



**Anıl İmak**

Bingöl University, aimak@bingol.edu.tr, Bingöl-Türkiye

**İhsan Kırık**

Bingöl University, alihsankirik@gmail.com, Bingöl-Türkiye

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2023.18.2.2A0191">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2023.18.2.2A0191</a>	
ORCID ID	0000-0001-6091-1584	0000-0002-8361-319X
Corresponding Author	Anıl İmak	

**AISI 2205 VE AISI 8640 ÇELİK ÇİFTİNİN SÜRTÜNME SAPLAMA KAYNAĞI İLE  
KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Öz**

Kimyasal bileşimleri farklı olan malzemelerin birleştirilmelerinde katı hal kaynak yöntemleri en yaygın kullanılan yöntemdir. Geleneksel kaynak yöntemleriyle birleştirilemeyen malzemeler sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Bu çalışmada dubleks paslanmaz çelik AISI 2205 ve AISI 8640 çeliği sürtünme saplama kaynağı ile farklı parametrelerde birleştirilmiştir. 1800 ve 2200rpm devir sayısı, 3 ve 5sn sürtünme süresi, 50 MPa sürtünme basıncı, 80MPa yığma basıncı ve 12sn yığma süresi parametreleri kullanılmıştır. Birleştirilen numunelerin kaynaklı bölgelerinin mikroyapı analizleri için optik, SEM ve EDS analizleri ve mikrosertlik incelemeleri yapılmıştır. 1800rpm devir sayısı ve 3sn sürtünme süresi ile birleştirilen S1 nolu numunede en yüksek sertlik değeri 605HV elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilen numunelerde herhangi bir boşluk, çatlak veya bağlantısız bölge olmadan birleşmenin gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dubleks Paslanmaz Çelik, Mikroyapı,  
AISI 8640, Sürtünme Saplama Kaynağı,  
AISI 2205

**INVESTIGATION OF THE WELDABILITY OF AISI 2205 AND AISI 8640 STEEL  
COUPLE BY FRICTION STUD WELDING**

**ABSTRACT**

Solid state welding methods are the most widely used method for joining materials with different chemical compositions. Materials that cannot be joined by conventional welding methods can be joined by friction welding. In this study, duplex stainless steel AISI 2205 and AISI 8640 steel were joined together using friction stir welding with different parameters. 1800 and 2200 rpm speed, 3 and 5sec friction time, 50 MPa friction pressure, 80MPa heap pressure and 12sec pile time parameters were used. Optical, SEM and EDS analyzes were performed for the microstructure analyzes of the welded regions of the joined samples, and microhardness analyzes were performed. In the S1 sample, which was joined with 1800rpm rotation speed and 3 seconds friction time, the highest hardness value of 605HV was obtained. As a result of this study, it was discovered that the bonding occurred without any gaps, cracks, or defects in the samples joined using friction stud welding.

