



Anıl İmak

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

İhsan Kırık

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

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2023.18.1.2A0190	
ORCID ID	0000-0001-6091-1584	0000-0002-8361-319X
Corresponding Author	Anıl İmak	

SÜRTÜNME SAPLAMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİ VE İSLAH ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI İNCELEMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, AISI 2205 ve AISI 5140 çelikleri sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilmiştir. Birleştirme işleminde üretim parametreleri için iki farklı sürtünme devri (1800dev/dak ve 2200dev/dak) ve iki farklı sürtünme süresi (2sn ve 4sn) seçilmiştir. Sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilen numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop ile mikroyapı analizleri, enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) ile birleştirme bölgelerinin elementel analizleri yapılmıştır. Ayrıca esas malzeme ve birleştirme bölgelerindeki mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Deneysel sonuçlara göre her iki malzemenin sürtünme saplama kaynağı ile kaynak edilmesinde herhangi bir hataya rastlanılmamıştır. Birleştirme bölgesinde sertlik değerinin esas malzemeden yüksek olduğu görülmüştür. Birleştirme bölgesindeki en yüksek sertlik, düşük sürtünme devri ve yüksek sürtünme süresi ile birleştirilen kaynaklı bağlantılardan elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroyapı, Mikrosertlik, Sürtünme Saplama Kaynağı, Dupleks Paslanmaz Çelik, Islah Çeliği

MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF DUPLEX STAINLESS STEEL AND TEMPERED STEELS COMBINED BY FRICTION STUD WELDING

ABSTRACT

In this study, AISI 2205 and AISI 5140 steels were joined by friction stud welding. In the joining process, two different friction speeds (1800 rpm and 2200rpm) and two different friction times (2 and 4s) were selected for the production parameters. Microstructural analyses of the samples joined by friction stud welding were performed by scanning electron microscope (SEM) and optical microscope, and elemental analyses of the joining regions were performed by energy dispersive spectroscopy (EDS). In addition, the microhardness values in the base material and joint areas were measured. According to the experimental results, no error was found in the welding of both materials with friction stud welding. It was observed that the hardness value in the joint zone was higher than the base material. The highest hardness in the joint zone was obtained from the welded joints joined with low friction speed and high friction time.

Keywords: Microstructure, Microhardness, Friction Stud Welding, Duplex Stainless Steel, Tempered Steel

How to Cite:

İmak, A. ve Kırık, İ., (2023). Sürtünme Saplama Kaynağı İle Birleştirilen Dupleks Paslanmaz Çeliği ve Islah Çeliklerinin Mikroyapı İncelemesi. Technological Applied Sciences, 18(1):1-8. DOI:10.12739/NWSA.2023.18.1.2A0190.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metal malzemelerin kaynak işlemlerinde ergitme ya da katı hal kaynakları tercih edilmektedir. Bu çalışmaya konu olan sürtünme saplama kaynağı katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Sürtünme kaynağının temel prensibi iki malzeme arasında sürtünmeye bağlı oluşan mekanik enerjinin ısı enerjisine dönmesi ve ortaya çıkan bu ısıdan faydalanarak aksenal basınç etkisiyle birleşme ara yüzeyinde plastik deformasyon oluşumunu sağlayarak iki malzemenin kaynak edilmesidir. Sürtünme kaynağı, ek olarak koruyucu gaz ya da metal kullanımı gerektirmemektedir. Sürtünme kaynağında ilk olarak aynı eksen üzerinde bir parça sabit diğeri dairesel hareket yapacak şekilde sabitlenir. Aksenal basınç etkisiyle alın altına gelen malzemeler arasında temas oluşur ve sürtünme etkisiyle plastik deformasyon ile malzemeler arasında flanş oluşumu gerçekleşerek dönme işlemi durdurulur ardından yığma basıncı uygulanır. Sürtünme süresi, çevresel hız, sürtünme basıncı, yığma süresi ve yığma basıncı sürtünme kaynağının önemli parametreleridir [1 ve 2].

