpara cihazında numunenin yüzeyi en son 1000 mesh zımpara kullanılarak zımparalanmıştır.



Şekil 3.3 Zımparalama Cihazı

Difüzyon kaynağı öncesinde numune ebadına 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 3.4 Difüzyon Kaynağı Cihazı

Hazırlanan numuneler difüzyon kaynak cihazı yük ünitesine yerleştirilerek kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Difüzyon kaynağı ile birleştirilen numunelerin ara kesit mikroyapı ve mikrosertlik analizlerinin yapılabilmesi amacıyla yatay konumda bakelite alma tekniği ile kalıplanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Bakalite Alma Cihazı

Bakalite alınmış numuneler mikroyapı analizi amacıyla 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.

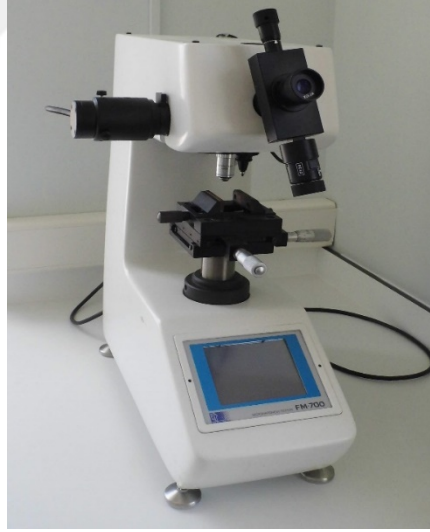
Parlatma işlemi sonrası ara yüzey mikroyapı analizlerini yapabilmek amacıyla dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemi, % 3'lük Nital çözeltisi içerisinde 5 saniye süreyle daldırma yoluyla gerçekleştirilmiştir.

Optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.6'de görülen Nikon MA 100 optik metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi kullanılarak alınmıştır.



Şekil 3.6 Optik Mikroskop Cihazı ve Görüntü Analiz Sistemi

Difüzyon ara yüzeyinden belirli aralıklarla ara yüzey mikrosertlik profilinin çıkarılması amacıyla mikrosertlik ölçümleri Şekil 3.7'deki mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7 Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

## BÖLÜM 4

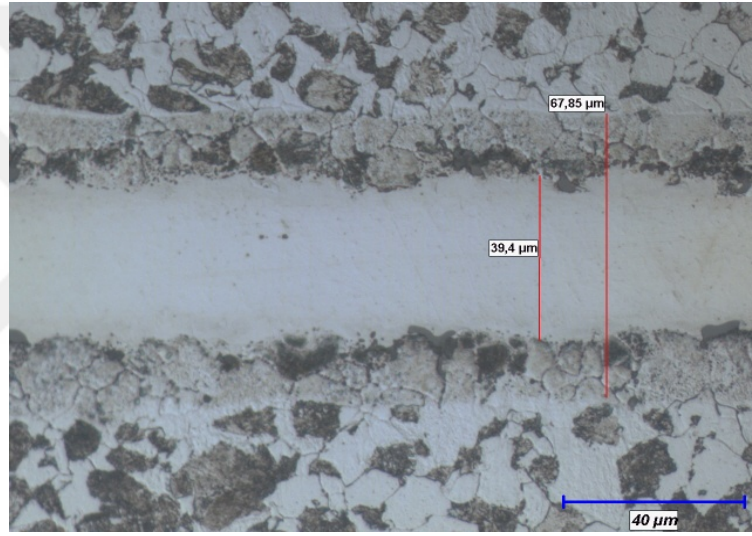
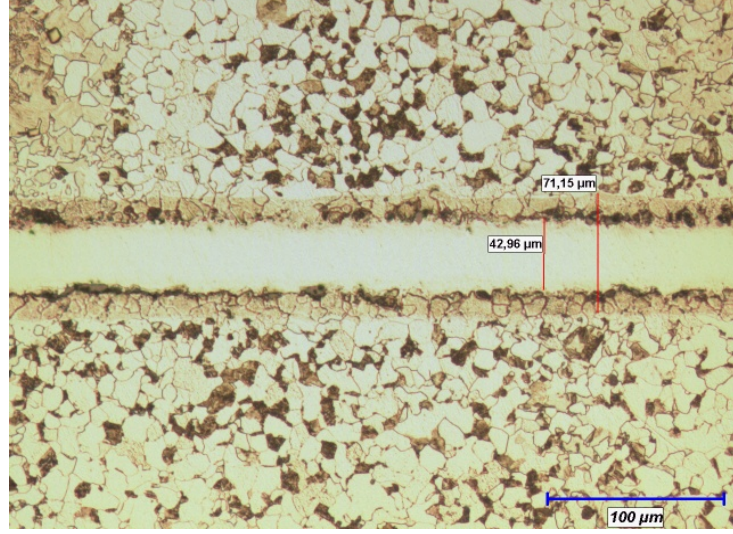
### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 4.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, mikro alaşım bor içerikli AISI 8620 çeliği 25 mikron kalınlığında Ni ara folyo kullanılarak 10 MPa basınç altında ve 1000, 1050 ve 1100 °C'lik işlem sıcaklıklarında 1 ve 2 saat sürelerde difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Böylece 8620 çeliğinin 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 ve mikrosertlik analizleri ile sertlik profili çıkarılmıştır.

