



## Sürtünme Karıştırma Saplama Kaynak Metodu ile Birleştirilen AISI 5140 Çeliği ile AISI 316 Paslanmaz Çeliğin Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Anıl İMAK<sup>1\*</sup>, İhsan KIRIK<sup>2</sup>, Edip ÇETKİN<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye,  
ORCID No: 0000-0001-6091-1584, e-mail: aimak@bingol.edu.tr

<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bingöl, Türkiye,  
ORCID No: 0000-0002-8361-319x

<sup>3</sup> Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Batman, Türkiye,  
ORCID No: 0000-0002-0217-5897

(Alınış: 08.06.2020, Kabul: 13.08.2020, Yayınlanma: 08.09.2020)

### Özet

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma saplama kaynağı ile birleştirilmiş AISI 5140 ısıl işlem görmüş çelik ve östenitik paslanmaz çelik AISI 316' nın birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Bu çelikler farklı özelliklere sahip olmalarının yanı sıra endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Freze tezgâhı ile 1000, 1500 ve 2000 devir/dakika devir sayısı ve 8 ve 10 saniye sürtünme süresi parametreleri ile çeliklere sürtünme kaynağı yapılmıştır. Kaynak işleminden sonra, kaynaklı numunelerin sertlik mukavemetini belirlemek için sertlik testi uygulanmıştır. Kaynak sonrası mikroyapısal özellikleri belirlemek için optik mikroskop kullanılmış ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile enerji-dağıtıcı (EDS), Xray spektroskopisi analiz testleri yapılmıştır. Sürtünme karıştırma saplama ile sorunsuz bir şekilde birleştirilen AISI 316 ve AISI 5140 çeliklerinden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Farklı özelliklere sahip olan bu çelikler başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** FSSW, Sertlik, Mikroyapı, AISI 5140, AISI 316.

### Investigation of Microstructural Properties of 5140 Steel with 316 Stainless Steel Joined by Friction Stir Stud Method

#### Abstract

This study investigated the joinability of AISI 5140 heat treatable steel and AISI 316 austenitic stainless steel joined by friction stir stud welding. Besides having different properties, these steels are widely used in industrial applications. Weldings was applied on steels with the parameters of 1000, 1500 and 2000 rev/min turning speed and 8 and 10 sec friction time by milling machine. After the welding process, hardness testing was applied to determine hardness strength of welded samples. Additionally, in order to determine the microstructural features, the optical microscope was used with scanning electron microscope (SEM) energy-dispersive (EDS), Xray Spectroscopy analysis tests were done. The data obtained from AISI 316 and AISI 5140 steels that are seamlessly joined with friction stirring studs were evaluated. These steels with different properties have been successfully combined.

**Keywords:** FSSW, Hardness, Microstructure, AISI 5140, AISI 316.

## 1. GİRİŞ

Östenitik çelikler düşük karbon, yüksek seviyede krom ve nikel içeren manyetik olmayan paslanmaz çeliklerdir. İşlenebilirlik, kaynaklanabilirlik, korozyona karşı direnç ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle endüstride en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik sınıfıdır. 316 çelik türü, yüzde iki ila üç Mo içeren östenitik Cr-Ni paslanmaz çeliktir. Molibden içeriği korozyon direncini artırır, klorür iyonu çözeltilerinde çukurlaşma direncini artırır ve yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırır. 316 tipi paslanmaz çelik için yaygın kullanım alanları arasında egzoz manifoldları, fırın parçaları, ısı eşanjörleri, jet motor parçaları, ilaç ve fotoğraf ekipmanları, valf ve pompa parçaları, kimyasal işleme ekipmanları, tanklar ve evaporatörler bulunmaktadır [1]. Östenitik paslanmaz çeliğin kaynaklanabilirliğinin kaynak yapılabileceği düşünülmüştür, ancak kaynak yapıldıklarında sıvı çatlaması, kaynak katılaşması ve daha başka bazı problemler uygun bir önlem alınmazsa ortaya çıkabilir [2]. Östenitik paslanmaz çeliğin korozyona dayanıklılığı iyi olmasına rağmen, benzer malzemeler füzyon kaynaklarıyla kaynaklandığında ısıdan etkilenen bölgede ve kaynak bölgesinde lokal korozyon oluşabilir [3]. Öte yandan, sürtünme karıştırma saplama kaynağı (FSSW) gibi katı hal kaynak teknikleri, iş parçası ile saplama arasında bir sıkıştırma kuvveti altında bir kaynak işlemektedir ve malzemeyi düzgün yüzeylerinden plastik olarak kaydırır. Bu tekniğin prensibi, mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesidir ve cüruf içerme kusuru yoktur [4]. FSSW, sarf malzemesi gereksinimi olmayan benzer metallerin ses bağlantılarını elde etmek için uygulanmalıdır, düşük büzülme, düşük bozulma ve mükemmel mekanik özellikler [5,6]. Farklı özelliklere sahip AISI 5140 ısıtılabilir çelik ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin ergitme kaynak yöntemleri ile ortaya çıkan olumsuzlukları minimize etmek ve daha uygun birleştirme özelliklere sahip kaynak yapmak büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın temel amacı farklı özelliklere sahip bu çelikleri FSSW yöntemi ile sorunsuz bir şekilde birleştirmektir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Malzemeler