Literatürde katı hal kaynak tekniklerinden biri olan sürtünme saplama kaynağı ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Tharmaraj ve arkadaşları, sürtünme saplama kaynağı ile seramik kaplamalı AMC/AISI 304 çelik bağlantılarının kaynağı üzerine bir çalışma yapmışlardır [3]. Daha yüksek bağlantı mukavemeti elde etmek için ara yüzeyde seramik kullandıklarını belirtmişlerdir. Özdemir, AISI 304L östenitik paslanmaz çelik ve AISI 4340 çelik çifti, beş farklı devir hızı kullanılarak sürtünme kaynağı ile birleştirmiş ve elde edilen sonuçlar neticesinde çekme mukavemetinin, devir hızından önemli ölçüde etkilendiğini gözlemlemişlerdir [4]. Hynes ve arkadaşları, Sürtünmeli saplama kaynağı ile birleştirdiği AA 6063/AISI 1030 çeliklerinin ultrasonik değerlendirmesini yapmışlardır [5]. Kaynak ara yüzeyinde young modülü ve kesme özelliklerinde artış gözlemlemiş ve bunun nedenini ara yüzeyde oluşan intermetalik bileşik ve sertlik artışına başlamışlardır. Jebaraj ve arkadaşları, anizotrop davranış gösteren dubleks paslanmaz çelik AISI 2205'in optimum kaynak özellikleri üzerine araştırma yapmışlardır [6].

Ergitme kaynağı kullanarak kaynak işlemi yapılan numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Hynes ve arkadaşları, alüminyum ve çelik malzemelerin sürtünme saplama yöntemiyle birleştirilmesiyle meydana gelen aksenal kısalmayı nümerik olarak çalışmışlardır [7]. Aksenal kısalmanın sayısal sonuçlarla tahmin edileceğini belirtmişlerdir. Kimura ve arkadaşları, AA5083 alaşımının sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilmesinde bağlantı mukavemetinin iyileştirilmesi optimum parametrelerin belirlenmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir [8]. Çetkin, AISI 304 ve AISI 5140 çeliklerinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde farklı parametreler kullanmış ve kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir [9]. Elde edilen sonuçlar neticesinde devir sayısı 1900dev/dak, 8sn sürtünme süresi ile birleştirmiş olduğu numunenin mikroyapı ile mekanik testlerde en iyi sonucu gözlemlemiştir. İmak ve arkadaşları, sürtünme saplama kaynağı ile birleştirdikleri AISI 5140/AISI 316 paslanmaz çeliğinin mikroyapı davranışlarını incelemişlerdir [10]. Farklı devir sayısı ve sürtünme süresi ile birleştirdikleri numunelerde kaynak işleminin sorunsuz ve düzgün bir şekilde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada sürtünme saplama kaynağı ile farklı devir sayısı (1800dev/dak ve 2200dev/dak) ve farklı sürtünme süresinde (2sn ve 4sn) birleştirilen AISI 5140 ve AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğinin mikroyapı ve mikrosertlik özellikleri incelenmiştir. Mikroyapı analizleri için optik mikroskop, SEM ve EDS analizlerinden faydalanılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme saplama kaynağı ile dubleks paslanmaz çelik AISI 2205 ve ıslah çeliği AISI 5140 birleştirilmiştir. Farklı sürtünme süresi ve devir sayılarının kaynaklı bağlantılar üzerindeki etkilerini belirlemek için optik mikroskop, SEM, EDS analizleri yapılmış ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Önemli Noktalar (Highlights):

- Sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilen numunelerin mikroyapı incelemelerinde bağlantı bölgelerinde herhangi bir çatlak yada kusur görülmemiştir.
- Ergitme kaynak yöntemiyle birleştirilmesi güç olan malzemelerin sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilebilirliğinin mümkün olduğu gözlemlenmiştir.
- Dönel hareket ve eksenel basınç etkisiyle dubleks paslanmaz çelikte boyca kısalma gerçekleşmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Bu çalışmada ticari olarak temin edilen AISI 2205 ve AISI 5140 çelik çubukları kullanılmıştır. Kullanılan bu çubukların kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik çubuklar Ø12x100 mm boyutlarında ve AISI 5140 çelik çubukları ise Ø18x100 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır.