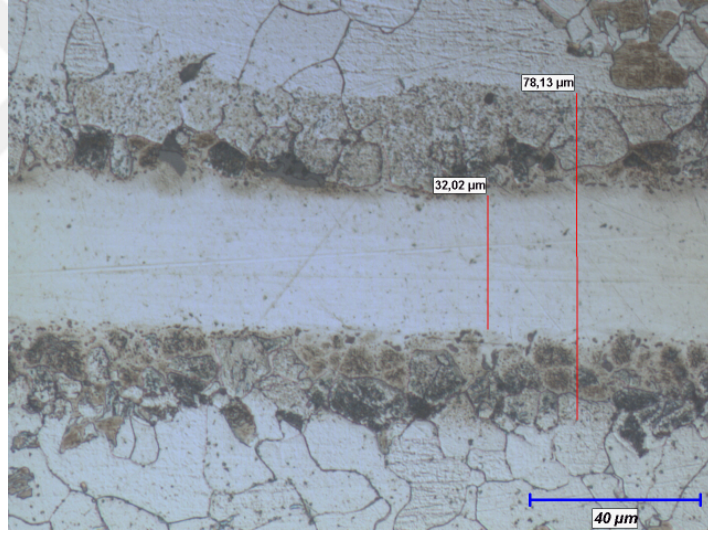
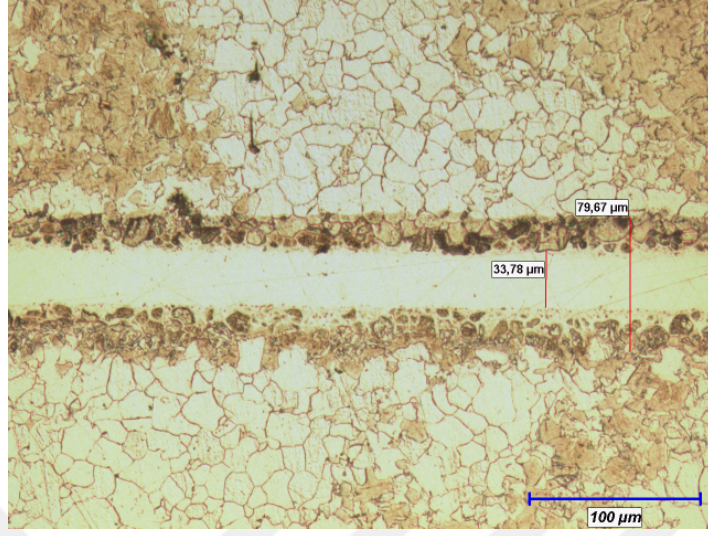
#### 4.2 Optik Mikroskop Görüntüleri

Difüzyon kaynağı tekniği kullanılarak 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 Basınç ve 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikro yapı Fotoğrafları

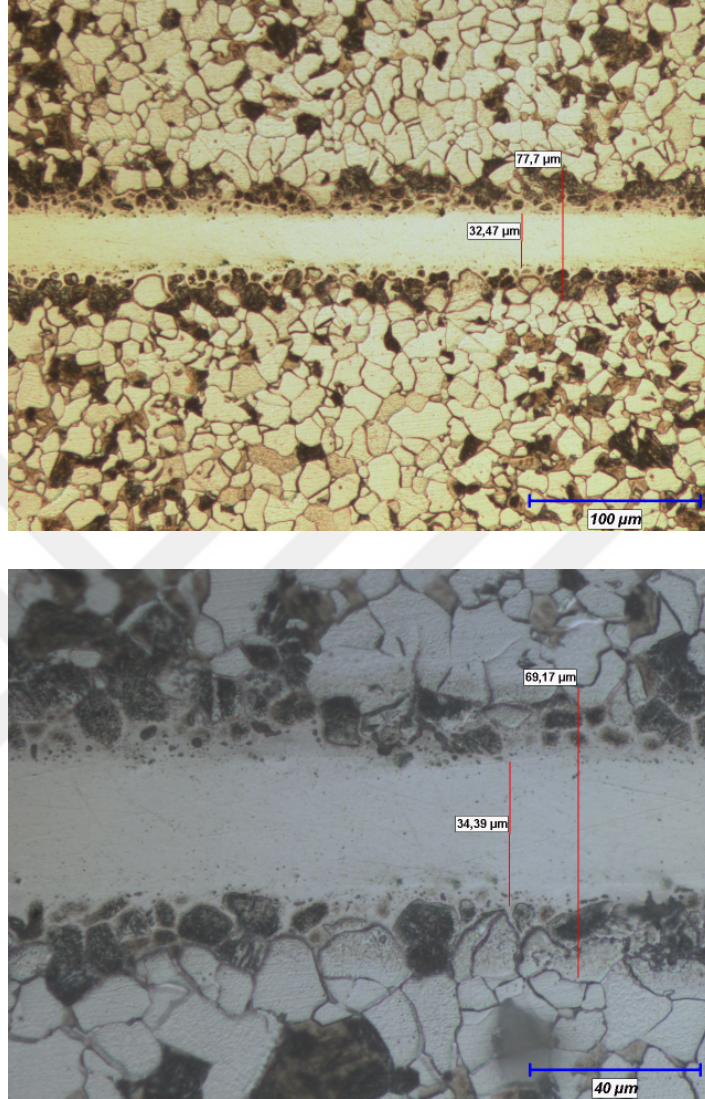
Difüzyon kaynağı tekniği ile 25 mikronluk Ni ara folyo kullanılarak birleştirilen 8620 çeliğinin optik mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere Ni ara folyo ve ana malzeme arasında herhangi bir ara yüzey çizgisinin oluşmadığı Ni folyonun ana malzemeye mikro boşluksuz bir şekilde bağlandığı görülmektedir. Aynı zamanda, 25 mikronluk ara folyo ile birlikte 39,4 mikronluk ara yüzey oluşumu meydana gelmiştir. Bununla birlikte, ana malzemelerde her iki tarafta 15'er mikronluk difüzyondan etkilenmiş bölge meydana gelmiştir. Ana malzeme mikro yapısı ise soğuma hızı ile birlikte ferrit ve perlitten oluşmuştur.



Şekil 4.2 1000 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları

Difüzyon kaynağı tekniği ile Ni ara folyo kullanılarak birleştirilen 1000 °C'lik işlem sıcaklığı, 10 MPa basınç ve 2 saat süreyle birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından görüldüğü üzere Ni ara folyo ve ana malzeme arasında herhangi bir ara yüzey sınır çizgisi yoktur. Aynı zamanda, 32 mikronluk ara ara yüzey oluşumu ile birlikte toplamda 78 mikronluk difüzyondan etkilenmiş ara yüzey oluşumu görülmüştür. Difüzyon bölgesine yakın ana malzemenin nispeten ferritik tanelerden oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4.3’de 1050 °C’lik işlem sıcaklığı, 10 MPa basınç ve 1 saat süreyle birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğrafı görülmektedir.

