

The Effect of Welding Trip on Weld Strength of Friction Stir Welded of Butt Joint AA5052-AA5052 and Lap Joint AA1100-Acrylic

Devi Chandra¹, Rahmat Fajar² dan Jon Affi^{1,*}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang, 25163

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas Padang, Padang, 25163

*Corresponding author: jonaffi@gmail.com

Abstract. In the present study, butt joints of AA5052 Aluminium alloy and lap joints of AA1100 Aluminium alloy and Acrylic were produced by Friction Stir Welding, and the effect of welding trip on weld strength and joinability were investigated. Friction stir welding has been carried out at welding speed of 100 mm/min for both butt and lap joints, and with tool rotational speed of 900 rpm and 1200 rpm for butt joint and lap joint respectively. The welds were produced by varying four types of welding trip namely one trip-one side, one trip-two side, two trip-one side and two trip-two side. It was found that the highest to the lowest tensile strength of welded joint of AA5052 were produced by two trip-one side, one trip-two side, one trip-one side and two trip-two side welding trip respectively. The highest tensile strength of butt joint AA5052 was found of 172 MPa. For lap joint AA1100-Acrylic, welded joint can be formed using friction stir welding by one trip-one side welding trip only. The highest shear strength of this weld joint was found of 2.72 MPa.

Abstrak. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh laluan pengelasan terhadap kekuatan sambungan dan tingkat ketersambungan las Friction Stir Welding pada sambungan butt joint paduan Aluminium 5052 dan sambungan lap joint paduan Aluminium 1100 dan Akrilik. Empat bentuk laluan pengelasan yaitu satu laluan-satu sisi, satu laluan-dua sisi, dua laluan bolak balik-satu sisi dan dua laluan bolak balik-dua sisi telah digunakan untuk menghasilkan sambungan las Friction Stir Welding. Pengelasan dilakukan dengan kecepatan 100 mm/menit untuk kedua jenis sambungan, dan kecepatan putar tool 900 rpm dan 1200 rpm untuk sambungan butt joint dan lap joint secara berturut-turut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik sambungan las AA5052-AA5052 dari nilai tertinggi ke nilai terendah berurutan didapatkan pada pengelasan dengan laluan pengelasan dua laluan-satu sisi, satu laluan-dua sisi, satu laluan-satu sisi dan dua laluan-dua sisi. Nilai tertinggi kekuatan tarik sambungan las butt joint AA5052 adalah 172 MPa. Pada penyambungan lap joint AA1100 - Acrylic, sambungan las hanya terbentuk pada laluan pengelasan satu laluan-satu sisi saja, dimana kekuatan geser sambungan paling tinggi didapatkan sebesar 2.72 MPa.

Kata kunci: Friction stir welding, welding trip, aluminium alloy, acrylic

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Saat ini, usaha untuk mengurangi biaya produksi dan penggunaan material ringan untuk menurunkan berat produk merupakan fokus utama bagi industri manufaktur ringan seperti industri otomotif, industri elektronik dan industri pesawat terbang. Industri-industri tersebut telah menggunakan logam ringan seperti Aluminium alloy, Magnesium alloy dan material Polimer seperti plastik dalam pembuatan komponen/struktur mekanik untuk menurunkan berat total tanpa mengurangi kekuatan yang disyaratkan. Disamping itu, penggunaan material plastik juga potensial untuk menurunkan biaya produksi karena sifatnya yang relative mudah dimanufaktur, lebih fleksibel dalam desain dan mampu mengisolasi panas dengan baik [1].

Penggunaan material yang berbeda jenis seperti plastik dan aluminium secara bersama untuk produk industri telah menawarkan tingkat kebebasan yang tinggi dalam proses perancangan

dan pembuatannya, termasuk kemampuan untuk menggabungkan sifat mekanik dan termal yang diinginkan. Namun, dalam kenyataannya ditemukan bahwa terdapat kesulitan untuk menyatukan keduanya. Selama ini penggabungan kedua material tersebut untuk komponen berukuran besar dan kompleks hanya dapat dilakukan dengan sambungan mekanik seperti menggunakan baut dan atau sambungan lekat seperti sambungan adhesive, yang memiliki kekurangan dan keterbatasan karena sifat bawaannya.