Bu çalışma için farklı özelliklere sahip iki malzeme seçilmiştir, AISI 316 paslanmaz çelik plaka (10x50x50) saplamalar ve AISI 5140 çelik çubuk (20 mm) sürtünme karıştırma saplama kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin bileşimi Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.** Bu çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri.

Material	Elements of composition								
	%C	%Cr	%Si	%Mn	%P	%S	%Mo	%Ni	%Fe
AISI 316	0.008	16-18	1.0	2.0	0.045	0.03	2-3	10-14	Balance
AISI 5140	0.41	0.8	0.22	0.8	0.035	0.04	-	-	Balance

### 2.2. Sürtünme Karıştırma Saplama Kaynağı

Test örnekleri, Şekil 1'de görüldüğü gibi FSSW için işlendi ve temizlendi. Kaynak için hazırlanan numuneler basıncı 50 MPa, dönüş hızı 1750 rpm ve 2000 rpm olan kaynak parametreleri kullanılarak freze tezgâhında gerçekleştirildi.

### 2.3. Mikroyapı İncelemesi

Sürtünme karıştırma saplama kaynaklı arayüzlerin mikroyapıları taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji-dağıtıcı spektroskopisi (EDS) ile analiz edilmiştir. SEM incelemeleri için AISI 316/AISI 5140 sürtünme karıştırma saplama kaynaklı derzlerin enine kesit ara yüzü kesilerek alınmıştır. Kaynak bölgesindeki mikroyapı değişikliklerini incelemek için geleneksel temizlik ve parlatma yöntemi kullanılmıştır.

### 2.4 Mikrosertlik İncelemesi

AISI 316 / AISI 5140 çiftine kaynak yapılan sürtünme karıştırma saplamasının mikrosertlik ölçümleri, ana metalden kaynak merkezine 0,5 mm aralıklarla ve 100 g'lık bir yük altında HV sertlik ölçüğü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