**Keywords:** Duplex Stainless Steel, Microstructure, AISI 8640,  
Friction Stud Welding, AISI 2205

**How to Cite:**

İmak, A. ve Kırık, İ., (2023). AISI 2205 ve AISI 8640 Çelik Çiftinin Sürtünme Saplama Kaynağı İle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması. Technological Applied Sciences, 18(2):9-17. DOI:10.12739/NWSA.2023.18.2.2A0191.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AISI 2205 çeliği, duplex çelik olarak bilinen bir çelik türüdür. Bu çelik türü, hem ferritik hem de östenitik yapıya sahip olmalarının yanı sıra yüksek mukavemet, dayanıklılık ve korozyon direnci gibi özelliklere sahiptirler. AISI 2205 çeliği, genellikle sualtı uygulamaları, gemi inşaatı ve gıda endüstrisi gibi alanlarda kullanılır. AISI 8640 çeliği ise yüksek mukavemetli, düşük alaşım çeliklerinden biridir ve genellikle yüksek mukavemetli dişli parçaları, çekiçler ve diğer yüksek mukavemetli mekanik parçalar için kullanılır. AISI 8640 çeliği, düşük karbon ve perlitik yapıya sahiptir aynı zamanda yüksek mukavemet, düşük darbe dayanımı ve iyi kaynak dikişi özellikleri gibi mekanik özelliklere sahiptir. Kimyasal bileşimleri farklı olan malzemelerin birleştirilmelerinde katı hal kaynak yöntemleri en yaygın kullanılan yöntemdir. Geleneksel kaynak yöntemleriyle birleştirilemeyen malzemeler sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Sürtünme kaynağı günümüzde birçok endüstri sektöründe tercih edilmektedir. Sürtünme kaynak yönteminde kaynak hatası düşük ve sınırlı ergime olayı yoktur. Hem teknik açıdan hem de ekonomik bir yöntem olmasından dolayı paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9]. Sürtünme kaynağı işleminde aynı çapta malzemeler birbiriyle her iki malzemenin de flanş oluşumuyla kaynak edilmektedir. Fakat sürtünme saplama kaynağında ise sabit olan malzemenin çapı büyük olup, büyük çaptaki malzemede flanş oluşmamakta, dönel hareketle karşı tarafta olan ve sabit olan malzemeye göre küçük çapta olan malzeme belirli uç uçlarında diğer malzeme içine saplanarak birleşme olmaktadır.

Literatürde sürtünme kaynağı yönteminde kullanılan parametrelerin uygunluğu ve farklı kimyasal bileşimlere sahip malzemelerin birleştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır ve devam etmektedir. Aditya ve arkadaşları AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğinin kaynak davranışları üzerine genel bir bilgi içeren çalışma hazırlamıştır [10]. Kırık, Ti6Al4V ile AISI 2205 çeliğini Ni ara tabaka kullanarak sürtünme kaynağı ile birleştirmiştir [5]. Deneysel sonuçlar neticesinde Ni ara katman kullanarak Ti6Al4V ile AISI 2205'in birleştirilebileceğini aynı zamanda dönme hızı ve sürtünme basıncının artmasıyla çekme mukavemetinde de artış olduğunu gözlemlemiştir. Mercan ve arkadaşları AISI 2205 ve AISI 1020 çeliğinin sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilirliğini incelemişlerdir [6]. AISI 2205 ve AISI 1020 çelik çiftlerinin kaynak parametrelerine bağlı olarak mekanik ve mikroyapı özelliklerinin değiştiğini ve kaynak kalitesini arttırmak için uygun parametrelerin seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Mercan ve arkadaşları sürtünme kaynağı ile birleştirdikleri AISI 2205 ve AISI 1020'nin yorulma davranışları üzerinde kaynak parametrelerinin etkisini incelemişlerdir [11]. Optimum kaynak parametre seçilmesi durumunda iyi yorulma dayanımı elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Parametre seçiminin önemli olduğundan ve mikro yapı ile mekanik özelliklere olan etkisinden Sarsılmaz ve arkadaşları da belirtmişlerdir [12]. Batı ve arkadaşları AISI 304 ve AISI 8640 çeliklerinin sürtünme kaynağını çalışmışlardır [13]. Kaynak parametreleri sürtünme basıncı 50MPa, dönüş hızı 1800dev/dak ve sürtünme süresi 2, 4, 6, 8 ve 10sn olarak seçmişlerdir. Kaynak bağlantılarının mikroyapı incelemeleri neticesinde herhangi bir soruna rastlamadıklarını kusursuz bağlantıların olduğunu rapor etmişlerdir. Satyanarayana ve arkadaşları östenitik-ferritik paslanmaz çelik çiftini sürtünme kaynağı ile birleştirmişler [14]. Kaynak parametrelerinin mekanik ve mikroyapı özellikleri ile kırılma davranışına olan etkilerini araştırmışlardır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada sürtünme saplama kaynağı ile AISI 2205 ve AISI 8640 çelikleri farklı sürtünme devri (1800 ve 2000rpm) ve sürtünme süresine (3sn ve 5sn) göre birleştirilmiş ve kaynak parametrelerinin bağlantıların mikroyapısı ve mikrosertliği üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, AISI 2205 ve AISI 8640 çelikleri katı hal kaynak metotlarından biri olan sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilmiştir. Sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilen numunelerin mikroyapılarını incelemek için SEM, EDS ve optik mikroskopu analizleri ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

