



Araştırma Makalesi / Research Article

304-430 Paslanmaz Çeliklerin Bakır Aratabaka Kullanılarak Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Kaynak Mukavemetinin Optimizasyonu

*Diffusion Welding of 304-430 Stainless Steels Using Copper Interlayer and Optimization of Weld Strength*Haluk Kejanlı^{1*}, M.Selçuk Keskin², Gamze Tosun³¹Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, kejanlih@dicle.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4987-6316>²Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, mseleuc.keskin@dicle.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6233-1807>³Artem Alüminyum A.Ş. gamzetosunn@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5140-015X>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 6 Aralık 2022
Revizyon 12 Ocak 2023
Kabul 16 Ocak 2023
Online 23 Mart 2023

AnahtarKelimeler:

Difüzyon Kaynağı 1, AISI 304 2,
AISI 430 3, Mikrosertlik 4, Taguchi
5, Anova 6.

ÖZ

Paslanmaz çelikler mimari yapılarda, inşaat, otomotiv, ulaşım, gıda ve medikal gibi birçok sektörde geniş bir kullanım ağına sahip bir malzemedir. Bu malzemelerin korozyon direncinin yüksek olması, bakım maliyetlerinin düşük olması, mükemmel süneklikleri, kırılmadan önemli darbeleri emebilmeleri ve estetik görüntü sunması bu malzemeleri cazip kılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin metalürjisi karmaşıktır ve üretim sürecinin nihai özellikleri üzerinde daha yüksek bir etkisi vardır. Üretim süreçlerinde kazandırılan bu özellikler, östenitik 304 kalite malzemeler kaynak yapılabirliği yüksek, 430 kalite ferritik paslanmaz çelikler ise kaynaklanma kabiliyetlerini azaltan etkiye neden olur. Bu çalışmada farklı kaynaklanma kabiliyetine sahip 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin katı faz difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği ve birleşmeye ara tabakanın etkisi araştırılmıştır. Numuneler 960, 980 ve 1000°C sıcaklıkta ve 45, 60 ve 75 dakika sürelerde, 1, 2 ve 3 MPa basınç altında atmosfer kontrollü fırında bakır ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynağı tekniğiyle birleştirilmiştir. Numunelerin kaynak bölgesi mikroskopla, incelenmiş ve difüzyon alanındaki bakır ara tabakanın ana malzemelere dağılımı gözlenmiştir. Malzemelerin mekanik mukavemetlerini belirlemek için mikro sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır, deneylerde Taguchi optimizasyon yöntemi ile Varyans (Anova) analizleri yapıp en etkili parametreler bulunmuş ve deneyin güvenilirlik seviyesi tespit edilme çalışılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 December 2022
Received in revised form 12
January 2023
Accepted 16 January 2023
Available online 23 March 2023

Keywords:

Diffusion Welding, AISI 304, AISI
430, Microhardness, Taguchi,
Anova.

Doi: 10.24012/dumf.1213890

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Stainless steels are a material with a wide range of uses in architectural structures, construction, automotive, transportation, food and medical sectors. The high corrosion resistance of these materials, low maintenance costs, excellent ductility, ability to absorb significant impacts without breaking and presenting an aesthetic appearance make these materials attractive. The metallurgy of stainless steels is complex and the manufacturing process has a higher impact on the final properties. These properties, which are gained in the production processes, cause the effect of reducing the weldability of austenitic 304 quality materials and 430 quality ferritic stainless steels. In this study, the jointability of 304 and 430 grade stainless steels with different weldability by solid phase diffusion welding and the effect of the interlayer on the bonding were investigated. The samples were joined by diffusion welding technique using a copper intermediate layer in an atmosphere-controlled oven at 960, 980 and 1000 °C and for 45, 60 and 75 minutes under 1, 2 and 3 MPa pressure. The source region of the samples was examined with a microscope and the distribution of the copper interlayer in the diffusion area to the base materials was observed. In order to determine the mechanical strength of the materials, microhardness and tensile tests were applied, Variance (Anova) analyzes were performed with the Taguchi optimization method and the most effective parameters were found and the reliability level of the experiment was tried to be determined.

Giriş

Paslanmaz çelikler, mimari yapılarda, inşaat, otomotiv, ulaşım, kimya, gıda ve medikal gibi birçok sektörde geniş bir kullanım ağına sahip bir malzemedir [1]. Sık kullanılan bu malzemelerin korozyon direncinin yüksek olması, bakım maliyetlerinin düşük olması ve estetik görüntü sunması bu malzemeleri cazip kılmaktadır [2], [3]. Paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, alaşım elementi olarak içerisinde en az %10,5 oranında krom bulundurmasıdır. Krom elementi malzemenin dış yüzeyinde oksijen ile birleşerek malzemenin dış yüzeyinde sürekli yenilenen bir oksit tabaka oluşturur ve malzemenin dış etkilere karşı deforme olmasını önlemektedir [4]-[6].

Paslanmaz çelikler içerisinde bulunan alaşım element oranları ve mikro yapısındaki kararlı fazlara göre kendi içlerinde gruplara ayrılmaktadır. Paslanmaz çelik grupları arasında en çok kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler arasında korozyon direnci, yüksek mukavemetli ve iyi kaynaklanabilme özelliklerinden dolayı AISI 304 östenitik paslanmaz çelik yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer bir paslanmaz çelik grubundan olan ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklere oranla maliyeti daha uygundur. Kolay şekil alabilme kabiliyetine sahip korozyona karşı iyi direnç göstermektedir [7]-[10]. Paslanmaz çeliklerin üstün özelliklerinin var olması kaynak edilebilme kabiliyetlerinin belirlenmesi konusunda birçok çalışmaya konu olmuştur. Paslanmaz çelikler difüzyon, lazer, TIG, MIG, sürtünme ve ark kaynağı gibi çeşitli yöntemlerle kaynak edilebilirliği mümkündür [7].

