

Farklı Pasolarda Uygulanmış Sürtünme Karıştırma Prosesinin Al-5083'ün Tribolojik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Özlem Baran Acımert^{1*}, Murat Saygın², Ayşenur Keleş Dayauç³, Tefik Küçükömeroğlu⁴

ÖZ

Al ve alaşımları endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Al ve alaşımlarının kullanım talebi de gün geçtikçe artmaktadır. Fakat Al ve alaşımlarının mekanik özellikleri ve aşınma performansı birçok uygulama için yeterli değildir. Al ve alaşımlarının birçok mekanik özelliğini Sürtünme Karıştırma Prosesi (SKP) ile iyileştirmek mümkündür. SKP, metalik malzemelerin mikroyapısını değiştirmek ve yüzey kompozitleri üretmek amacıyla kullanılan basit ve proses parametrelerinin kontrolünün kolay olması nedeniyle de avantajlı bir yöntemdir. SKP ile yeniden kristalleşmiş ince taneli mikro yapı elde edilebilmektedir. SKP günümüzde gemi, uçak, uzay, taşıt vb. birçok sanayi dalında kullanılmaya başlanmıştır. Proses alüminyum, magnezyum, bakır ve titanyum başta olmak üzere birçok malzemenin mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirmede tercih edilir bir hale gelmiştir. Bu çalışmada farklı paso sayılarında uygulanmış SKP'nin Al5083 alaşımının tribolojik özellikleri üzerinde etkileri incelenmiştir. Proses uygulanmış ve uygulanmamış Al5083 alaşımlarının metalografik analizleri için optik mikroskop, sertlik değerlerini belirlemek için mikro sertlik test cihazı ve sürtünme ile aşınma değerlerini elde etmek için pin-on-disk aşınma test cihazı kullanılmıştır. Temassız optik profilometre kullanılarak aşınmış hacimler ölçülmüş ve SEM ile aşınmış yüzeyler karakterize edilmiştir. SKP uygulanmamış Al5083 alaşımı ile kıyaslandığında, tüm SKP uygulanmış Al5083 alaşımlarının sertlik değerleri artmış, sürtünme katsayıları azalmış ve aşınma direnci de artmıştır. Al5083 alaşımının mekanik ve tribolojik özellikleri artan paso sayısı ile önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SKP, Alüminyum 5083, sertlik, triboloji

**İletişim Yazarı*

¹ Doç. Dr., Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan
obaran@erzincan.edu.tr , ORCID: 0000-0002-1139-3212

² Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan
musaygin@hotmail.com , ORCID: 0000-0002-3097-5891

³ Dr. Öğr. Üyesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hitit Üniversitesi, Çorum
aysenurkeles@hitit.edu.tr , ORCID: 0000-0001-7026-8983

⁴ Prof. Dr., Makine Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
tkomer@ktu.edu.tr , ORCI : 0000-0002-4392-9966

Investigation of the Effect of Friction Stir Process Performed in Different Passes on the Tribological Properties of Al-5083

ABSTRACT

Al and its alloys are widely used in industry. Besides, the demand for the use of Al and its alloys is increasing day by day. However, the mechanical properties and wear performance of Al and its alloys are not sufficient for many applications. It is possible to improve many mechanical properties of Al and its alloys with Friction Stir Process (FSP). FSP is an favorable method due to simple and easy to control process parameters used to change the microstructure of metallic materials and produce surface composites. Recrystallized fine-grained microstructure can be obtained with FSP. Today, FSP is used in ships, aircraft, space, vehicles, etc. Also, it has been used in many industries. The process has become preferred in improving the mechanical and tribological properties of many materials, especially aluminum, magnesium, copper and titanium. In this study, the effects of FSP applied in different pass numbers on the tribological properties of Al5083 alloy were investigated. Optical microscope and micro hardness tester were used to determine metallographic analysis of processed and untreated Al5083 alloys and hardness, respectively. Pin-on-disc wear tester were performed to obtain wear values with friction. Wear volume loss were measured using a non-contact optical profilometer and worn surfaces were characterized by SEM. Compared to the non-FSP-performed Al5083 alloy, the hardness values of all FSP-performed Al5083 alloys increased, coefficient of friction decreased, and the wear resistance increased. The mechanical and tribological properties of the Al5083 alloy were significantly improved with the increasing number of passes.