### Önemli Noktalar (Highlights):

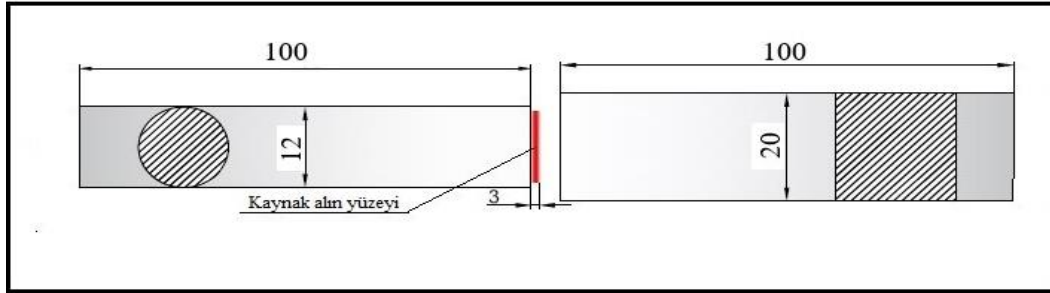
- Numunelerin kaynaklı bölgelerinde herhangi bir kusura rastlanılmamıştır.
- Kaynaklı birleşim bölgelerinde sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir.
- Sürtünme saplama kaynağında çapı küçük olan malzemede flans oluşmaktadır.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Bu çalışmada kullanılan AISI 2205 ve AISI 8640 çelikleri ticari olarak temin edilmiştir. AISI 8640 çeliği 20x20x100mm kare profil olarak, AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği ise Ø12x100mm çubuk olarak temin edilmiştir. AISI 2205 ve AISI 8640 çeliklerinin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri  
(Table 1. Chemical compositions of the materials used)

Malzeme	Elementler (%)											
	Si	C	P	Mn	Cr	S	Ni	Mo	W	Cu	V	Fe
AISI 8640	0.244	0.407	0.024	0.721	0.52	0.017	0.455	0.162	0.03	0.097	0.004	Kalan
AISI 2205	0.309	0.018	0.026	1.686	22.33	0.003	4.932	3.379	x	x	x	Kalan



Şekil 1. AISI 2205 ve AISI 8640 çeliklerinin sürtünme saplama kaynağı şematik gösterim

(Figure 1. Schematic representation of friction stud welding of AISI 2205 and AISI 8640 steels)

Kaynak ile birleştirilecek olan ve alın yüzeyleri temizlenen numuneler Tablo 1'de verilen parametrelere göre tarafımızca tasarım ve imalatı yapılan sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinasında Şekil 1'de şematik resmi gösterilen düzende AISI 2205 ve AISI 8640 çeliklerinin sürtünme saplama kaynakları yapılmıştır. Tablo 2'de verilen parametrelere göre sürtünme saplama kaynağı yapılan numunelerin mikroyapılarını incelemek için numuneler kaynaklı bölgesine dik doğrultuda kesilmiştir. Kesilen yüzeyler 80-120 mesh zımpara ile zımparalanmış ve ardından yüzeylerin parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi sonrasında optik, SEM (Scanning Electron Microscope) ve EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) analizleri

için parlatılan yüzeylerin dağlama işlemi yapılmıştır. Numunelerin optik ve mikrosertlik analizleri AOB marka mikrosertlik cihazı 1mm aralıklarla 20gr yük ile Vickers (HV) olarak, SEM ve EDS analizleri ise JEOL JSM 6510 marka cihazda yapılmıştır.