Gelişen teknoloji ve sanayinin bu taleplere cevap verebilmesi farklı tip malzemelerin birleştirilebilmesine olan ihtiyacı artmıştır [12] ve bu birçok çalışmaya konu olmuştur.

Guo ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 304 ve 430 paslanmaz çelik malzemelerini bakır ara tabakalı ve ara tabakasız olmak üzere hazırladıkları numuneleri sürtünme karıştırma kaynağını kullanarak başarıyla birleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bakır ara tabakalı numunelerin kesme yüklerinin %62 oranında ara tabakasız bağlantıdan yüksek olduğunu bildirmişlerdir [13]. Hajiannia ve ark. AISI 347 östenitik paslanmaz çelik ile A335 düşük alaşım malzemeler kullanılarak iki farklı dolgu metali seçilerek gaz tungsten ark kaynağı uygulanıp mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir [14]. Bilgin yapmış olduğu çalışmada Ti-6Al-4V ile 304L malzemeleri, Taşkın ve Ozan ise AISI430 ve AISI 1010 çeliklerini bakır ara tabaka kullanarak başarı ile difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir [15], [16]. Balasubramanian Ti-6Al-4V ve 304 paslanmaz çelik levhalarını gümüş ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirmiştir. İyi bir birleşim için sıcaklık değerini 700 ila 800 °C arasında tutulması gerektiğini belirtmiş. Malzemelerin bekleme sürelerinin 30 ila 90 dakika arasında tutulduğunda ise birleşimin rahatlıkla gerçekleşebildiğini ve dayanımlarının arttığını bildirmiştir [17]. Difüzyon kaynağı çok eskiden beri bilinmesine rağmen, özellikle son yıllarda uzay teknolojisinde, nükleer santrallerde ve elektronik sanayindeki hızlı gelişmeler, bu yöntemin kullanımını adeta zorlamıştır. Uçak sanayinde, askeri ve yolcu uçaklarının

uzun ve dayanıklı olan kanat parçalarında difüzyon kaynağına vardır. Soğuk hava depolarında, gaz dolmuş tesislerinde ve silah teknolojisinde de aynı yöntem kullanılmaktadır [18], [21], [22].

Bu çalışmada, AISI 304 ile AISI 430 paslanmaz çelikler 200µm kalınlığında bakır ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Malzemelere uygulanan difüzyon kaynağı, 960, 980 ve 1000 °C sıcaklıkta ve 45, 60 ve 75 dakika bekleme sürelerinde 1, 2 ve 3 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Kaynaklanan numunelere mikro sertlik ve çekme testleri uygulanmış sonuçlar optik mikroskopta analiz edilerek değerlendirilmiştir. Deneylerde Taguchi optimizasyon yöntemi ile Varyans (Anova) analizleri yapıp en etkili parametreler bulunmuş ve deneyin güvenilirlik seviyesi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada östenitik (304) ve ferritik (430) paslanmaz çelik levhalar farklı sıcaklık ve bekleme süreleri için difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ferritik AISI 430 ve östenitik AISI 304 paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (ağırlıkça %) [21].

	Fe	C	Si	Mn	Cr	S	P
AISI430	Kalan	≤0.12	0.4	0.4	17.0	≤0.03	≤0.04
AISI304	Kalan	≤0.06	0.32	1.38	18.4	≤0.03	≤0.04

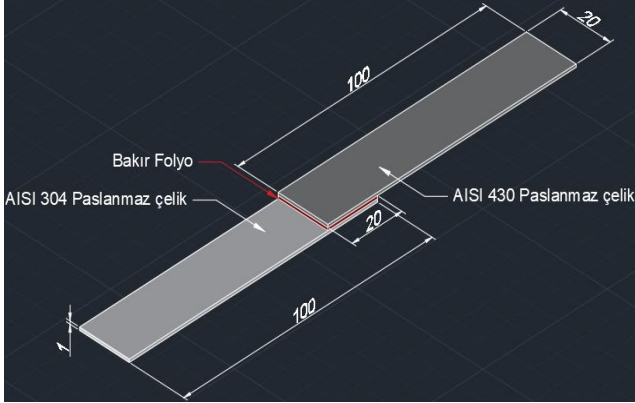
Difüzyon kaynağı için 1 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik levhalar; 20x100 mm boyutlarında lazer ile kesilmiştir. Malzemelerin yüzeyini kaynağa hazırlamak için 600, 800 ve 1000 grit'lik zımparalarla parlatılmış ve ardından aseton ile ultrasonik titreşim makinesiyle temizlenmiş daha sonra kuru hava ile kurutulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü gibi numunelerin arasına 20x20 mm ölçülerinde 200 µm kalınlığında %99.8 saflığında bakır ara tabaka bırakılarak difüzyon kaynağına hazır hale getirilmiştir. Difüzyon kaynak işlemleri, silisyum karbür çubuklu, homojen ısı dağılımlı ve argon gaz kontrollü fırına 3 lt/dak debide %99,9 saflıkta argon gazı gönderilerek gerçekleştirilmiştir.

Deney numunelerine 3 farklı basınç uygulanarak 45, 60 ve 75 dakikalık sürede 960-980 ve 1000 °C sıcaklıklarda kaynak işlemi uygulanmıştır. Numuneler fırın 350 °C'ye ininceye kadar fırın içerisinde gaz altında tutulmuş, daha sonra oda sıcaklığında soğuyuncaya kadar fırın dışında bekletilmiştir.

Mikroyapı incelemeleri

Difüzyon kaynak işleminden sonra birleştirilen malzemeler mikroyapı incelemeleri için ara tabaka yüzeyine dik doğrultuda kesilerek, ölçüm yapılacak yüzey 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 grit'lik SiC zımpara ile su altında zımparalanmıştır. Sırasıyla 6 ve 3 mikron elmas pasta ile parlatılan numunelerin yüzeyleri alkol ile yıkanıp

sonra hava ile kurutulmuştur. Mikroskobik incelemeye hazır hale getirilen numuneler, hazırlanan FeCl_3 8.5 gr, CuCl_2 2.4 gr, alkol 122 ml, HCl 122 ml ve HNO_3 6 ml çözeltisinde 20 saniye bekletilerek dağlanmıştır.