Keywords: SKP, Aluminum 5083, hardness, tribology

1.GİRİŞ

Al-Mg alaşımı olan Al5083, düşük yoğunluk, ağırlık oranına karşı yüksek mukavemet, mükemmel korozyon direnci ve iyi şekillendirilebilirlik nedeniyle havacılık ve nakliye endüstrilerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, ana alaşım elementi magnezyum olan Al5083 yalnızca iş sertleştirme (work hardening) ve mikro alaşımlama ile güçlendirilebilmektedir [1]. Ayrıca, Al5083'ün diğer alüminyum alaşımları gibi önemli problemlerinden biri de, tribolojik performanslarını sınırlayan nispeten düşük aşınma direncidir [2]. Prasada ve ark. [3], tane inceltmenin alüminyum ve alaşımlarının aşınma direnci ve yük taşıma kapasitesinde iyileşme sağladığını bildirmiştir. Ayrıca, alüminyum alaşımlarının sertliklerini ve mukavemetlerini arttırmak için ultra-ince taneli mikroyapı üretmek konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenle, Al5083'ün tüm iş parçasında ince taneli mikroyapıların elde edilmesi için aşırı (şiddetli) plastik deformasyon işlemleri geliştirilmiştir [4].

Sürtünme Karıştırma Prosesi (SKP), Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) temel prensipleri temel alınarak Mishra ve ark. [5,6] tarafından mikroyapısal modifikasyon için son zamanlarda geliştirilmiş bir yöntemdir. Son derece basit olan

bu yöntemde uç (iğne) ve omuza sahip dönen bir alet, tek bir malzeme parçası üzerine yerleştirilir ve yoğun plastik deformasyona bağlı olarak işlenmiş bölgede önemli mikroyapısal değişiklikler meydana getirir [7]. SKP'nin alüminyum alaşımlarının mikro yapısını inceltmesi ve böylece mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için etkili bir yol olduğu kanıtlanmıştır [8, 9]. Behnagh ve ark. [10], SKP'nin Al 5083'ün mukavemet arttırması için mekanik bileşen yüzeyini lokal olarak değiştirmek üzere uygulanabildiğini rapor etmiştir.

Bu çalışmada, tribolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla Al 5083 alüminyum alaşımına farklı paso sayılarında sürtünme karıştırma prosesi uygulanmış, ve paso sayısının yapısal, mekanik ve tribolojik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2.YÖNTEM VE ÖLÇÜMLER

Bu çalışmada, 8 mm kalınlığında ve 200 mm uzunluğunda Al5083 taban malzemeler kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma prosesi uygulanmadan önce, Al5083 taban malzemeler 600-800-1200-2000 mesh zımparalar ile zımparalanmış, ardından ultrasonik temizleme cihazı ile 20 dk temizlendikten sonra etil alkol ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Al5083 taban malzemelere 1'den 5 pasoya kadar sürtünme karıştırma prosesi uygulanmış olup, tüm prosesler 1250 d/d dönme hızı, 135 mm/d ilerleme hızı, 7500 kN±400 kNyük altında ve 3° takım açısında gerçekleştirilmiştir. Proseste karşı takım malzemesi olarak AISI H13 takım çeliği kullanılmıştır.

Farklı pasolarda sürtünme karıştırma prosesi uygulandıktan sonra, 8 mm kalınlığında ve 200 mm uzunluğunda Al5083 taban malzemelerin proses edilmiş bölgelerinden 30mmX35mmX8mm boyutunda numuneler kesilmiştir. Proses edilmiş bölgelerden alınan Al5083 numuneler tekrar 600-800-1200-2000 mesh zımparalar ile zımparalanmıştır.