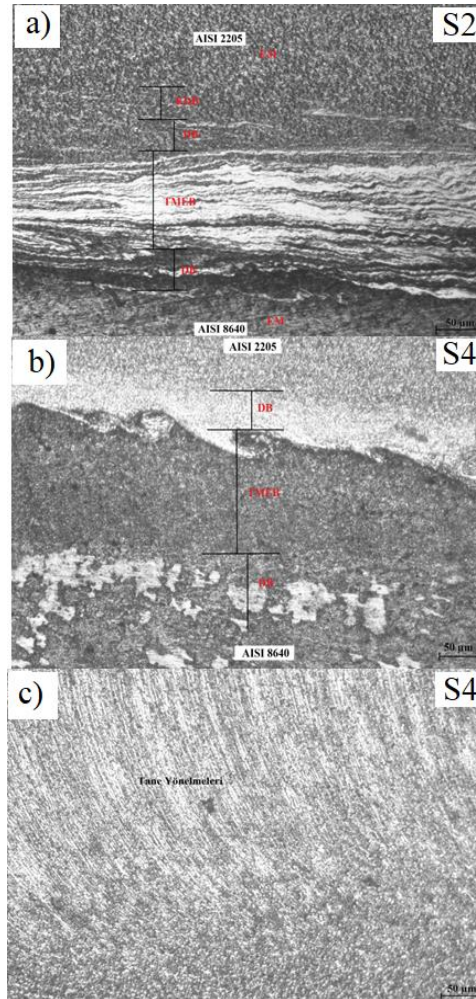
Tablo 2. Sürtünme saplama kaynak parametreleri  
(Table 2. Friction stud welding parameters)

Numune No	Devir Sayısı (rpm)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Sürtünme Süresi (sn)	Yığma Basıncı (MPa)	Yığma Süresi (sn)
S1	1800	50	3	80	12
S2	1800	50	5	80	12
S3	2200	50	3	80	12
S4	2200	50	5	80	12

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

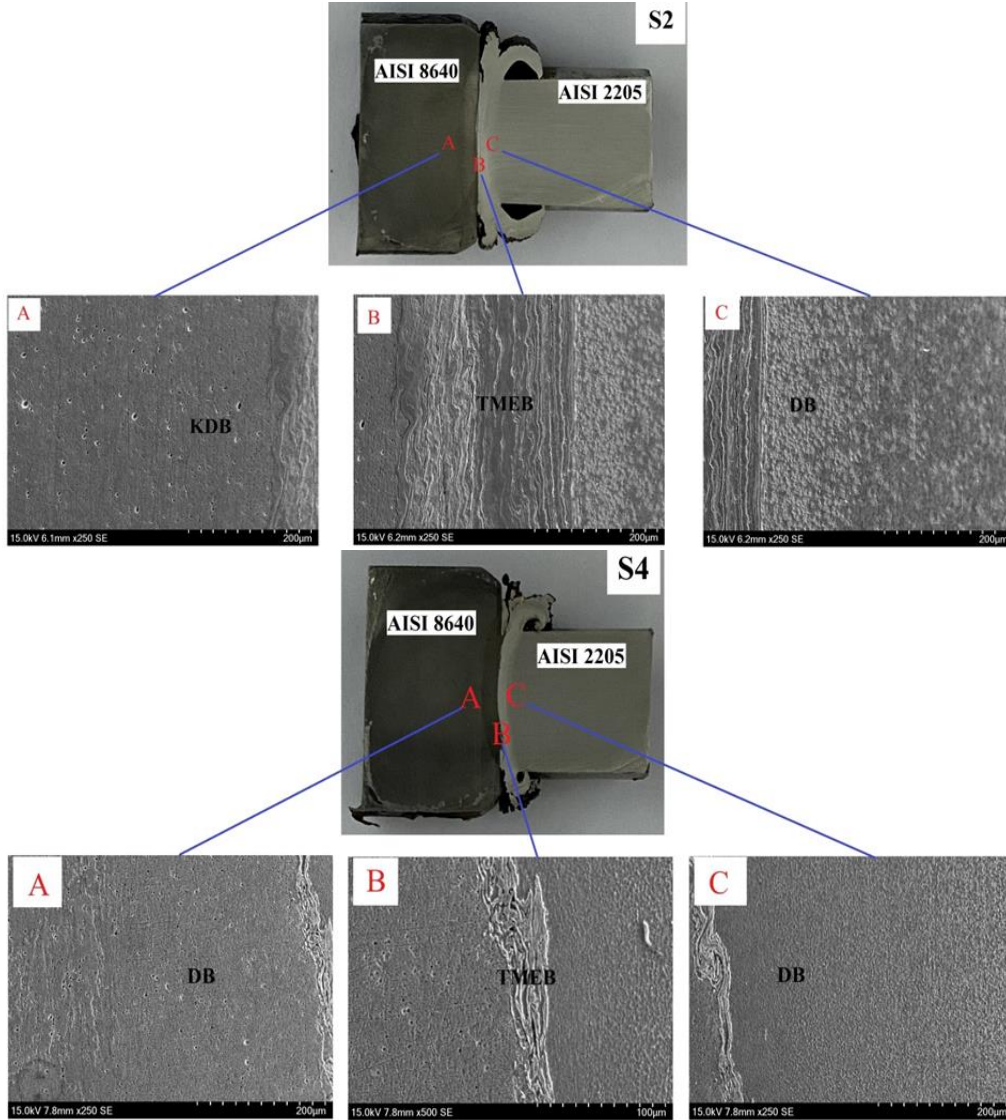
##### 4.1. Mikroyapı İncelemeleri (Microstructure Studies)

Sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilen S2 ve S4 nolu numunelere ait mikroyapı optik resmi Şekil 2a, 2b ve 2c'de verilmiştir. Şekil 2a ve 2b'de verilen optik resimlerden 5 farklı bölgenin olduğu görülmektedir. Bu bölgeler AISI 2205 esas malzeme (EM), kısmen deformasyona uğramış bölge (KDB), deformasyon bölgesi (DB), termo mekanik olarak etkilenen bölge (TMEB) ve AISI 8640 esas malzeme olarak görülmektedir [15, 16, 17 ve 18].



Şekil 2. S2 ve S4 nolu numunelerin optik görüntüleri  
(Figure 2. Optical images of samples S2 and S4)

Devir sayısının bağlantının geometrisi ve genişliği üzerinde etkisinin olduğu açıktır. Ayrıca devir sayısının artmasıyla TMEB'nin daraldığı ve yapısal değişimlerinin olduğu görülmektedir. Yüksek devir ara bölgede yerel olarak yüksek ani sıcaklık çıktıklarına neden olmaktadır. Ancak bu durum DB'nin genişlemesine de sebep olmaktadır. Yüksek devir ara yüzeyden dışarı taşan malzeme miktarını arttırdığı gibi TMEB'nin de küçülmesine neden olmuştur. Bu açıdan bakıldığında devir sayısının yüksek olması boyca ksalmasının ve ara bölgedeki sıcaklık artışına sebep olmaktadır. Ayrıca basınç altında ve merkezkaç kuvvetin etkisiyle dışarı doğru taşan tane yönelmeleri ve deformasyon bantları Şekil 2c'de görülmektedir.