Şekil 1. Difüzyon kaynağı yapılacak numunenin şematik görüntüsü.

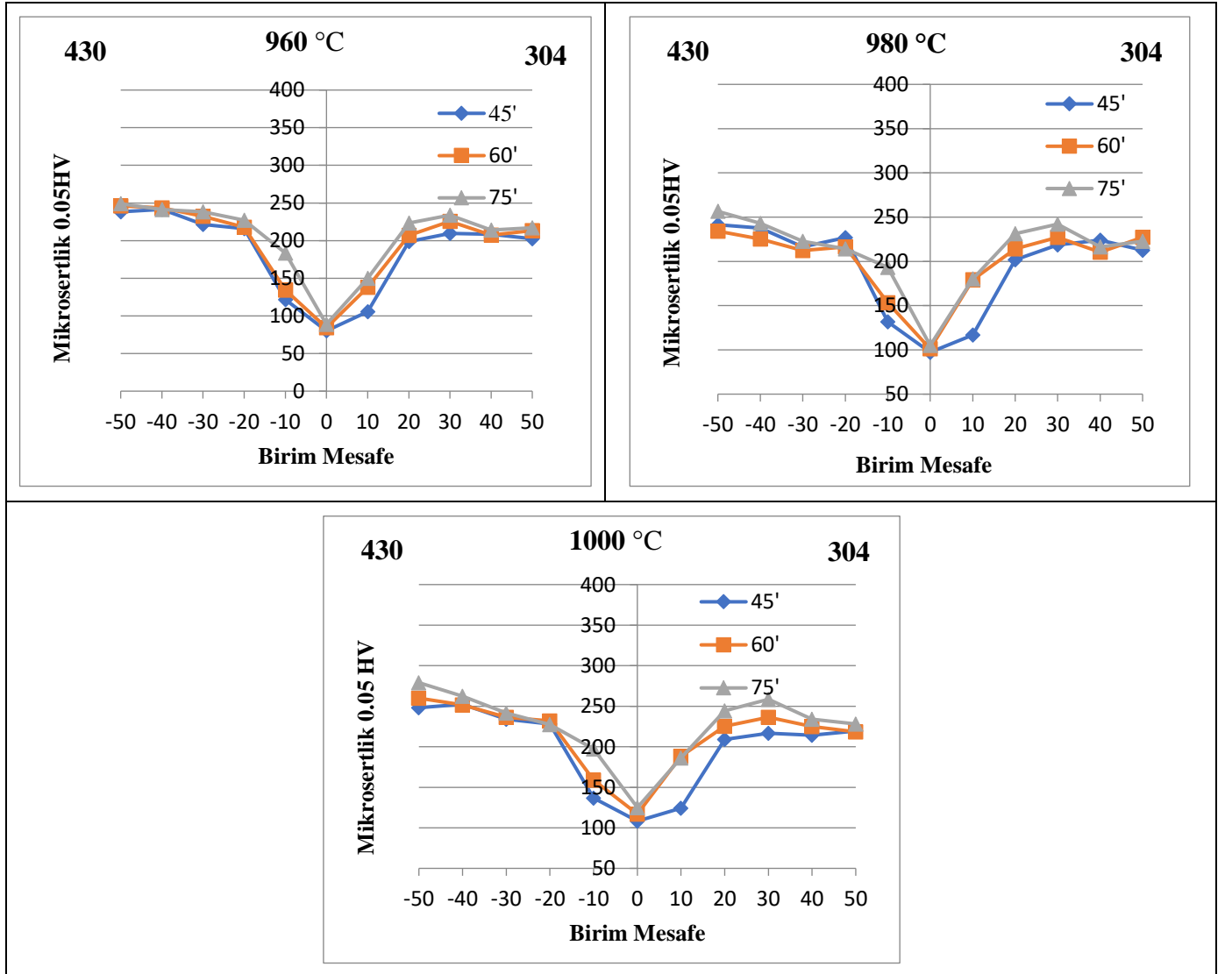
Deneysel Sonuçlar

Mikro Sertlik Deney Sonuçları

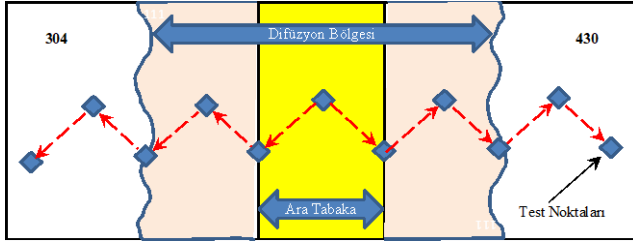
Difüzyon kaynağı ile birleştirilen bakır ara tabakalı numunelerin, 960, 980 ve 1000 °C'de sıcaklık ve 45, 60 ve 75 dakika bekleme sürelerine ait sertlik değişim grafikleri Şekil 2'de verilmiştir.

Vickers Sertliği (HV), girinti tarafından bırakılan izlenimin diyagonal uzunluklarının optik olarak ölçülmesiyle hesaplanmıştır. Bu yöntemle ölçüm, 50 gr yükün 10 saniye uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 11 ayrı noktadan difüzyon yayınımları farklı olduğu için birim uzaklıklar değeri dikkate alınarak sertlik ölçümleri alınmıştır (Şekil 3).

Kaynaklı numunelerin mikro sertlik ölçüm grafikleri incelendiğinde tüm sıcaklık ve bekleme sürelerinde ara tabakadan ana metal malzemelerine gidildikçe sertlik değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Bakır ara tabakasında en yüksek sertlik değeri 1000 °C sıcaklıkta 75 dakikada birleştirilen numunede 125 HV olarak bulunmuştur.



Şekil 2. Mikrosertlik grafikleri.



Şekil 3. Mikrosertlik ölçüm bölgelerinin şematik görünüşü.