Beberapa tahun terakhir, para peneliti telah menawarkan beberapa metode untuk menyambung material logam yang berbeda seperti menyambung aluminium-magnesium maupun sesama aluminium jenis tertentu seperti AA5052 yang sulit disambung dengan pengelasan konvensional [2-5]. Paduan aluminium 5052 saat ini dianggap sebagai bahan yang potensial untuk bidang kedirgantaraan dan pembuatan kapal karena kombinasi sifat-sifatnya

pada temperature ruang dan temperature tinggi dapat diterima dengan baik. Karena logam ini weldability nya relative rendah, maka mendapatkan sambungan las dari paduan ini masih menjadi daya tarik bagi banyak peneliti.

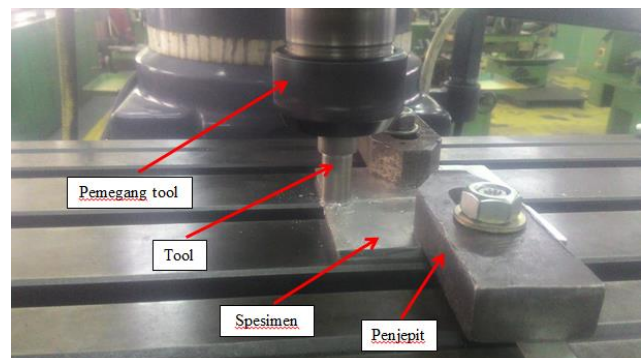
Teknik pengelasan padat seperti pengelasan gesek, pengelasan titik gesek, pengelasan gesek titik putar dan pengelasan gesek putar (FSW) telah digunakan untuk menyambung logam yang sejenis maupun yang berbeda jenis. FSW tergolong jenis pengelasan padat (solid state welding) yang tidak memerlukan pencairan bagian material yang akan disambung seperti pada las konvensional [6]. Pengelasan FSW memanfaatkan efek dari penekanan dan perputaran tool secara bersamaan dan simultan pada bagian material yang akan disambung. Penekanan tool menyebabkan terjadinya gesekan antara bagian shoulder dari tool dengan daerah sambungan sehingga menghasilkan panas yang menyebabkan material yang disambung menjadi lunak/mengalami deformasi plastis, lalu material akan diaduk secara mekanik pada level molecular oleh bagian pin dari tool yang berputar sehingga terbentuk sambungan. Proses ini berlangsung kontiniu seiring dengan gerakan translasi tool dengan kecepatan konstan sepanjang daerah yang akan disambung (joint line). Pengelasan FSW ini dipatenkan oleh Welding Institute (TWI) pada Desember 1991 [7], dan telah terbukti menjadi metode penyambungan yang jauh lebih baik dalam hal mengurangi munculnya distorsi dan tegangan sisa yang merupakan masalah utama pada pengelasan konvensional [6]. Teknik pengelasan ini telah digunakan untuk berbagai aplikasi struktur dan penyambungan komponen seperti pada komponen pesawat terbang dan otomotif. Pada pengelasan FSW, terjadi perubahan yang cukup besar pada sifat mekanik, mikrostruktur dan distribusi panas di berbagai area zona lasan akibat tingkat regangan yang tinggi dan siklus termal selama proses pengelasan. Evolusi mikrostruktur, sifat mekanik, dan distribusi panas pada pengelasan FSW ini sangat bergantung pada parameter proses pengelasan, geometri dan material tool sehingga memungkinkan untuk memperoleh berbagai variasi sifat mekanik dan mikrostruktur sambungan las.

Sebagian besar studi tentang FSW difokuskan pada efek material dan bentuk geometri tool, kedalaman pin, dan parameter proses pengelasan terhadap sifat-sifat mekanik dan mikrostruktur dari sambungan las [8-12]. Sangat sedikit penelitian yang mengkaji pengaruh laluan pengelasan terhadap performa sambungan las. Pada penelitian ini pengelasan gesek putar FSW digunakan untuk menyambung logam sejenis pelat aluminium alloy

5052 dan aluminium alloy 5052 berbentuk butt joint dan menyambung material tak sejenis pelat Akrilik dan aluminium alloy 1100 berbentuk lap joint dengan memvariasikan laluan pengelasannya. Tujuannya adalah untuk mendapatkan pengaruh variasi laluan pengelasan tersebut terhadap kekuatan sambungan las dan tingkat ketersambungan sambungan las.