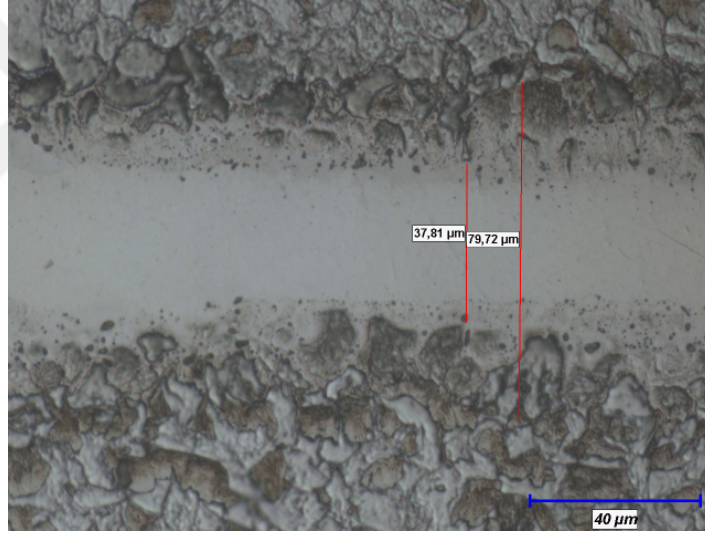
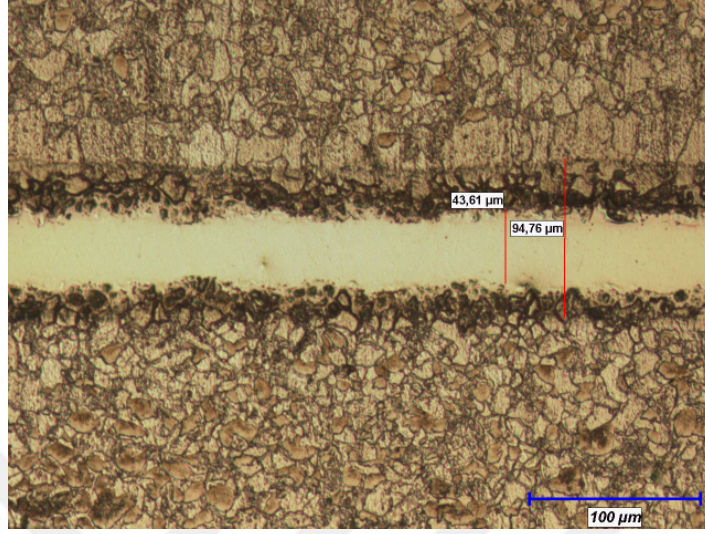


Şekil 4.3 1050 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları

Yine diğer parametrelerde olduğu gibi kullanılan Ni ara folyonun ana malzemeyle bütünleştiği ana malzemeye olan Ni difüzyonuyla birlikte 34.3 mikronluk bir ara tabakanın oluştuğu görülmüştür. Aynı zamanda, 34 mikronluk ara ara yüzey oluşumu ile birlikte yaklaşık 70 mikronluk difüzyondan etkilenmiş ara yüzey oluşumu görülmüştür. Difüzyon bölgesine yakın ana malzemenin nispeten ferritik tanelerden oluştuğu da görülmektedir.



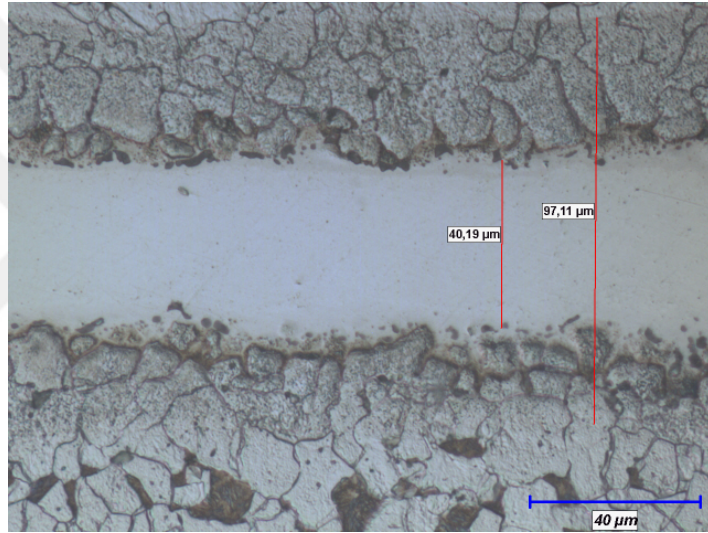
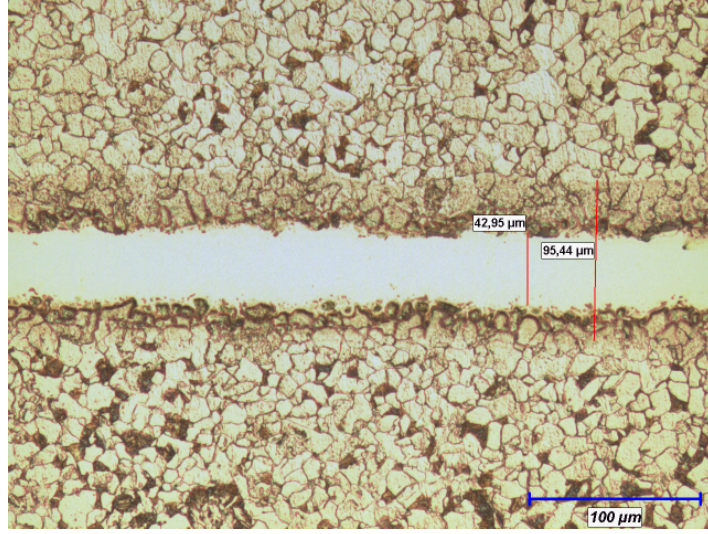
Şekil 4.4'de 1050 °C'lik işlem sıcaklığı, 10 MPa basınç ve 2 saat süreyle birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.4 1050 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları

1050 °C sıcaklık ve 2 saat süre ile yapılan difüzyon kaynağı sonucunda Ni elementi difüzyonuyla birlikte 37.8 mikronluk ara tabaka oluşumu meydana gelmiştir. Aynı zamanda, ana malzemeye doğru difüzyonun etkisi daha açık bir şekilde belli olmakla birlikte yaklaşık 80 mikronluk difüzyondan etkilenmiş ara yüzey oluşumu görülmüştür.