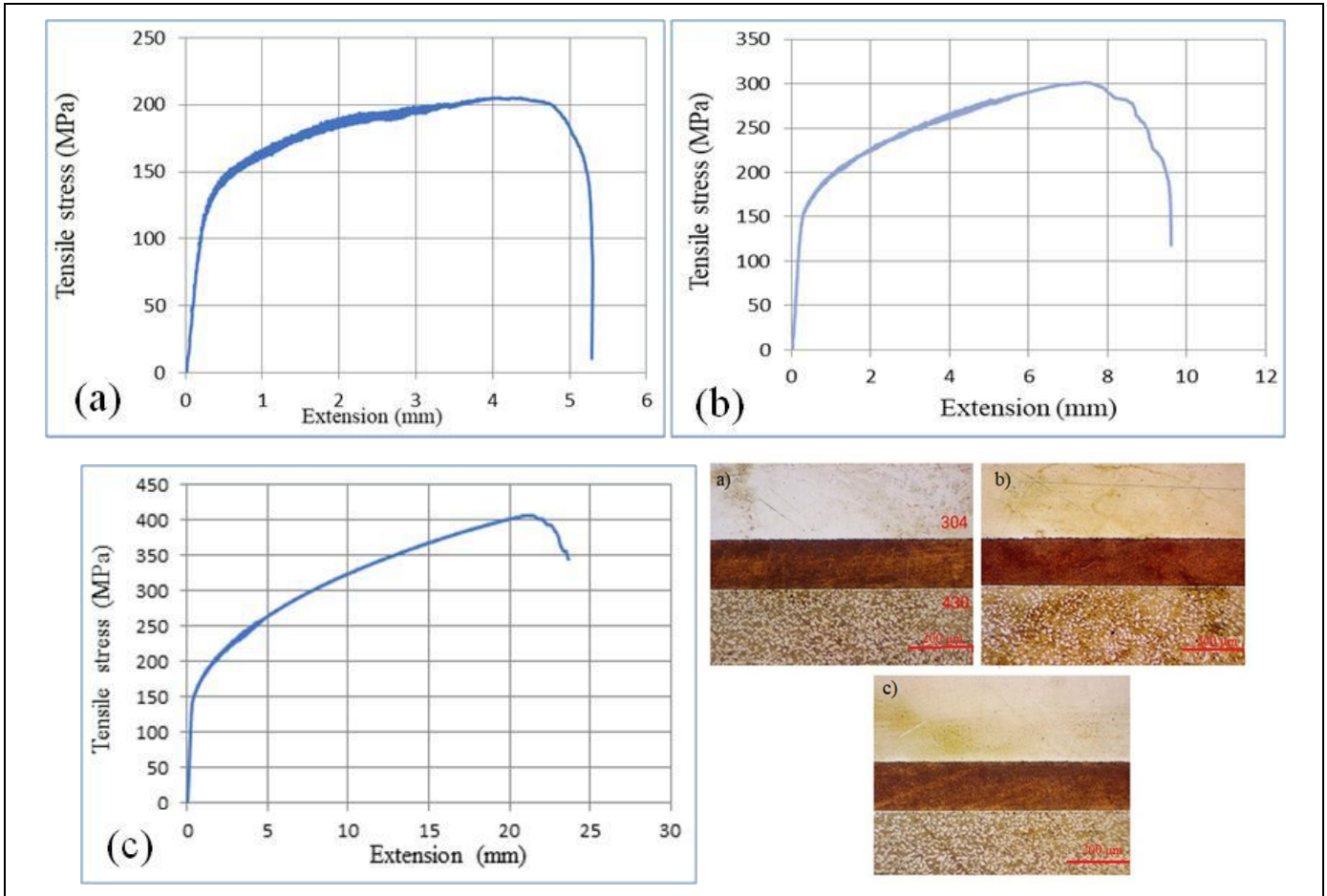
En yüksek sertlik değeri 304 malzemede 1000 °C sıcaklıkta 75 dakikada birleştirilen numunede 258.5 HV, 430 paslanmaz çelik tarafında ise en yüksek sertlik değeri 1000 °C sıcaklıkta 75 dakika bekleme süresindeki numunede 279 HV olarak ölçülmüştür.