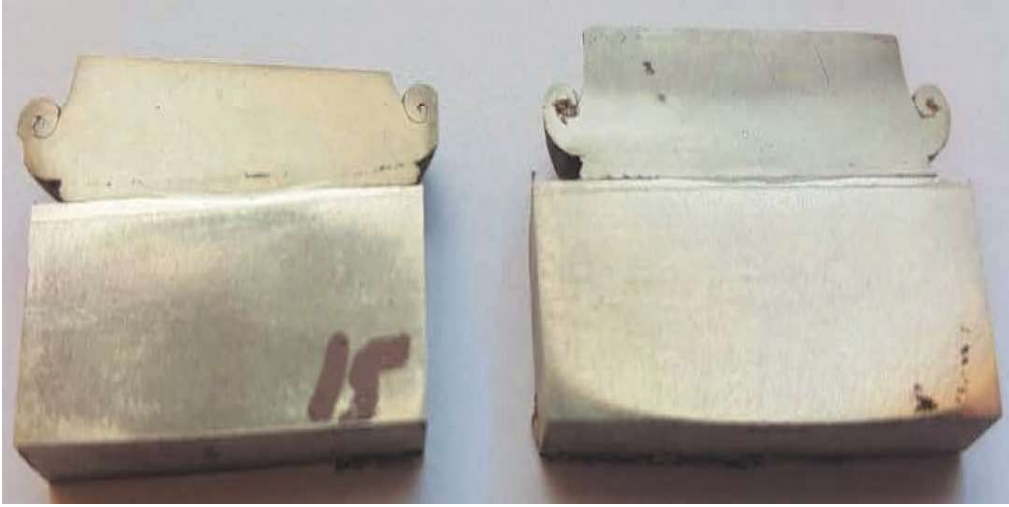
### 3.1. Makroyapı İncelemesi

FSSW birleştirmelerinin makro görüntüsü Şekil 1'de gösterilmiştir. Nitelikli ve pürüzsüz birleştirme elde edildiği görülebilir. Ayrıca, devir sayısı artmasına bağlı olarak, AISI 5140 çeliği giderek AISI 316 paslanmaz çelik yüzeyine flanşlar ve AISI 5140 kısadır.



Şekil 1. Sürtünme karıştırma saplama kaynak eklemine makro görüntüsü

### 3.2. Mikroyapı Sonuçları

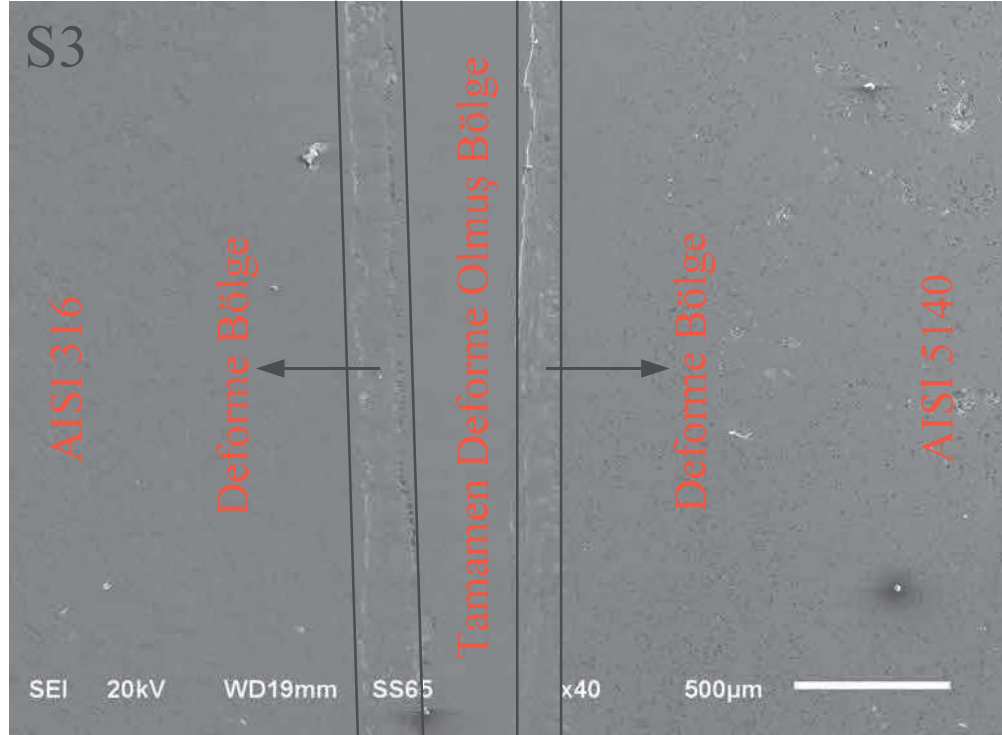
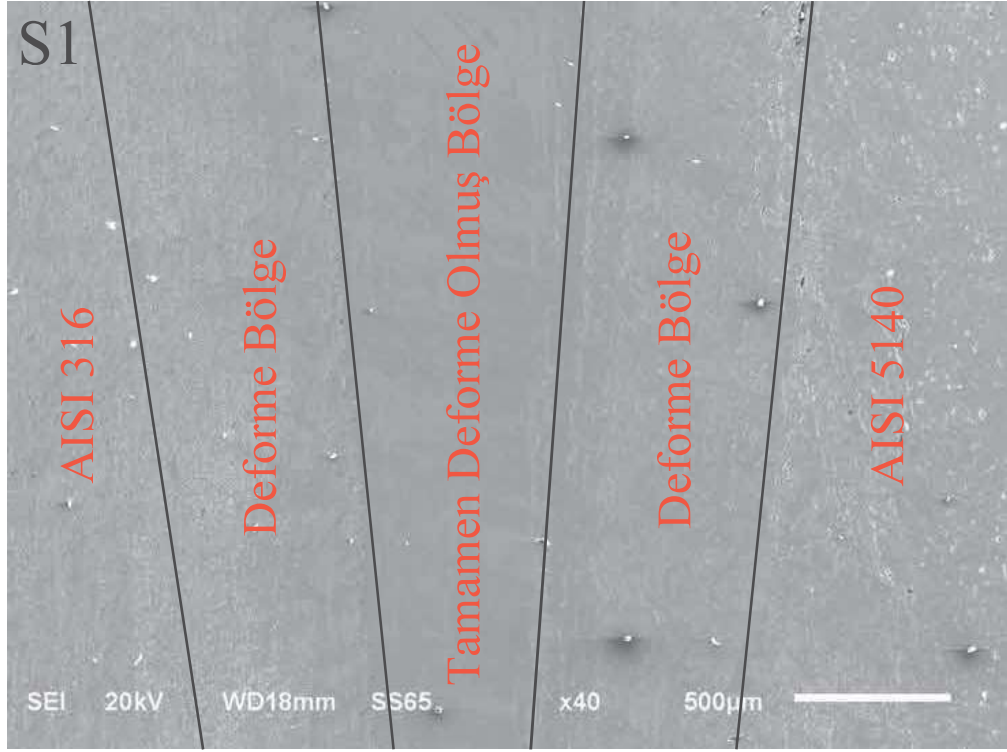