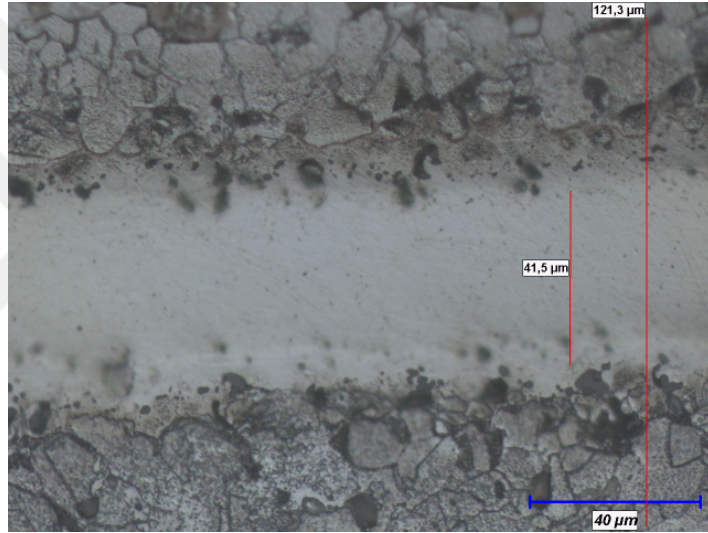
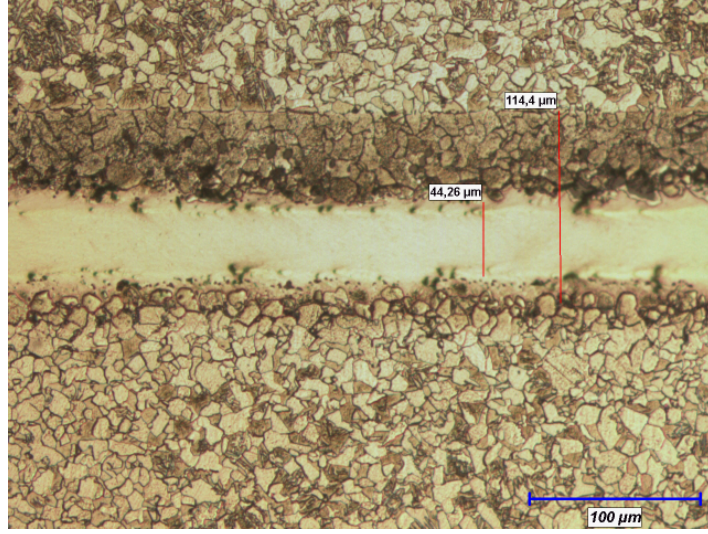
Şekil 4.5'de 1100 °C'lik işlem sıcaklığı, 10 MPa basınç ve 1 saat süreyle birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.5 1100 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 1 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları

1100 °C sıcaklık ve 1 saat süre ile yapılan difüzyon kaynağı sonucunda artan sıcaklık ile birlikte kullanılan Ni ara folyodan ana malzemeye doğru artan Ni elementi difüzyonuyla birlikte 40 mikronluk ara tabaka oluşumu meydana gelmiştir. Aynı zamanda, 97 mikronluk difüzyondan etkilenmiş ara yüzey oluşumu görülmüştür.

Şekil 4.6'de 1100 °C'lik işlem sıcaklığı, 10 MPa basınç ve 2 saat süreyle birleştirilen numuneden alınan optik mikroyapı fotoğrafı görülmektedir.

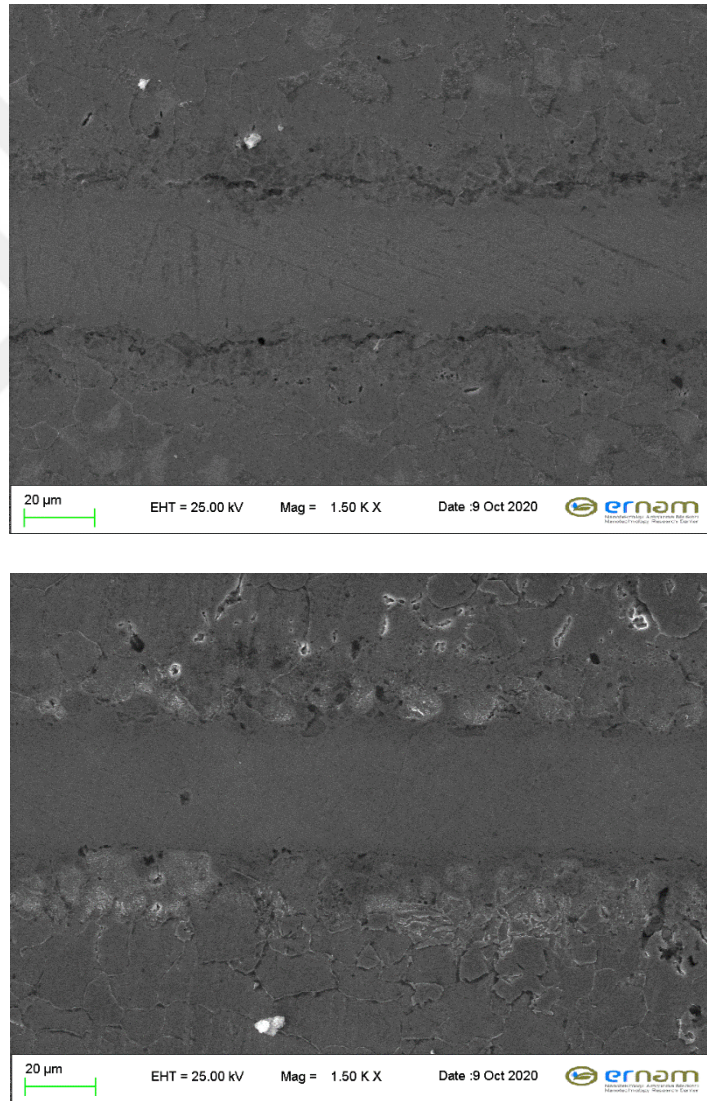


Şekil 4.6 1100 °C Sıcaklık, 10 MPa Basınç ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin Optik Mikroyapı Fotoğrafları