Çekme Testi Sonuçları

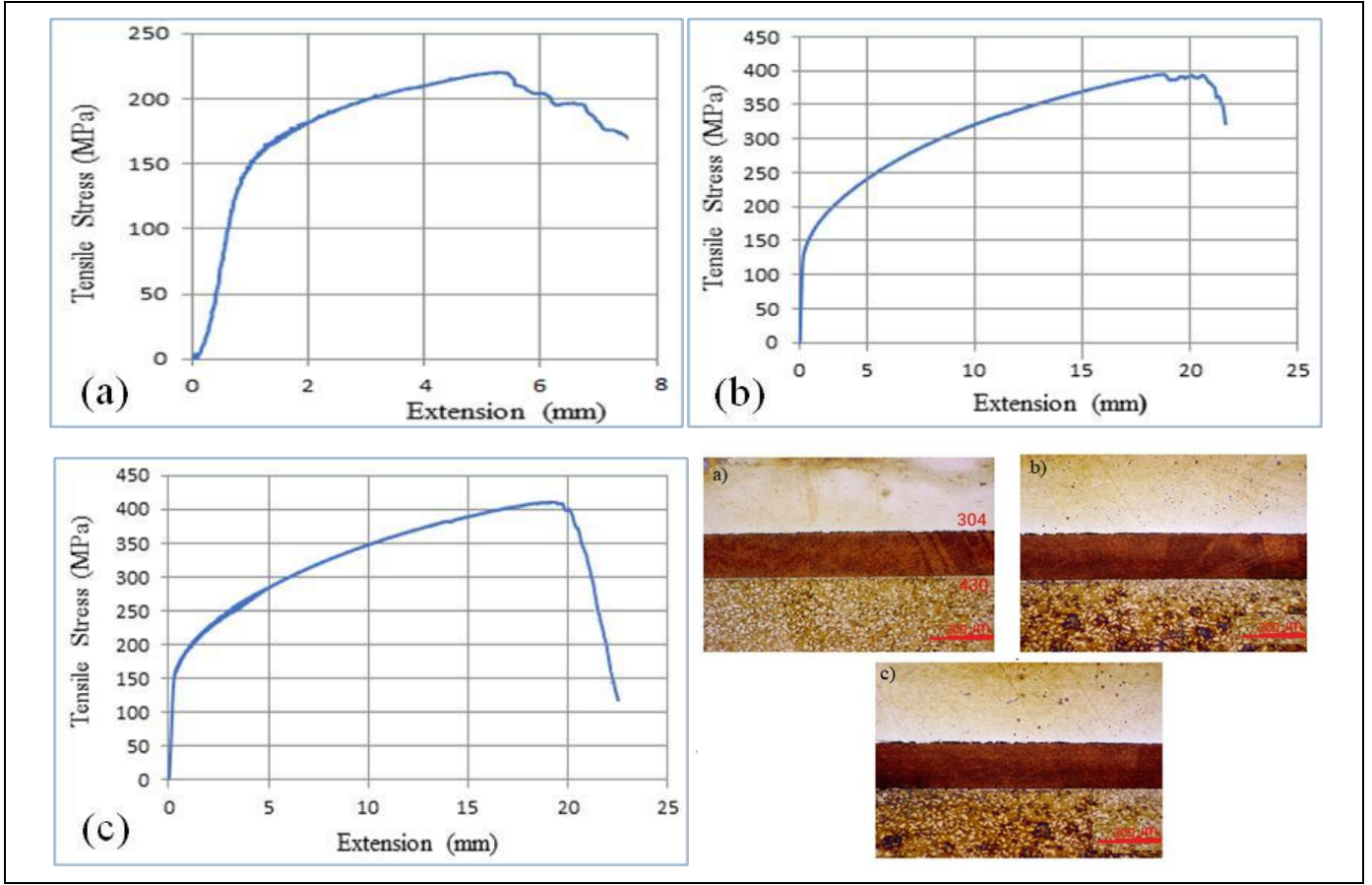
Kaynaklı numunelerin çekme deneyleri Dicle Üniversitesi Merkez Laboratuvarında Instron BS 8800 marka 100kN kapasiteli çekme test cihazında, oda sıcaklığında 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Difüzyon kaynak parametreleri ve çekme deney sonuçları.

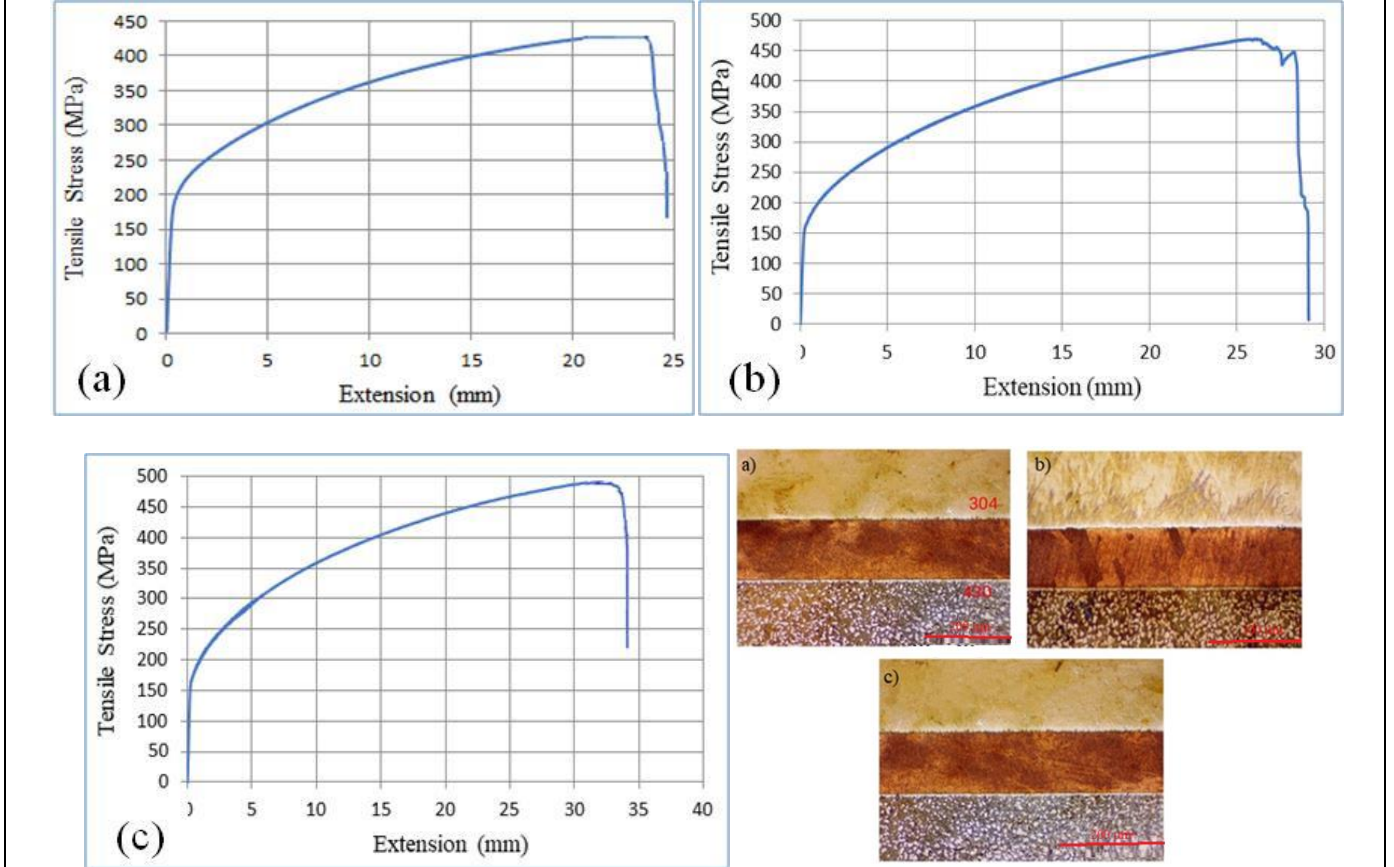
Numune No	Difüzyon Sıcaklığı (°C)	Süre (Dakika)	Basınç (MPa)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)
1	960	45	1	205.347
2	960	60	2	301.407
3	960	75	3	406.596
4	980	45	2	220.578
5	980	60	3	395.332
6	980	75	1	412.221
7	1000	45	3	427.046
8	1000	60	1	469.946
9	1000	75	2	491.582