Tablo 1. AISI 2205 ve AISI 5140'ın kimyasal bileşimleri
(Table 1. Chemical compositions of AISI 2205 and AISI 5140)

Malzeme	Elementler (%)									
	Si	C	P	Mn	Cr	S	Ni	Mo	Cu	Fe
AISI 2205	0.309	0.018	0.026	1.686	22.33	0.003	4.932	3.379	0.097	Kalan
AISI 5140	0.22	0.41	0.035	0.8	0.8	0.04	x	x	x	Kalan

Tablo 2'de belirtilen parametrelere göre AISI 2205 ve AISI 5140 çeliklerinin sürtünme saplama kaynakları Fırat Üniversitesinde sürekli tahrikli PLC kontrollü sürtünme kaynak makinasında yapılmıştır. Şekil 1'de numunelerin sürtünme kaynağındaki konumlandırması görülmektedir.



Şekil 1. Numunelerin sürtünme kaynağındaki konumları
(Figure 1. Positions of samples in friction welding)

Tablo 2. Sürtünme saplama kaynağı için kullanılan parametreler
(Table 2. Parameters used for friction stud welding)

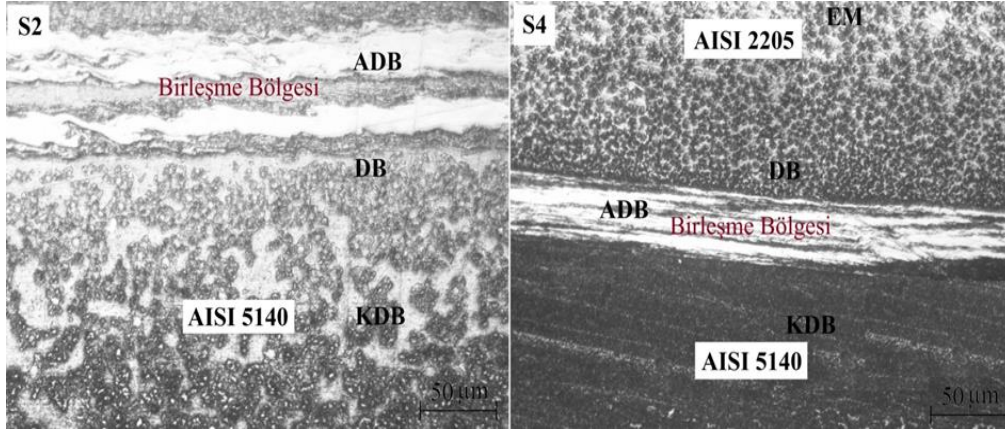
Numune No	Devir Sayısı (dev/dak)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Sürtünme Süresi (sn)	Yığılma Basıncı (MPa)	Yığılma Süresi (sn)
S1	1800	50	2	80	12
S2	1800	50	4	80	12
S3	2200	50	2	80	12
S4	2200	50	4	80	12

Sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilen numunelerin birleşme bölgelerindeki yapısal değişimi gözlemlemek için kaynak işleminden sonra numuneler dik olarak kesilmiştir. Kaynak ara yüzeyi 80-1200 mesh zımpara ile düzeltilmiş ve 3µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Sürtünme saplama kaynaklı numunelerin birleşme bölgelerindeki yapısal dönüşümleri incelemek için SEM ve EDS analizleri Munzur Üniversitesinde yapılmıştır. Mikrosertlik değerleri ise Bingöl Üniversitesinde AOB marka mikrosertlik cihazında Vickers (HV) biriminde, 0.5mm aralıklarla, 20gr yük altında ölçülmüş ve değerler grafiksel olarak bilgisayar ortamında hazırlanmıştır.