Metode Penelitian

Sebuah mesin freis jenis SM-5 yang terdapat di Politeknik Negeri Padang digunakan untuk proses FSW dimana pada mesin ini dipasangkan sebuah tool yang akan bergerak rotasi dengan kecepatan putar yang dapat dipilih. Tool FSW terbuat dari baja ST37 dengan bagian shoulder berprofil *flat* dan ukuran panjang serta diameternya masing-masing 85 mm dan 15 mm. Sedangkan pin tool dibuat berbentuk silindris dengan ukuran diameter dan panjangnya masing-masing 5 mm dan 4,7 mm. Pada bageian luar pin ini dibuat ulir dengan jarak ulir (pitch) sebesar 0,5 mm. Kedua specimen sambungan AA5052-AA5052 dan AA1010-Akrilik disiapkan dalam bentuk pelat dengan ukuran panjang x lebar x tebal masing-masing 100 mm x 50 mm x 5 mm dan 100 mm x 50 mm x 3 mm. Sifat mekanik material ditunjukkan pada Tabel 1. Spesimen diposisikan diatas meja mesin freis yang dapat bergerak translasi dengan kecepatan tertentu, lalu dijepit dengan kuat supaya ketika tool berputar dan specimen bergerak translasi posisi specimen pada meja mesin freis tidak berubah. Gambar 1 memperlihatkan tool dan specimen yang terpasang pada mesin freis. Bentuk sambungan untuk penyambungan AA5052-AA5052 adalah butt joint sedangkan untuk penyambungan AA1100-Akrilik menggunakan sambungan lap joint. Pengelasan FSW pada kedua penyambungan dilakukan dengan memvariasikan bentuk laluan pengelasan sedangkan parameter proses pengelasan dibuat tetap. Parameter proses pengelasan dan bentuk variasi laluan yang diterapkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Pemasangan tool dan specimen

Pengujian kekuatan sambungan las dilakukan menggunakan mesin Uji Tarik. Bentuk spesimen uji tarik untuk sambungan butt join AA5052-AA5052

menghasilkan sambungan las. Hal ini terjadi karena saat dilakukan pengelasan secara bolak-balik maka sisi akrilik terbakar sehingga terbentuk lubang pada

Tabel 1. Sifat-sifat mekanik material yang disambung.

Material	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan luluh (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (GPa)
AA5052	230	195	12	72
AA1100	110	105	12	70
Akrilik	72	54	2	-

Tabel 2. Parameter proses pengelasan dan variasi laluan pengelasan yang digunakan.

Material	Bentuk Sambungan	Laluan Pengelasan	Putaran Tool (rpm)	Kecepatan Las (mm/menit)
AA5052-AA5052	Butt joint	Satu laluan sisi atas (laluan 1)	900	100
		Dua laluan bolak balik sisi atas (laluan 2)		
		Satu laluan sisi atas dan bawah (laluan 3)		
		Dua laluan bolak balik sisi atas dan bawah (laluan 4)		
AA1100-Akrilik	Lap joint	Satu laluan sisi atas (laluan 1) Dua laluan bolak balik sisi atas (laluan 2)	1200	100

mengacu kepada standar ASTM E8M-0, sedangkan spesimen uji tarik sambungan lap joint AA1011-Akrilik mengacu kepada standar ASTM D1002-5.

Pengamatan bentuk permukaan sambungan dan tingkat ketersambungan dilakukan dengan menggunakan mikroskop stereo. Untuk keperluan ini, sebelum diamati dibawah mikroskop, daerah sambungan las diampelas terlebih dahulu dengan ampelas grade 80, 100, dan 2000 secara berurutan dan dietsa dengan larutan 1 g NaOH + 100 mL air selama 10-15 detik.