Şekil 3. 960 °C de birleştirilen numunelerin çekme grafikleri ve mikroyapı görüntüleri; a) 45 dk 1 MPa, b) 60 dk 2 MPa, c) 75 dk 3 MPa.



Şekil 4. 980 °C de birleştirilen numunelerin çekme grafikleri ve mikroyapı görüntüleri;
 a) 45 dk 2 MPa, b) 60 dk 3 MPa, c) 75 dk 1 MPa.



Şekil 5. 1000 °C'de birleştirilen numunelerin çekme grafikleri ve mikroyapı görüntüleri;
 a) 45 dk 3 Mpa, b) 60 dk 1 MPa, c) 75 dk 2 MPa.

960°C sıcaklıkta, 45 dakikada bekleme süresinde birleştirilen numune (Şekil 3.a) 150.47 MPa yükte akmaya başlayıp 205.347 MPa yükten sonra maksimum çekme değeri vermiş ve malzeme 5.5 mm uzama göstererek kopmuştur. 60 dakikada birleştirilen kaynaklı numune (Şekil 3.b) 179.73 MPa yükte akmaya başlayıp 301.407 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 9,8 mm uzama göstermiştir. 75 dakikada birleştirilen numune (Şekil 3.c) 23 mm uzama göstererek, 166 MPa yükte akmaya başlayıp 406.596 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur.

980°C sıcaklığında ve 45 dakika bekleme süresinde birleştirilen kaynaklı numune (Şekil 4.a) 173 MPa yükte akmaya başlayıp 220.578 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 6.7 mm uzama göstermiştir. 60 dakikada hazırlanan kaynaklı numune ise (Şekil 4.b) 153.44 MPa yükte akmaya başlayıp 395.332 MPa yükten sonra maksimum çekme göstererek kopmuştur. Ayrıca kaynaklı malzeme 21.8 mm uzama göstermiştir. 75 dakikada kaynaklanan numune (Şekil 4.c) 179 MPa yükte akmaya başlayıp 412.221 MPa yükten sonra malzeme 23.8 mm maksimum uzama göstererek kopmuştur.

1000 °C sıcaklığında ve 45 dakikada birleştirilen numune (Şekil 5.a) 207.77 MPa yükte akmaya başlayıp 427.047 MPa yükten sonra maksimum çekme ve 24.96 mm uzama göstererek kopmuştur. 75 dakikada hazırlanan numune (Şekil 5.c) 182.10 MPa yükte akmaya başlayıp 491.582 MPa maksimum çekme göstermiştir. Ayrıca bu numune 34 mm uzama göstermiştir. Yapılan tüm deney numuneler incelendiğinde en yüksek çekme dayanımı ve uzama oranı bu deney parametresinde elde edilmiştir. 1000 °C sıcaklığında ve 60 dakikada hazırlanan numune (Şekil 5.b) 180.40 MPa yükte akmaya başlayıp 469.946 MPa yükten sonra maksimum çekme ve 29 mm uzama göstererek kopmuştur.

Deneylerin Taguchi Optimizasyon Yöntemi ile İrdelenmesi

Bu çalışmada Taguchi optimizasyon yönteminin kullanılma nedeni 304-Cu-430 malzemeleri difüzyon kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesinde, kaynağı etkileyecek faktörlerin bağlı etkisini belirlemektir. Bu çalışmada difüzyon kaynak sıcaklığı, bekleme süresi ve basınç deney parametreleri olarak seçilmiştir. Her deney parametresine bağlı 3 seviye bulunmakta ve deneyin gerçekleştirilmesi için $3^3 = 27$ tane deneyin yapılması gerekmektedir. Ama Taguchi yönteminde L9 ortogonal dizisi (Tablo 3) seçildiğinde bu deney sayısı 9'a düşmüş bu da daha az maliyet ve sürelerde deneylerin gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Yapılan deneysel tasarım çalışmaları ile gerçekleştirilen çekme test sonuçları (Tablo 2) kullanılarak Minitab 18 programında S/N ve Anova analiz çalışmaları yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Taguchi L9 deneysel tasarım çalışma tablosu.

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

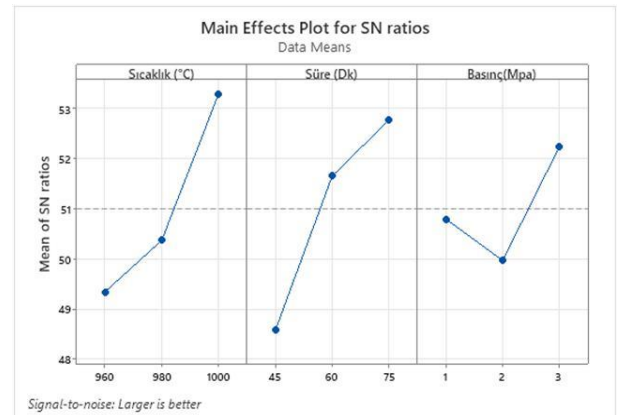
Sinyal/Görüntü (S/N) Oranlarının Elde Edilmesi

Taguchi optimizasyonu, difüzyon kaynak parametrelerden en etkili olanı belirlemek için kullanılır. Bu nedenle Sinyal/Görüntü (S/N) oranı kullanımı, en iyi sonucu veren kaynak parametrelerini belirlenebilmesinde etkili olacaktır [19]. Bu çalışmada her bir deney numunesine ait çekme mukavemet değerleri elde edildikten sonra Minitab 18 programında Tablo 4'de gösterildiği üzere S/N oranlarının değerleri elde edilmiş ve Varyans analiz çalışmaları yapılmıştır. S/N oranı 3 farklı şekilde oluşturulabilmektedir. Biz bu çalışmada optimum proses parametrelerini bulabilmek için S/N oranlarından, "en yüksek en iyi" durum (larger is beter) tercih edilmiştir.