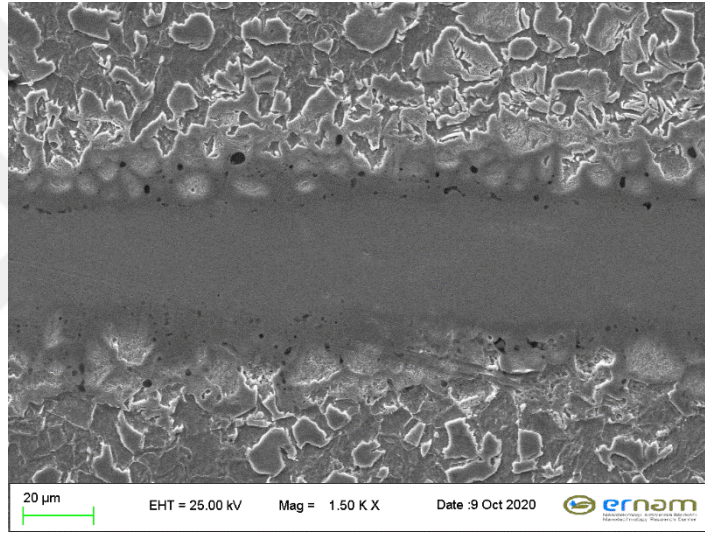
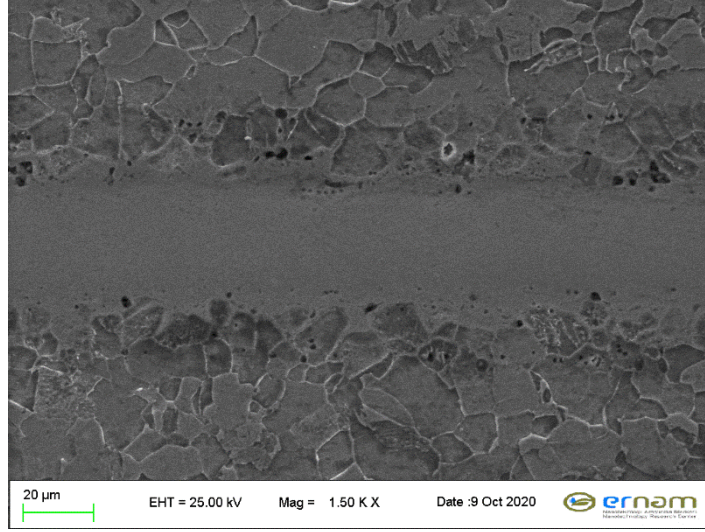
1100 °C sıcaklık ve 2 saat süre ile yapılan difüzyon kaynağı sonucunda 1 saatlik süreye kıyasla difüzyon ara yüzeyi kullanılan 25 mikronluk Ni ara folyo ile birlikte yaklaşık 41.5 mikron olmuştur. Artan süreyle birlikte küçük te olsa bir artış söz konusudur. Aynı zamanda, yaklaşık 120 mikronluk difüzyondan etkilenmiş ara yüzey oluşumu görülmüştür.

### 4.3 SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

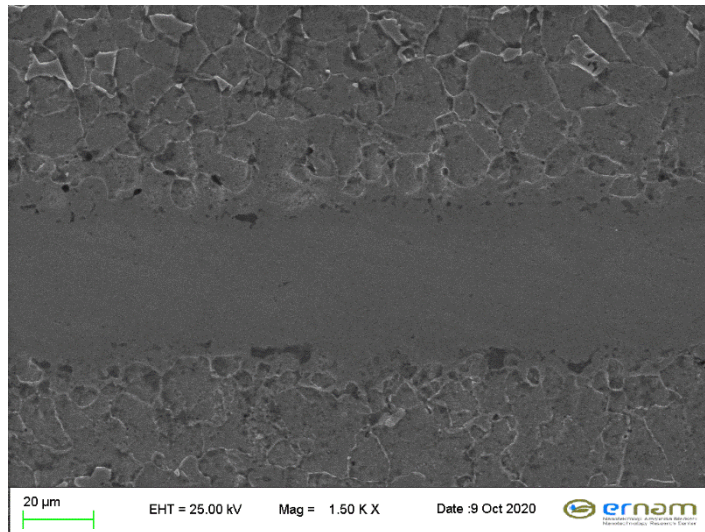
1000, 1050 ve 1100 °C işlem sıcaklıklarında 1 ve 2 saat süre ile difüzyon kaynak tekniği kullanılarak birleştirilen 8620 çeliğinin Ni ara tabakalı difüzyon kaynağı işlemi sonucunda mikroyapı analizi amacıyla hazırlanan numunelerin Erciyes üniversitesi ERNAM'da (Erciyes Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde ) SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