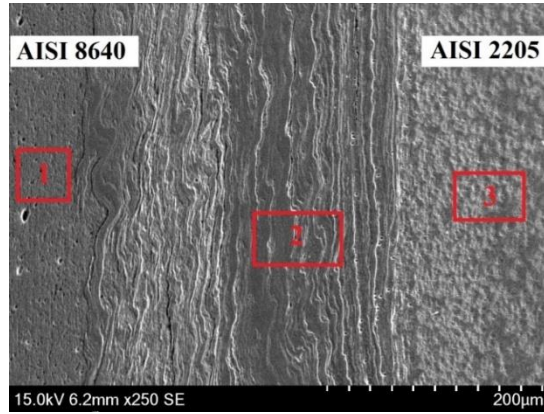
Şekil 3. S2 and S4 nolu numunelerin SEM görüntüleri  
(Figure 3. SEM images of samples S2 and S4)

1800 rpm devir sayısı ve 5sn sürtünme süresi parametreleri kullanılarak birleştirilen S2 nolu numuneye ait SEM resmi Şekil 3'te verilmiştir. SEM resimlerinde görüldüğü gibi AISI 2205 tarafında TMEB bölgesine bitişik deformasyon bölgesinde tane incelmesinin olduğu ve hemen akabinde kısmi deforme olmuş bölge ve esas malzeme olduğu görülmektedir. Ayrıca SEM resminde de görüldüğü gibi bağlantısız bölge, çatlak ve herhangi bir bağlantı kusurunun olmadığı görülmüştür.



TMEB'nin genişliği yaklaşık olarak 200µm kısmen deforme olmuş bölgenin 100-120µm olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deformasyonun büyük çoğunluğunun AISI 2205 tarafında olmasının temel nedeni bu çeliğin döner harekete sahip olması ve AISI 2205 çeliğinin çapının sabit olan AISI 8640'a göre küçük olmasından kaynaklandığı gibi AISI 2205'in plastik deformasyon yeteneğinin de diğer çeliğe göre yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2200rpm devir sayısı ve 5sn sürtünme süresi parametreleri kullanılarak birleştirilen S4 nolu numunenin SEM görüntüleri incelendiğinde bir önceki numuneye yakın TMEB'nin daha fazla daraldığı ancak deformasyon bölgesinin genişlediği görülmüştür. Deformasyon bölgesindeki tane incelen bölgenin bir önceki numuneye göre geniş olduğu açıktır. Devir sayısının artış etkisi S4 nolu numunede açık bir şekilde görülmüştür (Şekil 3). Paslanmaz çeliğin hem flanş formunda hem de mikro yapısında büyük değişimlere neden olmuştur. Ayrıca AISI 8640 tarafındaki deformasyon bölgesi yaklaşık olarak 150-200µm dolaylarında iken TMEB bölge genişliği 30 mikron dolaylarında görülmekte ve AISI 2205 tarafında ise DB genişliği 100-120µm dolaylarında olduğu açıktır.



Şekil 4. EDS analiz sonuçları  
(Figure 4. EDS analysis results)

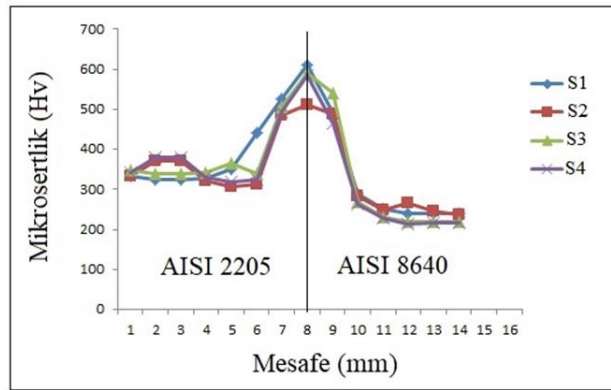
Tablo 3. Kaynak ara yüzünden elde edilen EDS noktaları varyasyonları  
(Table 3. Variations of EDS points obtained from the source interface)

Elementler (%)	EDS Noktaları			
	1	2	3	Birim
C	8.22	4.38	1.80	wt%
Fe	90.62	85.27	65.88	wt%
Si	0.22	0.30	0.40	wt%
Cr	0.94	8.34	23.54	wt%
Mo	-	-	3.82	wt%
Ni	-	1.71	4.56	wt%