Mikroyapı çalışmaları için zımparalanmış numuneler alümina (Al_2O_3) ile parlatılmış ve %25HF+%25HNO₃+%25HClO₃+%25CH₃OH çözeltisi ile 15 saniye dağlanmıştır. Dağlanmış numuneler etil alkol ile yıkanmış ve ardından kurutulmuştur. Dağlanmış Al5083 taban malzeme ve farklı pasolarda sürtünme karıştırma prosesi uygulanmış Al5083 numunelerin mikroyapısı optik mikroskop (Nikon ECLIPSE MA200) kullanılarak görüntülenmiştir. Optik mikroskoptan elde edilen sonuçlar üzerinden "Ortalama tane boyutu= 1/(kesişmelerin sayısı/çizginin gerçek uzunluğu)" formülü kullanılarak tane boyutları hesaplanmıştır.

SKP uygulanmamış ve uygulanmış Al5083 numunelerin sertlik değeri Vickers sertlik testleri ile 15 s için 100 gr yük altında belirlenmiştir. Sürtünme ve aşınma özelliklerini belirlemek için pin-on-disk (Teer coated ltd.) aşınma test cihazı kullanılmıştır. Aşınma test parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Aşınma oranları 3D optik profilometre ile analiz

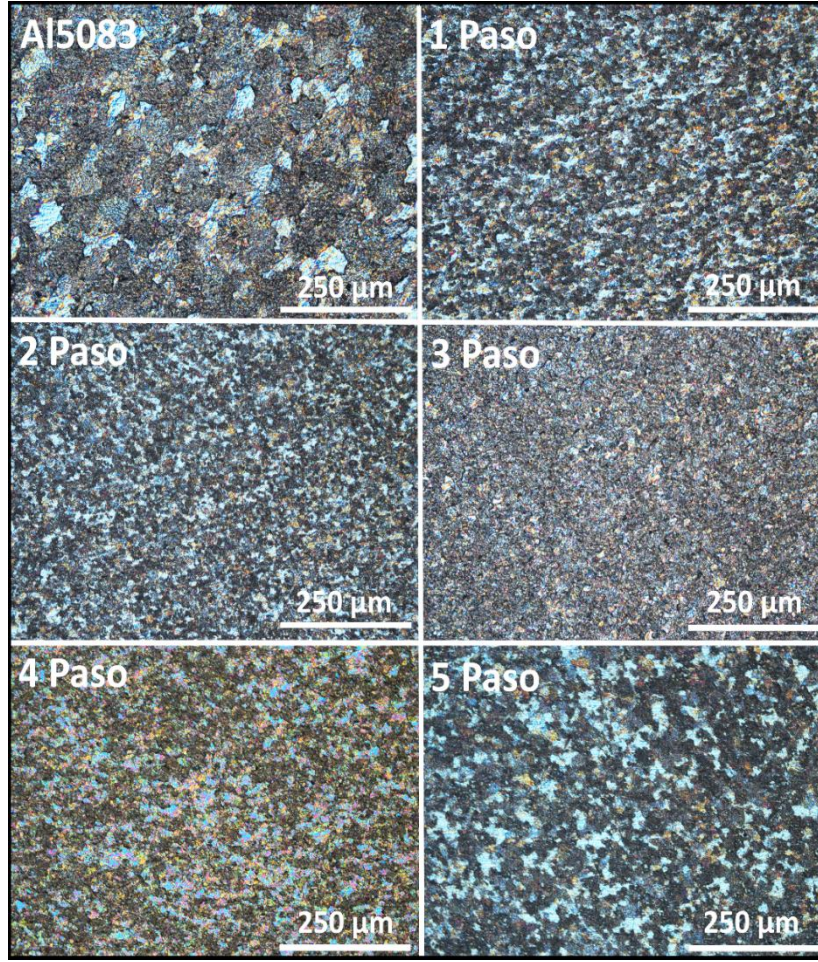
edilerek belirlenmiştir. Aşınma iz görüntüleri ise taramalı elektron mikroskobu (FEI Quanta FEG-450 SEM-EDAX) kullanılarak karakterize edilmiştir.