4. BULGULAR (FINDINGS)

4.1. Mikroyapı İncelemeleri (Microstructure Studies)

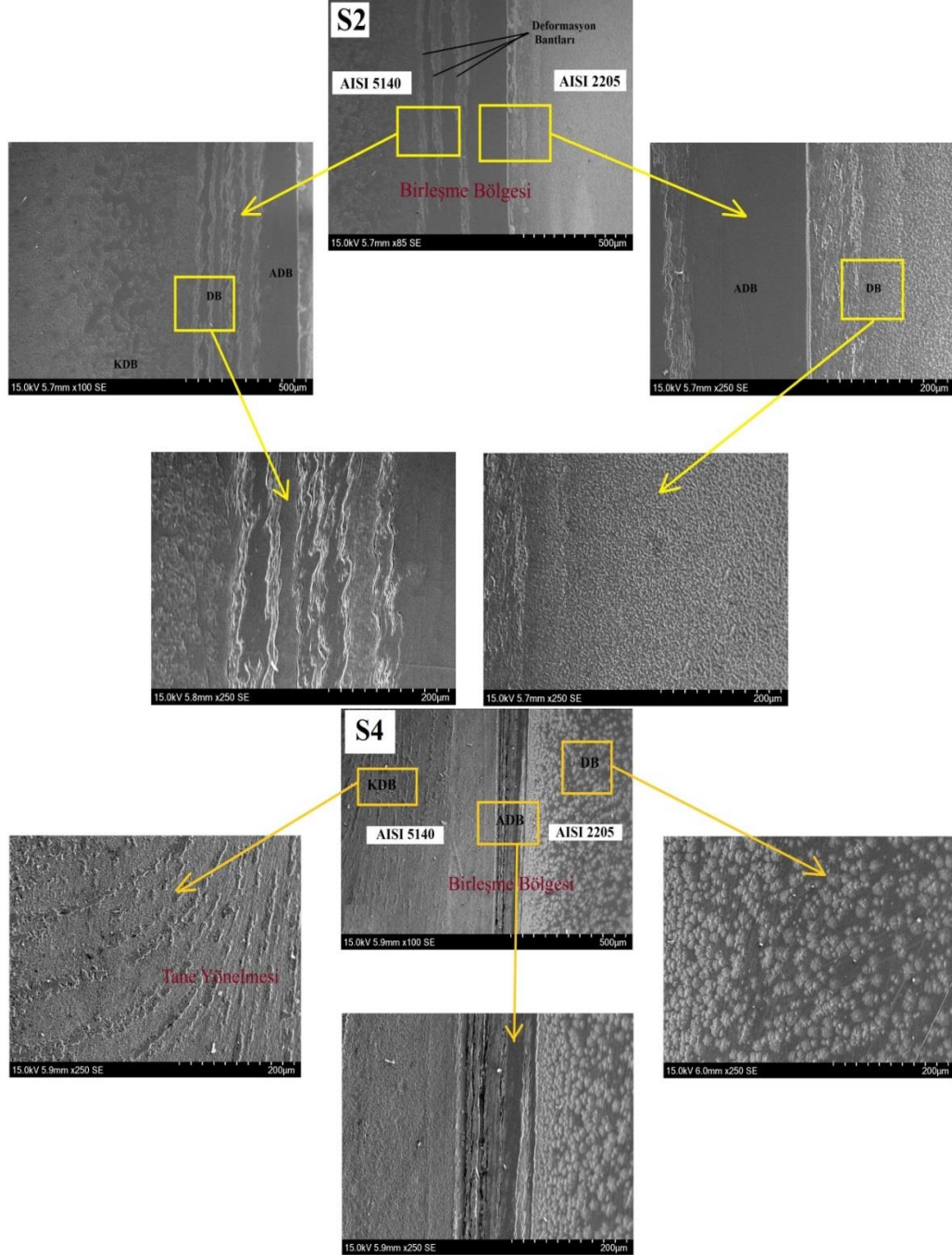
Farklı devir sayısı ve farklı sürtünme süreleri kullanılarak birleştirilen numunelerden S2 ve S4 nolu numunelerin optik görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde verilen resimlerden de görüldüğü gibi herhangi kusur ya da boşluklu bölgenin olmadığı gözlemlenmektedir. Resimlerde birleşme kısmında termo mekanik etki sonucu incelmış taneler görülmektedir üstelik aksel basınç altında tane yönelmelerinin olduğu da görülmektedir. Birleşme hattı birleşme ara yüzeyinde belirgin bir şekilde görülmektedir.