Tablo 4. Sinyal/Görüntü (S/N) performans değerlerinin her bir parametre için gösterilmesi.

Seviye	Sıcaklık (°C)	Süre (Dakika)	Basınç (MPa)
1	49.34	48.58	50.79
2	50.37	51.65	49.97
3	53.29	52.77	52.24

Tüm parametreler değerlendirildiğinde S/N oranının en yüksek en iyi durum değerlerine göre yapılan çalışmayla Tablo 3'deki verilerden Şekil 6'da gösterilen grafik elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında en iyi kaynak parametresinin 1000 °C sıcaklıkta, 75 dk bekleme süresi ve 3 MPa basınç olduğu ve bu parametreler dikkate alınıp kaynak işlemi gerçekleştirildiğinde en iyi sonucun elde edileceği belirlenmiştir.



Şekil 6. Çekme Mukavemeti için Taguchi deney dizaynında S/N performans grafiği.

Varyans Analizi (Anova)

Deneysel çalışmada Anova kullanılmasının asıl nedeni, kaynak kalitesine etki eden parametrelerini incelemektir. Varyans analizi matematiksel bir metoda sahiptir ve bu analiz ile kaynak işleme parametrelerinden hangilerinin kaynak kalitesine en çok etki ettiğini ya da hangi parametrelerin anlamlı (doğru) sonuç verdiğini tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Taguchi yöntemi ile gerçekleştirilen Varyans analiz çalışmasının sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Difüzyon kaynağında en etkili parametre %47.70 oranına sahip olan sıcaklıktır. Ardından %42.45 oranıyla süre ve %8.39 oranıyla basınç faktörü gelmektedir.

Tablo 5. Varyans Analiz Sonuçları.

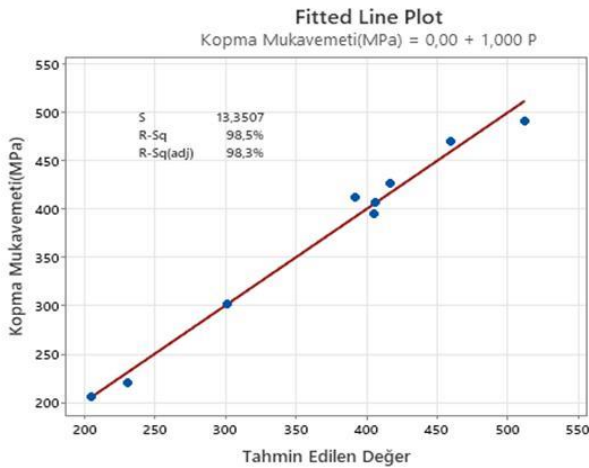
Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler Toplamı	% Etki Oranı	P Değeri
Sıcaklık (°C)	2	40993	20496.3	47.70	0.030
Süre (Dk)	2	36479	17163.1	42.45	0.035
Basınç (MPa)	2	7213	3606.4	8.39	0.147
Hata	2	1248	623.8	1.45	
Toplam	8	85932		1.00	
R-Sq= %98.55		R-Sq(adj)= %94.19			

Çekme mukavemeti için Regresyon analizi: Belirtilen seviyedeki parametreler için çekme mukavemetlerinin yaklaşık değerlerinin bulunması için Tablo 6’da polinom denklemi oluşturulmuştur.

Tablo 6. Regresyon polinom denklemi.

Çekme Mukavemeti	=	370.01-65,6 Sıcaklık (°C)_960
		-27.3 Sıcaklık (°C)_980
		+92.9 Sıcaklık (°C)_1000
		-87.5 Süre (Dk)_45
		+23.2 Süre (Dk)_60
		+62.5 Süre (Dk)_75
		-13.4 Basınç (MPa)_1
		-26.2 Basınç (MPa)_2
		+39.7 Basınç (MPa)_3

Difüzyon kaynak sıcaklığı, bekleme süresi ve basınç parametreleri için Şekil 7’de olasılık grafiği oluşturulup, düz çizgi boyunca dağılmış ve %95 güven seviyesinin üstünde çalışılmış olup % 98.55 oranı elde edilmiştir.



Şekil 7. Çekme mukavemeti için olasılık grafiği.