Tablo 1. Aşınma test parametreleri

Parametre	
Aşındırıcı Bilye	Al ₂ O ₃
Aşındırıcı Bilye Çapı (mm)	5
Hız (cm/s)	5
Uygulanan Yük (N)	2
Aşınma İz çapı (mm)	5
Deney Süresi (dk)	20

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Al5083 taban malzeme ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir. Yapılan optik mikroskop çalışmaları sonucu proses edilmiş tüm Al5083 numunelerin, proses edilmemiş Al5083 numunenin tane boyutunu azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, Al5083 ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin tane boyutları Tablo 2’de verilmiştir. Farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerde ise, 3 pasoya kadar tane boyutunda önemli miktarda bir azalma gözlemlenmiştir. Soleymani ve ark. [7] artan paso sayısı ile tane boyutunun azaldığını rapor etmiştir. Tane boyutundaki bu azalma, SKP esnasında takım piminin oluşturduğu mekanik etki (plastik deformasyon) ve sürtünme ısısı sonucu, yüksek açılı tane sınırlarına eğilimli bir ince tanecikli eşlenik yapı üretmek için dinamik yeniden kristalizasyon (rekristalizasyon) oluşmasından kaynaklanmaktadır [1,7,11-13]. 4 paso ve 5 paso işlem gören numunelerde tane boyutlarında bir artış gözlemlenmiştir. Chen ve ark. [1] ard arda çakışan geçişlerin uygulanmasının, tane büyüklüğünü önemli ölçüde değiştirmedğini rapor etmiştir.



Şekil 1. Al5083 taban malzeme ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin optik mikroskop görüntüleri

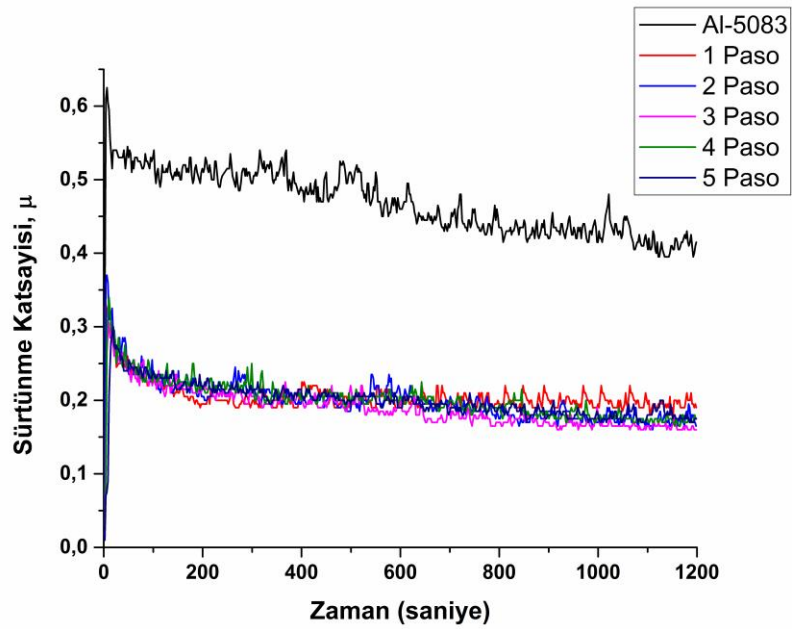
Tablo 2. Al5083 taban malzeme ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin tane boyutları ve sertlik değerleri

	Tane Boyutu (µm)	Sertlik (HV_{0.01})
Al5083	62.5	86
1 Paso	16.67	97.12
2 Paso	12.82	118
3 Paso	0.15	134.25
4 Paso	24.39	90.62
5 Paso	32.9	87.23