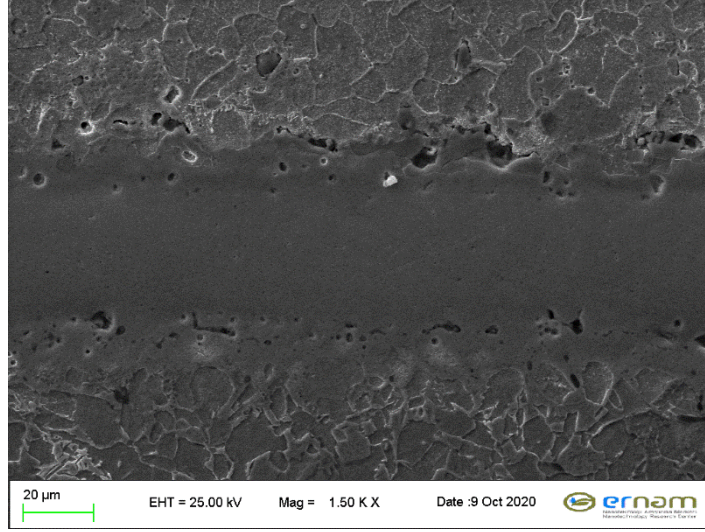


Şekil 4.7 1000 °C'de 1 ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları



Şekil 4.8 1050 °C'de 1 ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları

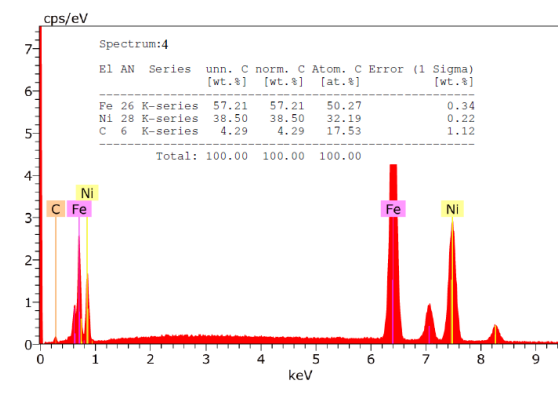
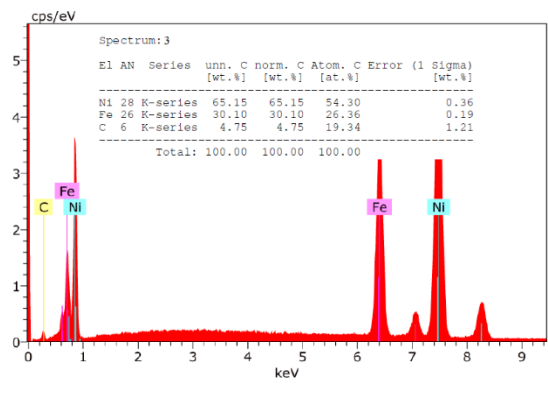
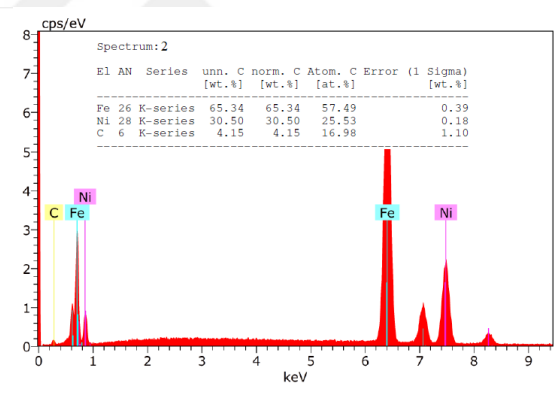
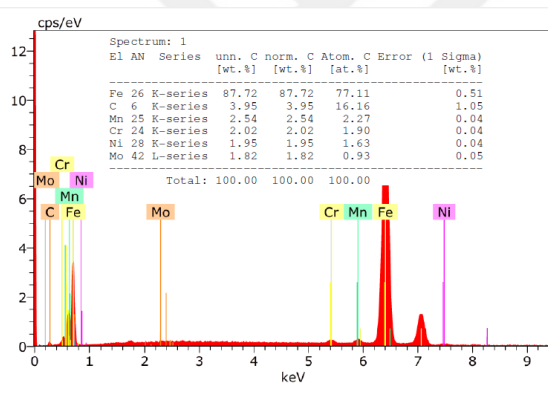
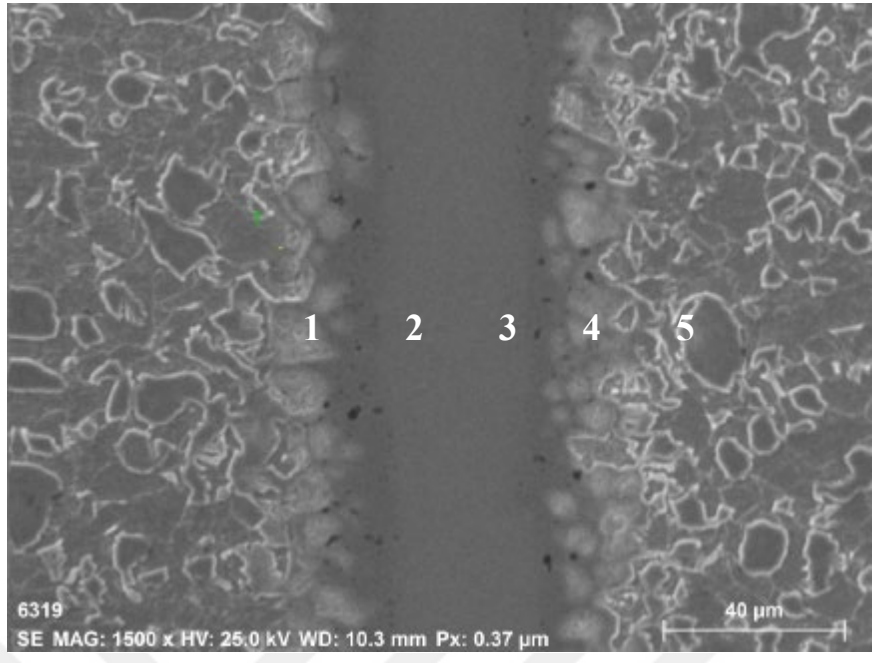


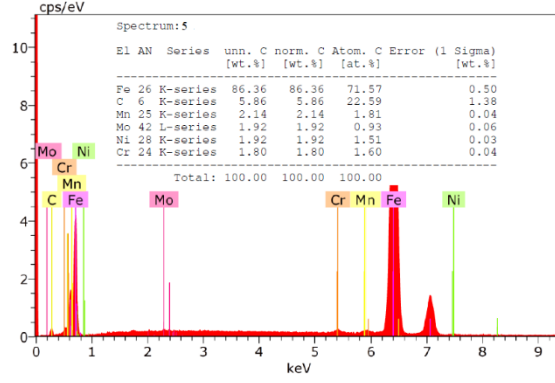


Şekil 4.9 1100 °C’de 1 ve 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin SEM Mikroyapı Fotoğrafları

SEM mikroyapı fotoğraflarından artan sıcaklık ve süre ile birlikte difüzyon ara tabakanın Ni ara folyodan ana malzemeye doğru muhtemel Ni difüzyonu ve ana malzemeden ara tabakaya doğru ise Fe difüzyonuyla birlikte arttığı tespit edilmiştir. Ni ara folyo ve ana malzeme arasında herhangi bir mikro boşluk oluşumu gözlemlenmemiştir. Artan sıcaklık ile birlikte difüzyon ara tabakası ve ana malzeme arasında yer yer karbür partiküllerinin boyutunun büyüdüğü tespit edilmiştir. Aynı zamanda özellikle 1000 °C’lik işlem sıcaklığı ve 2 saat süreyle birleştirilen numunenin SEM fotoğrafında ara tabaka ve ana malzeme arasındaki difüzyon geçiş gölgesi ve ana malzeme tane yapısı değişikimi aşık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4.10’da 1050 °C’de 2 saat süreyle birleştirilen numunenin difüzyon ara yüzeyinden alınan EDS noktaları ve elde edilen elementer analiz sonucu görülmektedir.





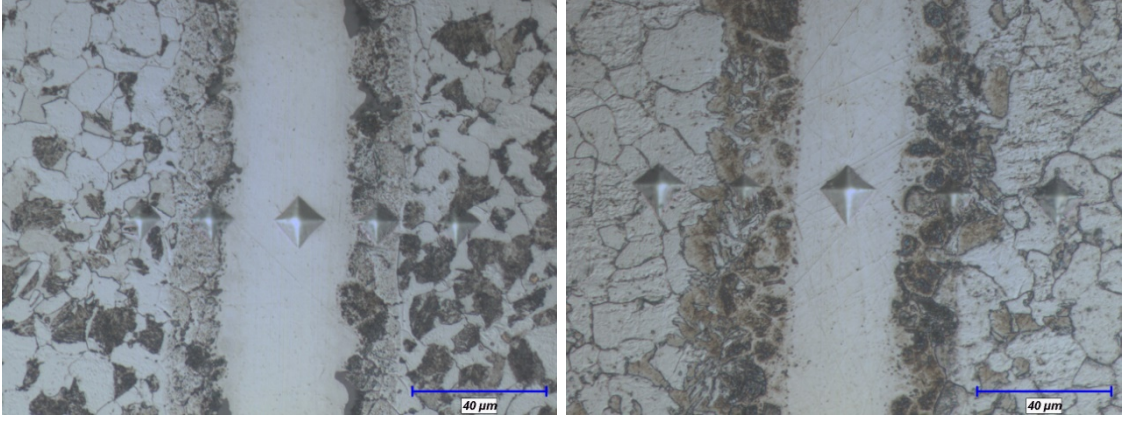
Şekil 4.10 1050 °C’de 2 Saat Süre Parametreleri Kullanılarak Birleştirilen Numunenin EDS Analizi