Şekil 2. Sürtünme karıştırma saplama kaynak eklemi makroyapı resmi

Şekil 2, sürtünme karıştırma saplaması kaynaklı birleşimin makroyapı numune örneğini göstermektedir. Görüldüğü gibi, devir sayısı ile flaş artar. Farklı malzemelerin sürtünme saplaması kaynağı, malzemelerin aksenal kısalması ve parlama derecesi, kullanılan iki malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır. İki bölüm arasında kısmi birleştirme bölgesini çevreleyen ve çıkarılamayan bir bölge vardır. Devir sayısı arttığında kaynak sonrası aksenal kısalma artar.

Şekil 3, arayüz boyunca birleştirilen tipik mikroyapıyı gösterir. Arayüzdeki bölgeler ana malzemeler (BM), deforme bölge (DZ), tamamen deforme olmuş bölge (FPDZ) olarak tanımlanabilir [7-13].

Sürtünme karıştırma saplama kaynağı işlemi sırasında, arayüzdeki sıcaklık Extech VIR50 çift lazer detektörü kullanılarak ölçülmüştür ve bağlantıların arayüzündeki sıcaklık değerleri 1245-1350 °C' dir.



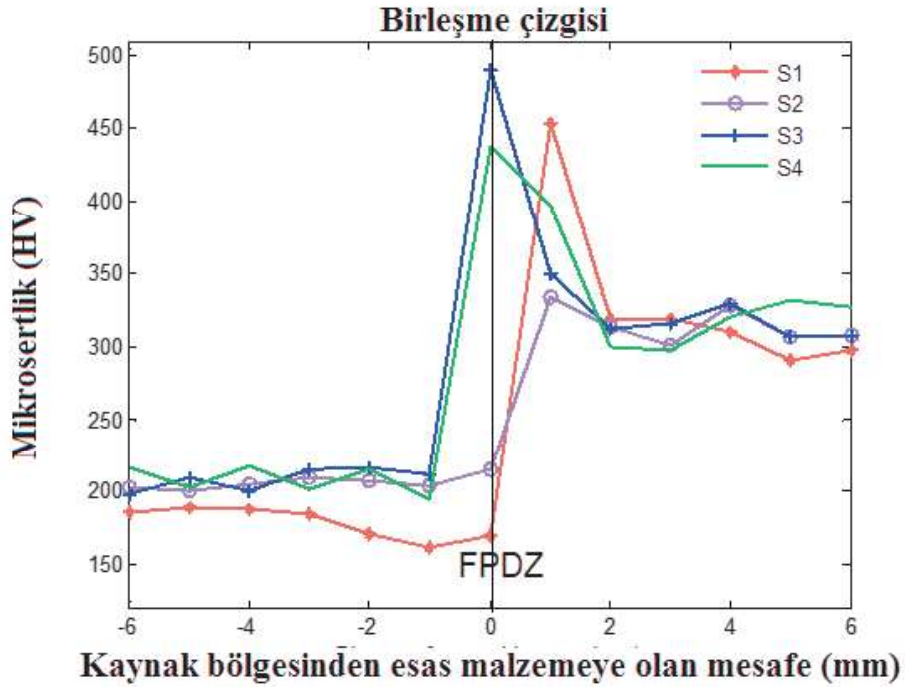
Şekil 3. S1 ve S3 örneğinin kaynak ara yüzeyinden alınan SEM görüntüleri