Al5083 taban malzeme ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin sertlik değerleri Tablo 2’de verilmiştir. SKP işlemi Al5083 taban malzemenin sertliğini önemli ölçüde artırmıştır. Eskandari ve ark. [14] artan paso sayısı ile sertliğin arttığını rapor etmiştir. Bu çalışmada da, azalan tane boyutu ile birlikte, 3 pasoya kadar proses edilmiş

numunelerin sertlik değeri artırmıştır. Hall-Petch ilişkisine göre tane büyüklüğündeki azalma, akma dayanımını arttırmakta ve bu da sertlik değerini arttırmaktadır. 4 ve 5 pasoda ise artan tane boyutu ile sertlik değerinde azalma gözlemlenmiştir.

Al5083 taban malzeme ve sürtünme karıştırma pro SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafiği Şekil 3’de verilmiştir. Ayrıca sürtünme katsayısı değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Proses edilmiş tüm numunelerin sürtünme katsayısının, Al5083’ün sürtünme katsayısından düşük olduğu gözlemlenmiştir. Tüm pasolarda birbirine yakın sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Ancak sürtünme katsayısı değerlerinde 3 Pasodan sonra bir miktar artış görülmüştür.



Şekil 3. Al5083 ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

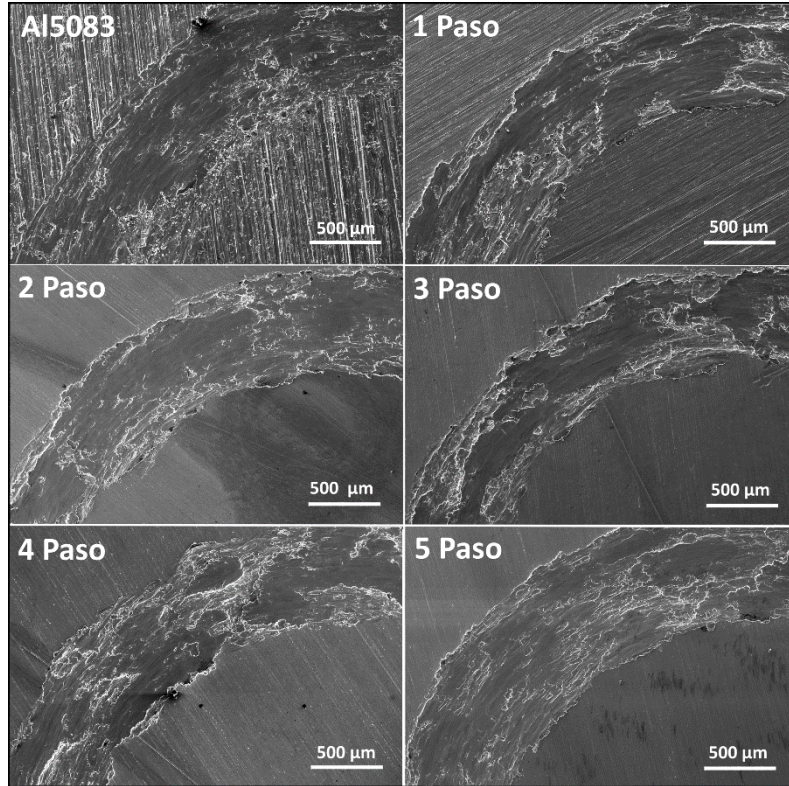
Tablo 3. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri

	Sürtünme katsayısı, μ	Aşınma oranı (mm^3/Nm)
Al5083	0.47	$6.8 \cdot 10^{-4}$
1 Paso	0.21	$5.8 \cdot 10^{-4}$
2 Paso	0.20	$4,9 \cdot 10^{-4}$
3 Paso	0.19	$4.3 \cdot 10^{-4}$
4 Paso	0.22	$6.0 \cdot 10^{-4}$
5 Paso	0.23	$6.2 \cdot 10^{-4}$