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

Östenitik paslanmaz çeliklerde sigma fazı bulunması nedeniyle kaynaklanma kabiliyetini düşürmektedir. Metaller arası bileşik oluşması için östenit yapı içerisinde belli bir miktar ferrit fazının da bulunması gerekmektedir. Dupleks paslanmaz çelikler yapısında östenit ve ferrit fazları bulundurmaktadır ve bu malzemelerin birleştirilmesinde en uygun kaynak yöntemi sürtünme kaynağıdır. AISI 2205 dupleks paslanmaz çeliğinin AISI 5140 çeliği ile sürtünme saplama yöntemiyle birleştirildiği bu çalışmada, 1800dev/dak devirde ve 4sn sürtünme süresi ile birleştirilen S2 nolu numune ile 2200dev/dak devirde ve 4sn sürtünme süresi ile birleştirilen S4 nolu numunelerin kaynak ara yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Kaynak

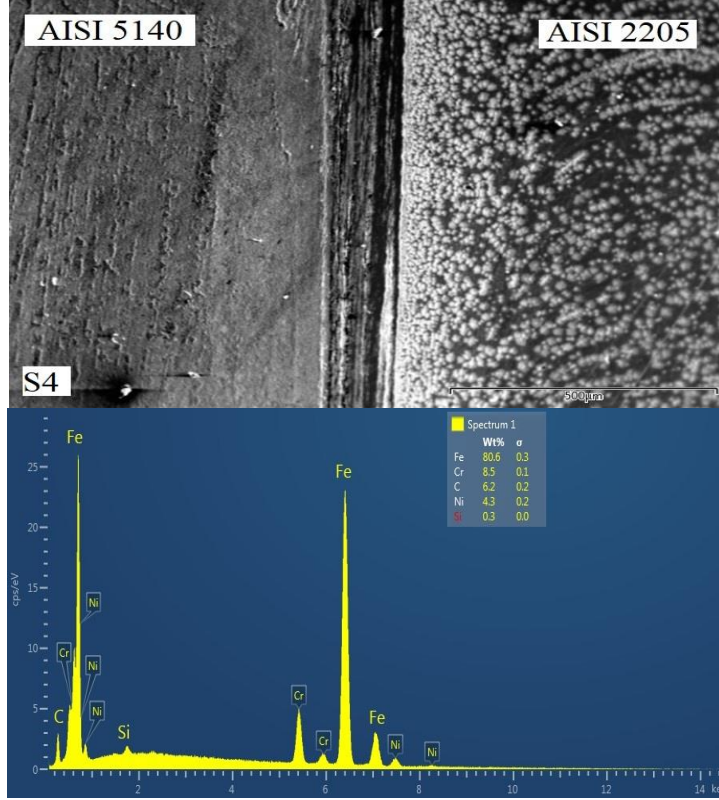
işlemi sonrasında birleşme bölgelerinde resimde görüldüğü gibi literatürü destekleyen dört farklı bölge görülmüştür [11, 12, 13, 14, 15, 16 ve 17]. Bu bölgeler; esas malzeme (EM), deformasyon bölgesi (DB), aşırı deforme olmuş bölge (ADB) ve kısmen deforme olmuş bölgedir (KDB).