Şekil 4.10 verilen EDS analizlerinden 1. noktada görüldüğü üzere ağırlıkça %87 Fe ve %1.95 Ni elementleri değeri elde edilmiştir. Bu nokta ana malzeme difüzyon bölgesidir. Ni ara folyodan ana malzemeye % 1.95 Ni elementinin difüze olduğunu göstermektedir. Bu bölgede meydana gelen mikroyapısal değişimler de bu durumu desteklemektedir. EDS analizlerinden 2. noktada ağırlıkça % 57 Fe ve % 25 Ni değerleri elde edilmiştir. Bu nokta ana malzeme difüzyon bölgesi ve Ni folyo geçiş bölgesidir. Karşılıklı Ni ve Fe difüzyonuyla ostenitik bir geçiş gölgesi meydana gelmiştir. Ni ara folyonun tam merkezini ifade eden 3. Noktada ise % 54 Ni ve % 26 Fe değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç göstermiştir ki ana malzemedan ara folyonun merkezine % 26 gibi yüksek değerde Fe difüzyonu gerçekleşmiş ve ara bölge tamamen ostenitik Fe-Ni katı eriyik fazından oluşmuştur. Difüzyon çiftinin diğer kısımlarından alınan EDS analizlerinde (Nokta 4 ve 5) benzer sonuçlar elde edilmiştir.

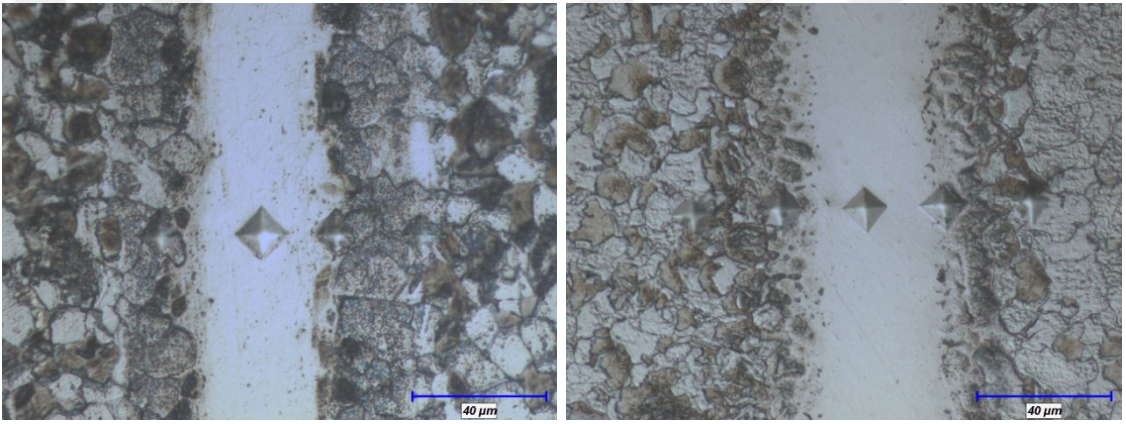
#### 4.4 Mikrosertlik Analiz Sonuçları

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

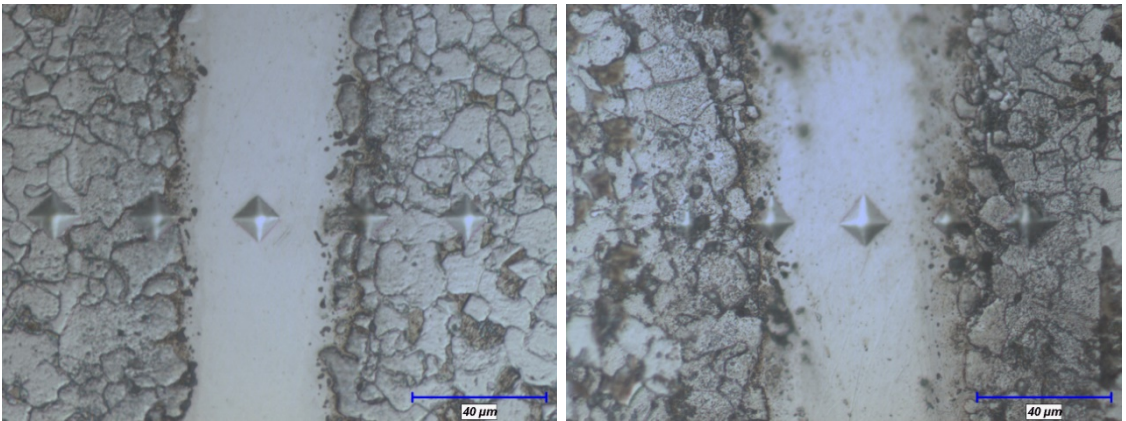




Şekil 4.11 1000 °C, 1 ve 2 Saat Parametrelerde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deneş Numunesinin Mikrosertlik İzleri



Şekil 4.12 1050 °C, 1 ve 2 Saat Parametrelerde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deneş Numunesinin Mikrosertlik İzleri



Şekil 4.13 1100 °C, 1 ve 2 Saat Parametrelerde Difüzyon Kaynağı Uygulanan Deneş Numunesinin Mikrosertlik İzleri

Yukarıda 6 farklı parametrede gerçekleştirilen difüzyon kaynağı numuneleri kesitinden alınan sertlik görüntüleri görülmektedir. Mikrosertlik iz fotoğraflarından ara bölgede sertlik izlerinin daha büyük ana malzemeye doğru ise küçüldüğü görülmektedir. Mikrosertlik ölçümleri ile elde edilen sertlik değerleri aşağıda tablo halinde verilmiştir. Tablodan ara bölge sertlik değerlerinin 147-196 HV aralığında olduğu ve ana malzemeye doğru ise sertlik değerinin yükseldiği görülmektedir. Artan difüzyon sıcaklığı ile birlikte ara bölgedeki sertlik değerinin 148 HV'den 196 HV çıkması Ni ara folyoya ana malzemeden gerçekleşen Fe difüzyonuyla katı eriyik oluşumundan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Numuneler arası küçük değer farklarının soğuma hızı farklılıklarından ve karşılıklı elementer difüzyon kaynaklandığı düşünülmektedir.