Ayrıca, Al5083 taban malzeme ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin aşınma oranları Tablo 3’de verilmiştir. Proses edilmiş tüm numuneler, Al5083 taban malzemenin aşınma oranını azaltmıştır. Sürtünme

katsayısı ile doğru orantılı olarak, 3 pasoya kadar aşınma oranları azalırken, 4 ve 5 pasolarda aşınma oranlarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Mahmoud [15] A390 Al alloy üzerinde 3 pasoya kadar sürtünme karıştırma prosesini incelemiş, ve proses edilmiş yüzey tabakasının sertlik ve aşınma direncinin arttığını ve sürtünme katsayısının proses edilmemiş malzeme ile karşılaştırıldığında düştüğünü rapor etmiştir.

Ayrıca Al5083 taban malzeme ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin taramalı elektron mikroskobundan elde edilen aşınma iz görüntüleri Şekil 4’de verilmiştir. Al5083 taban malzeme ile kıyaslandığında, SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin aşınma iz genişliklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Al5083 taban malzemede önemli ölçüde abrasive aşınma ve delaminasyon (tabakalar arası ayrışma) meydana gelmiştir. 3 pasoya kadar yapılan sürtünme karıştırma prosesi ile abrasif aşınma miktarı ve delaminasyon azalırken, 4 ve 5 pasoda yapılan proseslerde abrasif aşınma ve delaminasyon miktarı tekrar artmıştır. Azalan sürtünme katsayısı ile kayma sırasında yüzey altı malzeme tabakalarına uygulanan kesme gerilmeleri seviyesindeki azalmaya yol açtığını ve böylece delaminasyonun azaldığı belirtilmiştir [7].



Şekil 3. Al5083 ve SKP ile farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerin aşınma iz görüntüleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Al5083 taban malzemelere 1'den 5 pasoya kadar SKP işlemi uygulanmıştır. Proses edilmiş tüm Al5083 numunelerin, Al5083 taban malzemenin tane boyutunu azalttığı gözlemlenmiştir. Farklı pasolarda proses edilmiş Al5083 numunelerde ise, 3 pasoya kadar tane boyutunda önemli miktarda bir azalma görülmüştür. SKP işlemi Al5083 taban malzemenin sertliğini önemli ölçüde artırmıştır. Azalan tane boyutu ile birlikte, 3 pasoya kadar proses edilmiş numunelerin sertlik değeri artırmıştır. 4 ve 5 pasoda ise artan tane boyutu ile sertlik değerinde azalma gözlemlenmiştir. Proses edilmiş tüm numunelerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı, Al5083'ün sürtünme katsayısından ve aşınma oranından düşüktür. Aşınma testleri sonucu, Al5083 taban malzemede önemli ölçüde abrasive aşınma ve delaminasyon (tabakalar arası ayrışma) meydana gelmiştir. 3 pasoya kadar yapılan sürtünme karıştırma prosesi ile abrasif aşınma miktarı ve delaminasyon azalmıştır.

SİMGELER/KISALTMALAR

Al	Alüminyum
SKP	Sürtünme Karıştırma Prosesi
FSP	Friction Stir Process
Mg	Magnezyum
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SKK	Sürtünme Karıştırma Kaynağı
d/d	Devir/dakika
mm/d	milimetre/dakika
kN	kiloNevton
mm	milimetre
Al ₂ O ₃	Alümina
S	Saniye
Gr	Gram
3D	3 Boyutlu
Cm	Santimetre