Hasil dan Pembahasan

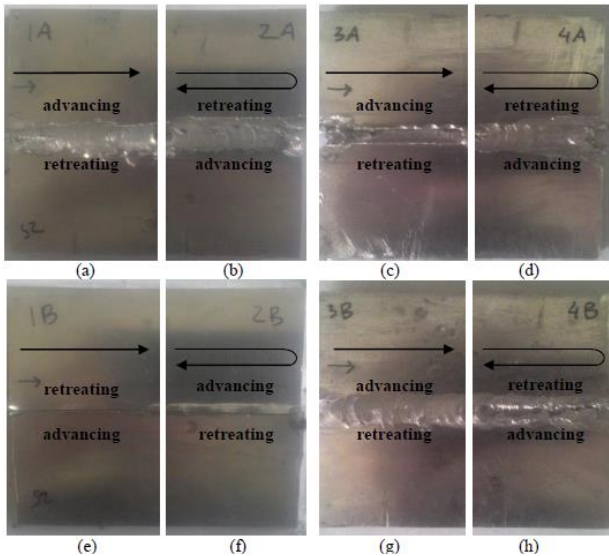
Ketersambungan Sambungan Las FSW

Hasil pengelasan sambungan butt join AA5052-AA5052 diperlihatkan pada Gambar 2. Pengamatan visual terhadap daerah sambungan menunjukkan bahwa ke empat bentuk variasi laluan pengelasan mampu menyambungkan kedua bagian material ini. Sedangkan pengamatan terhadap daerah sambungan lap joint antara AA1100-Akrilik seperti terlihat pada Gambar 3 menunjukkan bahwa sambungan las dengan satu laluan dapat menyambungkan kedua material, sedangkan pengelasan dua laluan bolak-balik tidak

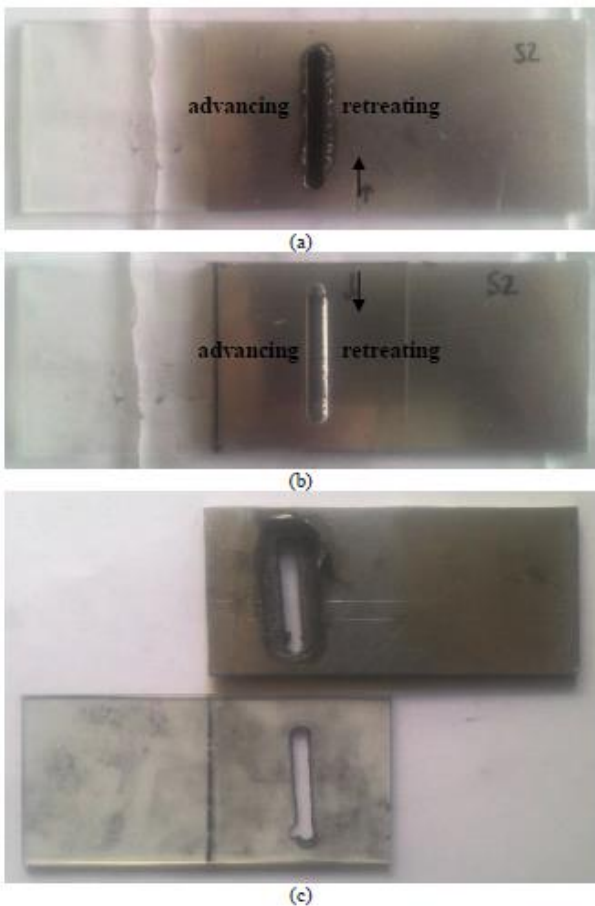
daerah pengelasannya.

Hasil pengamatan secara mikroskopik dengan menggunakan mikroskop stereo terhadap permukaan sambungan las AA1100-akrilik diperoleh gambaran daerah sambungan las dengan perbesaran 0,63x dari sisi akrilik seperti terlihat pada Gambar 4. Dari Gambar 4, bagian A adalah daerah material induk (aluminium dan akrilik), B adalah daerah HAZ (*heat affected zone*), C adalah daerah TMAZ (*thermomechanically affected zone*), dan D adalah daerah SZ (*stir zone*). Gambar 5 menunjukkan daerah sambungan las dengan perbesaran 2x pada (a) sisi *retreating*, (b) daerah SZ, dan (c) sisi *advancing*. Pada daerah material induk baik aluminium ataupun akrilik merupakan daerah yang tidak dipengaruhi oleh pengelasan FSW. Daerah HAZ mengalami proses termal dimana temperatur meningkat menyebabkan akrilik meleleh dan melekat pada sisi aluminium. Daerah TMAZ mengalami dua tahap perlakuan pada material meliputi proses termal dan mekanik. Pada proses mekanik terjadi deformasi plastis pada aluminium dan akrilik sedangkan pada proses termal akrilik meleleh dan melekat pada daerah aluminium. Daerah SZ merupakan daerah dimana