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

Optik görüntüleri destekler nitelikte SEM görüntülerinden de görüleceği üzere birleşme ara yüzeyinde bağlantısız ya da çatlak bölge gözlemlenmemiştir. S2 nolu numunede ADB daha geniş iken artan devir sayısı ve sürtünme süresi etkisi ile S4 nolu numunede ADB daha dar olarak görülmektedir. S4 nolu numunede tane yönelmeleri daha belirgin

bir şekilde görülmektedir. Bunun nedeni basınç ve merkezkaç kuvveti etkisiyle birleşme bölgesinde dışarı taşan malzeme miktarı artışından kaynaklanmaktadır. Deformasyon AISI 2205 paslanmaz çeliğinde daha fazla görülmektedir. Bunun nedeni sürtünme kaynak makinasında AISI 2205 çeliği dönme hareketi ve basınç etkisiyle sabit ve daha büyük çapta olan AISI 5140 çeliğine saplanmasıdır. AISI 2205 çeliğinin plastik deformasyon davranışının AISI 5140 çeliğine göre daha yüksek olması da deformasyon bölgesinin artışını sağlamıştır.

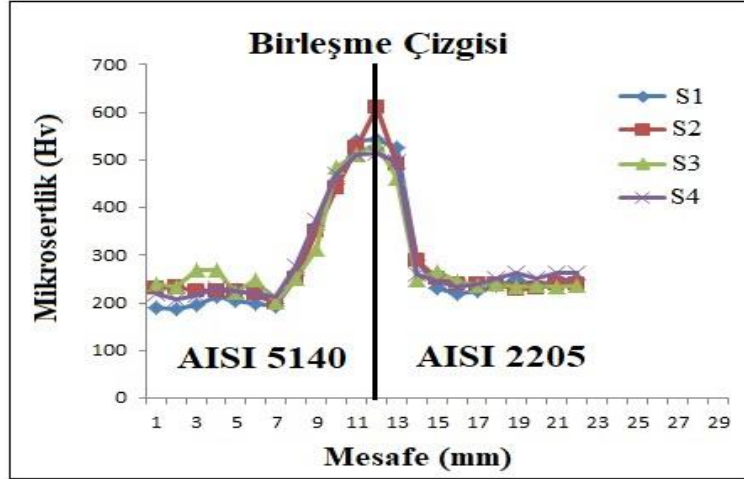


Şekil 4. S4 nolu numunenin EDS sonuçları
(Figure 4. EDS results of sample S4)

Şekil 4'te sürtünme saplama kaynağı ile 2200dev/dak devir ve 4sn sürtünme süresiyle birleştirilen S4 nolu numunenin EDS sonuçları verilmiştir. Resim üzerinde görünen bölgelerin tamamının taranarak elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere kaynak ara yüzeyinde Fe %80.6, Cr %8.5, C %6.2, Ni %4.3 ve Si %0.3 elementlerinin varlığı tespit edilmiştir.

4.1. Mikrosertlik İncelemeleri (Microhardness Studies)

Literatür araştırmaları sonucunda belirlenen parametrelere göre sürtünme saplama kaynağı yapılan dört numunenin mikrosertlik grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Bu dört numunenin sertlik profilleri analiz edildiğinde esas malzeme bölgelerinde malzemenin sertlik değerine yakın değerler gözlemlenirken birleşme bölgesinde sertlik değerinde artış olmaktadır. Birleşme bölgesinde maksimum sertlik değeri devir sayısı 1800dev/dak ve sürtünme süresi 4sn olan S2 nolu numunede 610Hv olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. S1, S2, S3 ve S4 nolu numunelerin sertlik grafiği
(Figure 5. Hardness graph of samples S1, S2, S3 and S4)