KAYNAKÇA

- 1- **Chen, Y., Ding, H., Li, J., Cai, Z., Zhao, J., Yang, W.** 2016. "Influence of multi-pass friction stir processing on the microstructure and mechanical properties of Al-5083 alloy", *Materials Science&Engineering*, A650 pp. 281–289. DOI: 10.1016/j.msea.2015.10.057
- 2- **Venkataraman, B. and Sundararajan, G.** 2000. "Correlation between the Characteristics of the Mechanically Mixed Layer and Wear Behaviour of Aluminium, Al-7075 Alloy and Al-MMCs", *Wear*, 245(1-2) pp. 22-38. DOI: 10.1016/S0043-1648(00)00463-4
- 3- **Prasada Rao, A. K., Das K., Murty, B. S. and Chakraborty, M.** 2004. "Effect of Grain Refinement on Wear Properties of Al and Al-7Si Alloy", *Wear*, Vol. 257, No. 1-2, pp. 148-153. DOI: 10.1016/j.wear.2003.10.017
- 4- **Sakai, G., Horita, Z., Langdon, T.G.** 2005 "Grain refinement and superplasticity in an aluminium alloy processed by high-pressure torsion", *Materials Science and Engineering: A*, 393(1,2), 344-351. DOI: 10.1016/j.msea.2004.11.007
- 5- **Mishra, R.S., Mahoney, M.W., McFadden, S.X., Mara, N.A., Mukherjee, A.K.** 2000. "High strain rate superplasticity in a friction stir processed 7075 Al alloy", *Scripta Mater.*, 42, pp. 163-168. DOI: 10.1016/S1359-6462(99)00329-2
- 6- **Mishra R.S., Mahoney, M.W.** 2001. "Friction stir processing: A new grain refinement technique to achieve high strain rate superplasticity in commercial alloys", *Materials Science Forum*, 357-359, pp. 507-514. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.357-359.507
- 7- **Soleymani, S., Abdollahzadeh A., Alidokht, S. A.** 2011. "Improvement in Tribological Properties of Surface Layer of an Al Alloy by Friction Stir Processing", *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 1, pp. 95-100. DOI: 10.4236/jsemat.2011.13014
- 8- **Mishra, R. S. and Ma, Z. Y.** 2005. "Friction Stir Welding and Processing", *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 50 (1-2), pp. 1-78. DOI: 10.1016/j.mser.2005.07.001
- 9- **Santella, M. L., Engstrom T., Storjohann D. and Pan, T. Y.** 2005. "Effects of Friction Stir Processing on Mechanical Properties of the cast Aluminum Alloys A319 and A356," *Scripta Materialia*, Vol. 53, No. 2, pp. 201-206. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2005.03.040
- 10- **Behnagh, R. A., Shen, N., Abdollahi, M, Ding H.** 2006. "Ultrafine-Grained Surface layer formation of Aluminum Alloy 5083 by Friction Stir Processing", *Procedia CIRP* 45, pp.243-246. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.062
- 11- **Su, J. Q., Nelson, T. W., Sterling C. J.** 2005. "Microstructure evolution during FSW/FSP of high strength aluminum alloys", *Materials Science and Engineering A*, 405(1), pp. 277–286. DOI: 10.1016/j.msea.2005.06.009
- 12- **Blum, W, Zhu, Q, Merkel, R, Mcqueen, H J.** 1996. "Geometric dynamic recrystallization in hot torsion of Al-5Mg-0.6Mn (AA5083)", *Materials Science and Engineering A*, 205(1), pp. 23–30. DOI: 10.1016/0921-5093(95)09990-5
- 13- **Jata, K. V. and Semiatin, S. L.** 2000. "Continuous Dynamic Re-crystallization during Friction Stir Welding of High Strength Aluminum Alloys", *Scripta Materialia*, 43 (8), pp. 743-749. DOI: 10.1016/S1359-6462(00)00480-2

- 14-Eskandari, H., Taheri, R.** 2015. "A Novel Technique for Development of Aluminium Alloy Matrix/TiB₂/Al₂O₃ Hybrid Surface Nanocomposite by Friction Stir Processing", *Procedia Material Science*, 11, pp. 503-508. DOI: 10.1016/j.mspro.2015.11.080
- 15-Mahmoud, TS.** 2013. "Surface modification of A390 hypereutectic Al-Si cast alloys using friction stir processing", *Surface Coating and technology*, 228, pp. 209–20. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2013.04.031