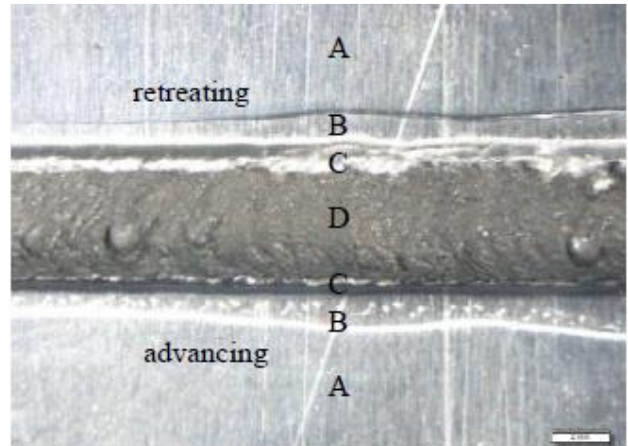
aluminium dan akrilik mengalami penetrasi dan pengadukan oleh *pin tool*. Daerah ini menghasilkan serbuk aluminium dan akrilik dimana hanya sebagian kecil dari serbuk tersebut yang menempel pada daerah sambungan las.



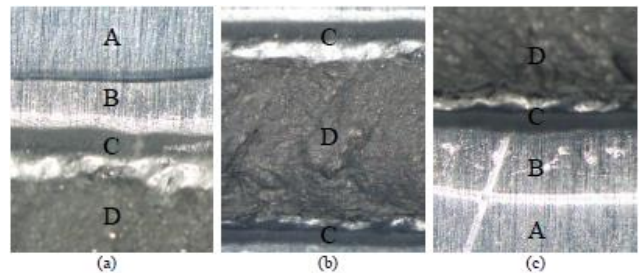
Gambar 2. Sambungan las AA5052 (a) laluan 1 tampak atas, (b) laluan 2 tampak atas (c) laluan 3 tampak atas, (d) laluan 4 tampak atas, (e) laluan 1 tampak bawah, (f) laluan 2 tampak bawah, (g) laluan 3 tampak bawah, dan (h) laluan 4 tampak bawah



Gambar 3. Hasil pengelasan FSW AA1100-akrilik (a) laluan 1 tampak dari sisi aluminium, (b) laluan 1 tampak dari sisi akrilik, dan (c) laluan 2



Gambar 4. Daerah sambungan las AA1100-akrilik perbesaran 0,63x



Gambar 5. Daerah sambungan las AA1100-akrilik perbesaran 2x (a) sisi *retreating*, (b) daerah SZ, dan (c) sisi *advancing*.

Kekuatan Sambungan Las

Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dan regangan sambungan las FSW AA5052-AA5052 seperti ditunjukkan pada tabel 3. Berdasarkan data pada tabel 3 terlihat bahwa kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sambungan las bolak-balik satu sisi dengan nilai kekuatan tarik rata-rata 138,12 MPa. Pada variasi dua laluan bolak-balik-sisi atas daerah ini mengalami kenaikan temperatur yang cukup yang menyebabkan terjadinya penyambungan. Pengulangan laluan yang menjadikan kedua sisi sambungan sama-sama pernah mengalami bagian *advancing* dan *retreating* mengakibatkan terjadinya dua kali rekristalisasi sehingga ukuran butir menjadi lebih halus yang akan meningkatkan kekuatan tarik sambungan. Pengulangan laluan las juga mampu menutupi cacat void yang terjadi pada laluan las pertama yang juga akan meningkatkan kekuatan sambungan las. Variasi dua laluan bolak-balik-sisi atas dan bawah menghasilkan kekuatan tarik yang terendah karena pengelasan ulang pada sisi yang berbeda secara bolak-balik cenderung akan merusak sambungan yang telah terbentuk sebelumnya. Variasi satu laluan-dua sisi memiliki

kekuatan sambungan lebih tinggi dari satu laluan-satu sisi karena pengelasan ulang satu kali pada sisi yang berbeda akan

Tabel 3. Kekuatan Tarik Sambungan Las FSW AA5052-AA5052.

Variasi Laluan Pengelasan	Kode Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)
Satu laluan – sisi atas	1a	68,47
	1b	92,84
	1c	74,20
	Rata-rata	78,50
Dua laluan bolak-balik – sisi atas	2a	106,86
	2b	135,20
	2c	172,30
	Rata-rata	138,12
Satu laluan – sisi atas dan bawah	3a	92,44
	3b	103,76
	3c	110,05
	Rata-rata	102,08
Dua laluan – sisi atas dan bawah	4a	68,13
	4b	49,05
	4c	88,90
	Rata-rata	68,69

Tabel 4. Kekuatan Geser Sambungan Las FSW AA1100-Akrilik.