### 3.3. Sertlik Test Sonuçları

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma saplama kaynaklı derzlerin mikro sertlik dağılımı literatüre göre üç bölgede değişmektedir. Bu bölgelere deforme olmuş bölgeler, tamamen deforme olmuş



bölgeler ve ana malzemeler denir. Kaynak arayüzüne yakın olan DZ ve FDZ'de sertlik dağılımı artar ve sonra orijinal metal sertlik değerine düşer. AISI 316 östenitik paslanmaz çelik tarafındaki termo-mekanik etkiye bağlı olarak deformasyon sertleşmesi gösteren bir bandın varlığı, bu kaynaklı bağlantıların arayüz mikro-yapı analizinde belirlenmiştir. Benzer şekilde, SEM analiz fotoğraflarında belirlenen termomekanik etkinin bir sonucu olarak sertleşen, her iki taraftaki bağlantı arayüzüne bitişik bölge resimde de görülmektedir. Elde edilen sertlik değerleri Şekil 4' te verilmiştir, sertlik değerlerinin kaynaklı bağlantıların bağlantı arayüzünde meydana gelen yapısal değişikliklere paralel bir değişimin varlığı dikkat çekmektedir. En yüksek mikrosertlik değeri tamamen deforme olmuş bölgede 535 HV olarak kaydedilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, devir sayısının artması nedeniyle birleşme arayüzündeki sertlikte bir artış kaydedilmiştir. Tüm bu numunelerden elde edilen sertlik değerleri arasında bir karşılaştırma yapıldığında, devir sayısı arayüzde ulaşılan sertlik değerleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. FSSW arayüzünde sertliğin arttığı da gözlenmiştir. Bunun ana nedeni, AISI 5140 çelik plastiği deforme etme yeteneğinin, malzemeyi arayüzden çıkarmak için gerektiğinde daha az viskoz hale gelmesiyle ilişkilendirilebilir.



Şekil 4. Mikrosertlik grafiği

### 3.4. EDX Analizi

Fazların tespiti için sürtünme karıştırma saplama kaynak işlemi sırasında meydana gelen SEM ve EDX analizi yapılmıştır. Tablo 2'de birleşme bölgesinin elementel konsantrasyonu göstermektedir. EDX analizinden Fe, Cr, W, C ve Ni elementleri birleşme bölgesinden üç farklı noktadan alınan EDS noktaları birleşme arayüzünde tanımlanmıştır. Bu elementlerin konsantrasyonundaki değişiklikler difüzyon ve termomekanik karıştırmanın bu olayın ana nedeni olduğunu göstermektedir. Ayrıca, C, W ve Cr elementlerinin varlığı WC, CrC ve Cr7C3 gibi karbürlerin oluşumuna neden olur ve bu da sertliğin artmasından kaynaklanır.