Deneysel Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada östenitik AISI 304 ve ferritik AISI 430 paslanmaz çelik çifti 200 µm kalınlığında bakır aratabaka kullanılarak argon gazı atmosferinde sabit basınç altında 960, 980 ve 1000 °C sıcaklık, 45, 60 ve 75 dakika sürelerde difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin içyapıları optik mikroskop ile incelenmiş mekanik özelliklerini belirlemek için de çekme ve mikro sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak deney sayı vedizin sıralamaları belirlenmiş, S/N ve Varyans (Anova) analiz çalışmaları yapılmış, deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Sertlik test sonuçları incelendiğinde; aratabakadan uzaklaştıkça sertlik değerlerinde artışın olduğu gözlemlenmiştir. 304-430 paslanmaz çelik çiftinde en yüksek sertlik değeri 430 tarafında 1000 °C 2 MPa basınç ve sıcaklıkta 75 dakika kaynaklanmış numunede 279 HV olarak ölçülmüştür.
- Tüm deney numunelerinde artan sıcaklık ve bekleme sürelerinde malzemelerin çekme dayanımlarında artışın gerçekleştiği belirlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı 1000 °C sıcaklığında 2 MPa basınç ve 75 dakika bekleme süresinde 491.582 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük çekme dayanımı ise 960 °C’de 2MPa basınç ve 45 dakika bekleme süresinde birleştirilen numunede 205.347 MPa olarak ölçülmüştür.
- En yüksek % uzama 1000 °C sıcaklıkta 2 MPa basınç ve 75 dakika bekleme süresinde kaynaklanan numunede 34 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca tüm deney numunelerinin kaynak bölgesinden ayrılmıştır.
- Taguchi deney tasarımı ile optimizasyon yapılarak, uygulanmış olan çözümlerinde 27 deney sayısı yerine, 9 deney yapılarak zamandan ve maliyetten büyük oranda tasarruf edilmiştir.
- S/N performans grafiği incelendiğinde en iyi kaynak parametresinin 1000 °C sıcaklıkta, 75 dk bekleme süresi ve 3 MPa basınç altında kaynağın en iyi sonucu vereceği belirlenmiştir.
- Çekme mukavemeti için gerçekleştirilen Varyans (Anova) analizinde en etkili parametreler sırasıyla; difüzyon kaynak sıcaklığı %47.70. %42.45 bekleme süresi ve %8.39 oranlarında basınç faktörü etkili olmuştur ve hata payı %1.45 olduğu belirlenmiştir.
- Difüzyon kaynak sıcaklığı, bekleme süresi ve basınç parametreleri için olasılık grafiği oluşturulup, düz çizgi boyunca dağılmış ve %95 güven seviyesinin üstünde %98.55 oranı elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] S. Detriche, et al., “XPS fast depth profile of the native oxide layers on AISI 304, 316 and 430 commercial stainless steels and their evolution with time,” *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 243, pp.146970, 2020.

- [2] Y. Chen, et al., "Experimental study on seismic behavior of welded H-section stainless steel beam-columns", *Engineering Structures*, 259, pp.114105, 2022.
- [3] N.R. Baddoo, "Stainless steel in construction: a review of research, applications, challenges and opportunities", *Journal of Constructional Steel Research*, 64 (11) pp. 1199-1206, 2008.
- [4] A. Aran, M. A. Temel, *Paslanmaz Çeliklerin Üretimi, Kullanımı, Standartları*, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, (2004). İstanbul: Acar Matbaacılık A.Ş.
- [5] H. Uzun, "Paslanmaz Çeliğin Fiber Lazerle Kesilmesinde İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu," Karabük Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2019.
- [6] G. Güç, "Lazer Kaynak İle İşlenmiş Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi," İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2021.
- [7] Y. Kaya, "AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25. 549-557, 3, 2010.
- [8] M., Taskin, U., Caligülü, M., Türkmen, "X-Ray Tests of AISI 430 and 304 Stainless Steels and AISI 1010 Low Carbon Steel Welded by CO₂ Laser Beam Welding", *Materials Testing*, 53 (11-12), 741-747, 2011. DOI: 10.3139/120.110283
- [9] U., Caligülü, M., Taskin, H., Kejanlı and Orhan, A., "Interface characterization of CO₂ laser welded austenitic stainless steel and low carbon steel couple", *Industrial Lubrication and Tribology*, 64(4), 196-207, 2012. DOI: 10.1108/00368791211232744
- [10] U. Çaligülü, "AISI 304-430 paslanmaz-AISI 1010 çelik çiftlerinin lazer yöntemi ile kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi," Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, Elazığ, 2009.
- [11] B. Szwed, M. Konieczny, "Evaluation of corrosion resistance of titanium/stainless steel diffusion joints bonded by interlayer's made of pure metals," *Materials Science and Engineering*, Vol. 461. No:1., IOP, Publishing, 2018.
- [12] H. Kejanlı, "Diffusion welding of stainless steel 304L/Monel K-500 composite materials produced with different methods," *Advanced Composites Letters*. January, 2020.
- [13] G. Guolin, et al., "Interfacial properties of friction stir lap welded 430/304 stainless steels using Cu interlayer," *Materials Letters*, 284, 129027, 2021.
- [14] I. Hajiannia, M. Shamanian, M. Kasiri, "Microstructure and mechanical properties of AISI 347 stainless steel/A335 low alloy steel dissimilar joint produced by gas tungsten arc welding", *Mater Des*, 50 pp, 566-573, 2013.
- [15] W. P. Risk, G. S. Kino, and H. J. Shaw, "Fiber-optic frequency shifter using a surface acoustic wave incident at an oblique angle," *Opt. Lett.*, vol. 11, no. 2, pp. 115-117, Feb. 1986.
- [16] M. Taşkın, S. Ozan, "AISI 430-AISI 1010 çelik çiftinin Cu aratabaka kullanılarak yapılan TLP difüzyon kaynağında sıcaklığın birleştirmeye etkisinin araştırılması," *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 2. 3: 180-184, 2004.
- [17] M. Balasubramanian, "Characterization of diffusion-bonded titanium alloy and 304 stainless steel with Ag as an interlayer," *Int J Adv Manuf Technol*, 82:153-162. 2016.
- [18] S. Çelik, İ. Ay, "Koruyucu Gaz Altında Difüzyon Kaynağı ve Uygulaması," *Tr. J. of Engineering and Environmental Science*, 23, 63 - 70, 1999.
- [19] H. Kejanlı, M. Avcı, "T/M yöntemiyle üretilmiş Mg-Ti alaşımının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesine aratabakanın etkisi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9 (1), 279-289, 2018.
- [20] T. Osmanoğlu, "AISI 304 VE 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [21] M. Konar, "DP600 - 8XXX serisi alüminyum alaşımının CMT tekniği ile birleştirilebilirliğinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [22] I., Kirik, N., Ozdemir, E. H. Fırat, and U., Caligülü, "Optimization of Tensile Strength of Friction Welded AISI 1040 and AISI 304L Steels According to Statistics Analysis (ANOVA)", *Materials Testing*, Vol. 55, 06/2013, pp. 435-441, 2013. DOI: 10.3139/120.110455