<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>	250,6	235,9	158,7	226	278,6
<b>2</b>	242,4	206,2	147,3	218,6	292,6
<b>3</b>	205,5	170,3	178,2	193,3	209,8
<b>4</b>	255	375,5	149,1	318	245,3
<b>5</b>	219,3	182,6	196,5	180,2	217,9
<b>6</b>	240	245	184,3	273,1	202

Tablo 4.1 Tüm Parametrelere Ait Deney Numunelerinin Mikrosertlik Deneyleri

## 4.5 Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu tez çalışmada, mikro alaşım bor içerikli AISI 8620 eliği saf Ni ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynak tekniği ile birleştirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan numunelere 25 m'lik ara tabaka kullanılarak farklı sıcaklık, basınç ve süre parametrelerinde difüzyon kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 10 MPa basınç altında 1000 C, 1050 C ve 1100 C'lik sıcaklıklarda 1 ve 2 saat süre parametreleri kullanılarak difüzyon kaynak işlemine tabi tutulmuştur. Böylece AISI 8620 eliği için optimum difüzyon kaynak parametresi belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan mikro alaşım bor içerikli 8620 çeliğinin 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 difüzyonuyla birlikte ara tabaka kalınlığı artmıştır. En kalın ara yüzey tabakası 41.5 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 8620 çeliği arasında mikro boşluksuz bir bağlanmanın meydana geldiği aynı zamanda ana malzeme ferrit+perlitik tane yapısının Ni difüzyonuyla birlikte ostenitik yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir. Ara bölgeden alınan sıralı EDS analizlerinden geçiş bölgesinde % 57 Fe ve % 25 Ni değerleri, orta noktada ise % 54 Ni ve % 26 Fe değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç göstermiştir ki ana malzemedan ara folyonun merkezine % 26 gibi yüksek değerde 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 değerinin 148 HV'den 196 HV ıkması Ni ara folyoya ana malzemedan gerçekleşen Fe difüzyonuyla katı eriyik oluşumundan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

## KAYNAKÇA

1. Kurt,B., “Ti-6al-4v ve Paslanmaz Çeliğini Ara Tabakası Kullanılarak Birleştirilmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Elazığ, 2005.
2. Çalgülü, U., “Ti45. 2Ni49. 1Cu5. 7 Kompozitinin 910-940-970 °C Sıcaklıklarda Cu-Ni Folyolu Difüzyon Kaynağında Sıcaklık ve Sürenin Birleşmeye Etkisinin Araştırılması”, *Engineering Sciences*, 3(3), s.515-523, 2008.
3. Sarıçam, F., “1040 VE 8620 Çeliklerinin Korozif Aşınma Direncine Bor İlavesinin Etkisi”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Karabük, 2020.
4. İnternet: Hascometal. <http://www.Hascometal.Com/Teknik-Bilgiler.Asp?Id=68>
5. İnternet:Kalitemetalurji,<http://Kalitemetalurji.Com.Tr/Urunlerimiz/Sementasyon-Cesitleri/8620-Sementasyon-Celigi/>
6. Hayat,F., “Trip Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Sayı 25(4), s.701-712, 2010.
7. Akay, A. A., Yakup, K., Kahraman, N. “Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen X60, X65 ve X70 Çeliklerin Kaynak Bölgesinin Etüdü”, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, Sayı 3(2), s. 34-42, 2013.
8. İnternet: Tama, Y. S. (2009). Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri. Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli. <https://www.tucsa.org/images/yayinlar/makaleler/Celik-Yapi-Uygulamalarinda-Kullanilacak-Kaynak-Yontemleri.pdf>
9. Kumar, R., Ghosh, P. K., Kumar, S. “Thermal And Metallurgical Characteristics Of Surface Modification Of AISI 8620 Steel Produced By TIG Arcing Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 240, s.420-431, 2017.
10. İnternet: Yükselen, <https://www.Yukselen.Com/Celik-Turleri/Tum-Kaliteler>

11. Öz Saraç, U., Yılmaz, R., Eker, F. A., Uzun, H., “Sementasyon İşlemi Yapılan Çeliklerde Mikro Sertlik ve Mikroyapı Değişimlerinin İncelenmesi”, *Metalurji Dergisi*, Sayı 127, 2012.
12. İnternet: ESN. <https://www.Esnmetal.Com/8620-Celigi/>
13. Uluğ, B., “Sıfırlı/kreojenik Isıl İşlemin 100cr6 ve 8620 Kalite Çeliklerin Özellikleri Üzerine Etkisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2006.
14. Çelik, S., Otmanbölük, N., Fidan, L. “Çelikteki Alaşım Elementlerinin Sertleşebilirliğe ve Sertleşme Derinliğine Etkisi”, *TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, s. 157-162, Balıkesir, 2006.
15. İnternet: Mertçelik. <http://www.Mert-Celik.Com/Index.Php/2015-10-21-21-06-23/Celik-Urunlerde-Bulunan-Baslica-Elementler>
16. İnternet: Hascometal. <http://www.Hascometal.Com/Teknik-Bilgiler.Asp?Id=72>
17. Çalgılı, U., “Ti6Al4V Alaşımının Gümüş Aratabaka Kullanılarak Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilebilirliği”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Sayı7(3), s. 577-586, 2016.
18. He, P., Zhang, J., Zhou, R., & Li, X., “Diffusion Bonding Technology Of a Titanium Alloy To a Stainless Steel Web With An Ni İnterlayer”, *Materials characterization*, 43(5), s.287-292, 1999.
19. Fidan, L., “Saf Alüminyum ve Saf Bakırın Difüzyon Kaynağında Arafazların Oluşumu ve Etkisi”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir, 2006.
20. Aydın, M., “The joining of porous ceramic materials with stainless steel using diffusion welding method”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Sayı 23(3), s.595-599, 2008.
21. Yang, Z. H., Shen, Y. F., Wang, Z. Y., Cheng, J. L., “Tungsten/steel Diffusion Bonding Using Cu/W–Ni/Ni Multi-İnterlayer”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Sayı 24(8), s.2554-2558, 2014.
22. Srikanth, V., Laik, A., Dey, G. K. “Joining of Stainless Steel 304L With Zircaloy-4 by Diffusion Bonding Technique Using Ni and Ti İnterlayers”, *Materials & Design*, 126, 141-154, 2017.

23. alıgölü, U. “Ti6Al4V alaşımının gümüş aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Sayı 7(3), s.577-586, 2016.