**Tablo 2.** Birleşme bölgelerinin EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	1	Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	2
B	Ka	0,00	1,649	0,000	wt.%		B	Ka	0,00	1,496	0,000	wt.%	
C	Ka	127,31	8,120	23,038	wt.%		C	Ka	5,36	3,222	1,569	wt.%	
Ne	Ka	14,66	4,130	1,780	wt.%		Ne	Ka	16,09	4,014	2,931	wt.%	
S	Ka	33,72	6,402	0,867	wt.%		S	Ka	29,43	5,953	1,078	wt.%	
Cr	Ka	408,00	13,539	12,680	wt.%		Cr	Ka	387,59	13,073	15,945	wt.%	
Fe	Ka	1090,87	21,211	53,997	wt.%		Fe	Ka	1029,09	20,642	67,843	wt.%	
Ni	Ka	95,72	7,090	6,847	wt.%		Ni	Ka	95,04	6,888	9,164	wt.%	
W	La	1,79	3,058	0,791	wt.%		W	La	2,49	2,904	1,470	wt.%	
				100	wt.%	Total					100	wt.%	Total

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	3
B	Ka	0,00	1,720	0,000	wt.%	
C	Ka	98,33	7,197	22,524	wt.%	
Ne	Ka	0,00	2,993	0,000	wt.%	
S	Ka	2,09	4,457	0,070	wt.%	
Cr	Ka	36,74	5,197	1,051	wt.%	
Fe	Ka	1177,79	21,980	74,173	wt.%	
Ni	Ka	4,35	3,108	0,407	wt.%	
W	La	3,11	2,491	1,775	wt.%	
				100	wt.%	Total

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada östenitik paslanmaz çelik ve alaşımlı çelik, sürtünme karıştırma saplama kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Makroyapı çalışması birleşmenin tek taraflı simetrik flanş oluşumunu ve devir sayısı flanşındaki artışları göstermiştir.
2. Östenitik paslanmaz çelik ve alaşımlı çelik, FSSW kullanılarak sorunsuz bir şekilde birleştirilmiştir.
3. Sürtünme karıştırma saplama kaynağının mikroyapı incelemesinde, ana malzeme, deforme bölge, tamamen deforme olmuş bölge olarak tanımlanan üç farklı bölge tanımlanmıştır.
4. En yüksek mikrosertlik değeri, eklem arayüzünün dinamik olarak yeniden kristalleşmesi nedeniyle tamamen deforme olmuş bölgede 535 HV olarak kaydedilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] <https://www.thebalance.com/metal-profile-austenitic-stainless-2340126>.
- [2] Brooks JA, Lippold JC. Selection of wrought austenitic stainless steels. ASM Metal Handbooks. Materials Park, Ohio, USA 1993;6:456-469.
- [3] Lippold JC, Kotechi DJ. Welding metallurgy and weldability of stainless steels. Wiley-Interscience. USA: 2005.
- [4] JesudossHynes NR, Nagaraj P, JennifaSujana JA. Ultrasonic evaluation of friction stud welded AA 6063/AISI 1030 steel joints. Materials & Design 2014;62:118-123.
- [5] Wilson J. The development of welding techniques for British fighting vehicles. In: The welding inst. proc. trends in steels and consumables for welding int.conf. 1978: 473–9.

- [6] Celik S, Ersozlu I. Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and 1050 steels. *Mater Des* 2009;30:970–6.
- [7] Serkan B, Musa K, İhsan K. Friction welding of dissimilar AISI 304 And AISI 8640 steels. *European Journal of Technic* 2016;6(2):79-86.
- [8] Kırık I, Ozdemir N. Weldability and joining characteristics of AISI 420/AISI 1020 steels using friction welding. *International Journal of Materials Research*. 2013;104(8):769-775
- [9] Ozdemir N. Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed. *Mater. Lett.* 2005;59:2504–2509. DOI:10.1016/j.matlet.2005.03.034
- [10] Kırık I, Ozdemir N, Teker T. Weldability of martensitic stainless steel to medium carbon steel by using friction welding. *International Iron & Steel Symposium*. Karabuk. Turkey. 2012;2:826–831.
- [11] Ishibashi A, Ezoe S, Tanaka S. *Bulletin of the JSME*. 1983;26(216):1080. DOI:10.1299/jsme1958.26.1080
- [12] Jesudoss Hynes et al., Joining of hybrid AA6063-6SiCp-3Grp composite and AISI 1030 steel by friction welding. *Defence Technology* 2017;13: 338-345.
- [13] Jesudoss Hynes NR, Velu PS, Effect of rotational speed on Ti-6Al-4V-AA 6061 friction welded joints. *Journal of Manufacturing Processes* 2018;32:288-297.