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, farklı devir sayısı (1800 dev/dak ve 2200dev/dak) ve sürtünme sürelerine (2sn ve 4sn) göre AISI 2205 ve AISI 5140 çelikleri sürtünme saplama kaynağı ile birleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Her iki malzemenin sürtünme saplama kaynağı sorunsuz bir şekilde yapılmıştır.
- Optik mikroskop ve SEM analizlerinden numunelerin birleşiminde kusur olmadığı gözlemlenmiştir.
- Sertlik ölçümleri neticesinde birleşme bölgesinde sertlik değerleri bütün numunelerde esas malzemeye göre artmıştır.
- Kaynak ara yüzeyinden alınan görüntülerde esas malzeme (EM), deformasyon bölgesi (DB), aşırı deforme olmuş bölge (ADB) ve kısmen deforme olmuş bölge (KDB) olmak üzere dört farklı bölge gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ates, H., Turker, M., and Kurt, A., (2007). Effect of friction pressure on the properties of friction welded MA956 iron-based superalloy. *Materials & Design*, 28:948-953.
- [2] Kırık, İ., (2012). Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 1040/AISI 304L Çelik Çiftinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının Araştırılması (Doktora Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Tharmaraj, R., Hynes, N., and Shenbaga Velu, P., (2020). Investigation on friction stud welded AMC/AISI 304 steel joints with ceramic intercoating. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(10):1-8.
- [4] Ozdemir, 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*, 59:2504-2509.
- [5] Hynes, N.R.J., Nagaraj, P., and Sujana, J.A.J., (2014). Ultrasonic evaluation of friction stud welded AA 6063/AISI 1030 steel joints. *Materials and Design*, 62:118-123.
- [6] Jebaraj, A.V., Kumar, L.A., and Deepak, C.R., (2017). Investigations on anisotropy behavior of duplex stainless steel AISI 2205 for optimum weld properties. *Procedia Engineering*, 173:883-890.



-
- [7] Hynes, N.R.J., Raja, S., Sujana, J.A.J., Benita, B., and Sankaranarayanan, R., (2021). Numerical simulation of axial shortening distance in friction stud welding of aluminium/mild steel joints. *Materials Today: Proceedings*, 47:7127-7132.
- [8] Kimura, M., Sano, Y., Kusaka, M., and Kaizu, K., (2022). Methods for improving joint strength of friction stud welded AA5083 alloy joints. *Journal of Advanced Joining Processes*, 5:100075.
- [9] Çetkin, E., (2020). Farklı kaynak parametrelerinde sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI304/AISI5140 çelik çiftlerinin mekanik ve mikroyapılarının araştırılması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4):1724-1733.
- [10] İmak, A., Kırık, İ. ve Çetkin, E., (2020). Sürtünme karıştırma saplama kaynak metodu ile birleştirilen AISI 5140 çeliği ile AISI 316 paslanmaz çeliğin mikroyapısal özelliklerinin belirlenmesi. *Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 1(1):41-48.
- [11] Kırık, İ. and Abak, D., (2022). Friction Welding of AISI 1020 with Ramor 500 Steel: Microstructure. Tensile and Fatigue Strength. *Technological Applied Sciences*, 17(1):39-52.
- [12] Sarsılmaz, F., Kırık, İ., and Ay, M., (2017). Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmiş SCR 420/AISI 1040 çelik çiftlerinin arayüzey mikroyapı özelliklerinin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(2):51-56.
- [13] Özdemir, N., Sarsılmaz, F., and Hasçalık, A., (2007). Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel. *Materials & Design*, 28(1):301-307.
- [14] Hasçalık, 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.
- [15] 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*, 35(2):701-708.
- [16] Kırık, I. and Özdemir, N., (2013). Weldability and joining characteristics of AISI 420/AISI 1020 steels using friction welding. *International Journal of Material Research*, 8:769-775,
- [17] 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.