1800 ve 2200rpm devir sayısı, 3 ve 5sn sürtünme süresi, 50MPa sürtünme basıncı, 80MPa yığma basıncı ve 12sn yığma süresi parametrelerinde sürtünme saplama kaynağı ile AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği ve AISI 8640 çeliği birleştirilmiştir. Kaynaklı bölgenin EDS analizi Şekil 4'te analiz değerleri ise Tablo 3'te verilmiştir. Tablodaki değerlerden de anlaşılacağı üzere AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğinden bir miktar Ni atomu AISI 8640 çeliğine doğru difüze olmuştur. Birleşme bölgesinden alınan EDS sonuçlarından da Cr %8.34 ve C'nun %4.38 olarak tespit edilmesi bu sonuca ulaşılabilirliğini açıklamaktadır. Ayrıca daha önce sürtünme kaynağı ile birleştirilen dubleks, düşük ve orta karbonlu çeliklerde benzer sonuçlardan bahsedilmiştir [5].

#### 4.2. Mikrosertlik İncelemeleri (Microhardness Studies)

AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği ile AISI 8640 çeliğinin mikrosertlik analizleri 1mm aralıklarla 20gr yük ile Vickers (HV) olarak ölçülmüş ve grafik olarak Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi her iki malzemede matris (ana malzeme) bölgesinde kendi sertlik değerlerinde sonuçlar gösterirken kaynak bölgesinde yüksek devir ve ısıdan dolayı sertlik değerinde artış gözlemlenmiştir. Ara bölgeden esas malzemelere doğru gidildikçe sertliği düştüğü ve esas malzemelerin orijinal sertlikleri olan (AISI 2205-320HV ve AISI 8640-210HV) değerlere ulaştığı görülmüştür. Sertlik değerleri kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek sertliğin S1 ve S3 nolu numunelerde sırasıyla 605HV ve 593HV olarak 3sn sürtünme süresi kullanılarak birleştirilen numunelerde elde edilmiştir. DB'de meydana gelen sertlikteki bu artışın temel nedeni ara bölgedeki martenzitik dönüşüm ve AISI 2205 çeliğinin dövme sertleşmesi ile krom karbür çökelmelerinden kaynaklandığı açıktır [19 ve 20].



Şekil 5. Birleştirilen numunelerin mikrosertlik grafiği  
(Figure 5. Microhardness graph of the combined samples)

#### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilmiş AISI 5140 ile AISI 304 paslanmaz çeliğinin birleşme bölgesinin yapısal değişimlerini incelemiştir. Birleştirilen numunelerin AISI 5140 20x20x100mm kare sabit olan taraf, dönel olan kısım ise 12mm çapında 100mm uzunluğunda çubuklar sürtünme kaynağı ile birleştirildi ve aşağıdaki sonuçlar gözlemlendi.

- Sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilen numunelerde herhangi bir bağlantı problemi, kusur ya da boşluk görülmemiştir. Sorunsuz bir birleşme gerçekleşmiştir.
- Mikroyapı görüntülerinde literatürü destekleyen esas malzeme (EM), kısmen deformasyona uğramış bölge (KDB), deformasyon bölgesi (DB), termo mekanik olarak etkilenen bölge (TMEB)'ler gözlemlenmiştir.
- EDS analizlerinde ise numunelerin sıcaklık ve basınca bağlı birleşme bölgesinde difüze olmuş elementler görülmüştür.
- Kaynaklı bağlantıların mikrosertlik analizlerinde ise birleşme bölgesinde her iki malzemenin de sertlik değerinin üstünde değerler gözlemlenmiş ve bunun nedenin yüksek devirde ortaya çıkan ısıdan kaynaklandığı ön görülmektedir.
- En yüksek sertlik değeri S1 nolu numunede 605HV olarak gözlemlenmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar çalışmada çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.



#### **FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)**

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadığını beyan etmiştir.

#### **ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)**

Makalenin yazarları bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Jinlong, L.V., Tongxiang, L., Limin, D., and Chen, W., (2016). Influence of sensitization on microstructure and passive property of AISI 2205 duplex stainless steel. *Corrosion Science*, 104:144-151.
- [2] Karahan, T., Emre, H.E., Tümer, M., and Kaçar, R., (2014). Strengthening of AISI 2205 duplex stainless steel by strain ageing. *Materials & Design*, 55:250-256.
- [3] Wang, Y.Q., Yang, B., Han, J., Dong, F., and Wang, Y.L., (2012). Localized corrosion of thermally aged cast duplex stainless steel for primary coolant pipes of nuclear power plant. *Procedia Engineering*, 36:88-95.
- [4] Herenu, S., Alvarez-Armas, I., and Armas, A.F., (2001). The influence of dynamic strain ageing on the low cycle fatigue of duplex stainless steel. *Scripta Mater*, 45:739-745.
- [5] Kirik, I., (2016). Weldability of Ti6Al4V to AISI 2205 with a nickel interlayer using friction welding. *Materials and Technology*, 50(3):353-356.
- [6] Mercan, S. and Özdemir, N., (2017). Weldability characteristics of friction-welded AISI 2205 to AISI 1020 steels. *Weld World*, 61:667-677.
- [7] Çetkin, E., İmak, A., and Kirik, I., (2022). Investigation Microstructure and Mechanical Properties of Ramor and Stainless Steel Joined by Friction Welding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1-12.
- [8] Çetkin, E. and İmak, A., (2022). Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile farklı parametrelerde kaynak edilen AA5182/AA7075 alaşım çiftlerinin mekanik ve mikroyapılarının incelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2):405-414.
- [9] Cetkin, E., (2020). Farklı kaynak parametrelerinde sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI304/AISI5140 çelik çiftlerinin mekanik ve mikroyapılarının araştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4):1724-1733.
- [10] Chaudhari, A.N., Dixit, K., Bhatia, G.S., Singh, B., Singhal, P., and Saxena, K.K., (2019). Welding behaviour of duplex stainless steel AISI 2205: A review. *Materials Today: Proceedings*, 18(7):2731-2737.
- [11] Mercan, S., Aydın, S., and Özdemir, N., (2015). Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205-AISI 1020 joined by friction welding. *International Journal of Fatigue*, 81:78-90.
- [12] Sarsilmaz, F., Kirik, I., and Batı, S., (2017). Microstructure and mechanical properties of armor 500/AISI2205 steel joint by friction welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 28(1):131-136.
- [13] Batı, S., Kılıç, M., and Kırık, I., (2016). Friction welding of dissimilar AISI 304 and AISI 8640 steels. *European Journal of Technic*, 6(2):79-86.





- 
- [14] Satyanarayana, V.V., Madhusudhan Reddy, G., and Mohandas, T., (2005). Dissimilar metal friction welding of austenitic-ferritic stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 160:128-137.
- [15] Özdemir, N., (2005). Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 Steel as a function rotational speed. *Materials Letters*, 59(19-20):2504-2509.
- [16] Özdemir, N., Sarsılmaz, F., and Haşçalık, A., (2007). Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel. *Materials & Design*, 28(1):301-307.
- [17] Haşçalık, A., Ünal, E., and Özdemir, N., (2006). Fatigue behaviour of AISI 304 steel to AISI 4340 steel welded by friction welding. *Journal of Materials Science*, 41:3233-3239.
- [18] Ünal, E., Karaca, F., and Sarsılmaz, F., (2019). Investigation of interface microstructure properties of AISI 316L/AISI 4140 steel couple welded by friction welding process. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2):701-708.
- [19] Kırık, I. and Ozdemir, N., (2013). Weldability and joining characteristics of AISI 420/AISI 1020 steels using friction welding. *International Journal of Materials Research*, 104(8):769-775.
- [20] Kırık, I., Özdemir, N., and Çalığülü, U., (2013). Effect of particle size and volume fraction of the reinforcement on the microstructure and mechanical properties of friction welded MMC to AA061 aluminum alloy. *Kovove Materials*, 51:221-227.