Variasi Laluan Pengelasan	Kode Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)
Satu laluan – sisi atas (aluminium)	1s	2,02
	2s	2,72
	3s	0,92
	Rata-rata	1,89

menghasilkan sambungan yang lebih kuat pada daerah ketebalan 0,2 mm pelat yaitu jarak antara ujung pin tool dengan tepi bawah pelat. Ketebalan pelat AA5052 adalah 5 mm dan kedalaman makan *pin tool* adalah 4,8 mm sehingga terdapat daerah ketebalan 0,2 mm pelat yang tidak mengalami pengelasan FSW.

Nilai kekuatan geser sambungan las *lap joint* AA1100-akrilik dapat dilihat pada tabel 4. Dari tabel 4 dapat disimpulkan bahwa pada pengelasan AA1100-akrilik hanya variasi satu laluan-sisi aluminium yang mengalami penyambungan dengan nilai rata-rata kekuatan gesernya adalah 1,89 MPa. Sedangkan variasi dua laluan bolak-balik-sisi aluminium tidak terjadi penyambungan.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekuatan sambungan las pada butt joint AA5052 aluminium alloy dipengaruhi oleh bentuk laluan las yang diterapkan.
2. Pada pengelasan butt joint AA5052 Aluminium alloy, kekuatan sambungan las tertinggi diperoleh dengan laluan las dua laluan bolak balik-satu sisi, diikuti kemudian oleh satu laluan-dua sisi dan satu laluan-satu sisi. Kekuatan sambungan las terendah didapat pada laluan las dua laluan bolak balik-dua sisi.
3. Pada pengelasan lap joint AA1100 dan Akrilik, sambungan las hanya dapat terjadi pada laluan satu laluan-satu sisi saja.

Penghargaan

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas atas sokongan dana penelitian yang tertuang dalam kontrak penelitian No. 054/UN.16.09.D/PL/2017.

Referensi

- [1] Moshwan, R., Firman, R., Yusof, F., Hassan, M.A., Hamdi, M., and Fadzila, M., 2014. Dissimilar friction stir welding between polycarbonate and AA 7075 aluminium alloy. *International Journal Material Research*, 105, 1-9.
- [2] Liu., H.J, Fujii, H., Maeda, M., and Nogi, K., 2003. Mechanical properties of friction stir welded joints of 1050-H24 aluminium alloy. *Journal Science and Technology of Welding and Joining*, 8, 6, 450–454.
- [3] Yusof, F., Ridha, M., Moshwan, R., Fadzil, M., and Miyashita, Y., 2016. Effect of Surface States on Joining Mechanisms and Mechanical Properties of Aluminum Alloy (A5052) and Polyethylene Terephthalate (PET) by Dissimilar Friction Spot Welding. *Metal*, 6, 101, 1-13
- [4] Oliveira, P.H.F. Amancio-Filho, S.T. Dos Santos, J.F., and Hage, E., 2010. Preliminary study on the feasibility of friction spot welding in PMMA. *Material Letter*, 64, 2098–2101.
- [5] Lee, W.B., and Jung, S.B., 2004. The joint properties of copper by friction stir welding. *Materials Letters*, 58, 8, 1041–1046.
- [6] Mishra, R.S., and Ma, Z.Y., 2005. Friction stir welding and processing, *Materials Science and Engineering: R : Reports*, 50, 1-2, 1-78.
- [7] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Templesmith, P., and Dawes, C.J., 1991. Friction stir butt welding, International patent application No. PCT/GB92/02203 and GB patent application No. 9125978.8.
- [8] Zhang, F., Su, X., Chen, Z., and Nie, Z., 2015. Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of a super high strength Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloy. *Materials and Design*, 67, 483-491.
- [9] Rodrigues, D.M., Loureiro, A., Leitao, C., Leal, R.M., Chaparro, B.M., and Vilaça, P., 2009. Influence of friction stir welding parameters on the microstructural and mechanical properties of AA 6016-T4 thin welds. *Materials and Design*, 30, 1913-1921.
- [10] Leal, R.M., Leitão, C., Loureiro, A., Rodrigues, D.M., and Vilaça, P., 2008. Material flow in heterogeneous friction stir welding of thin aluminum sheets: Effect of shoulder geometry. *Material Science Engineering A*, 498, 384–391.
- [11] Fotouhi, Y., Rasaei, S., Askari, A., and Bisadi, H., 2014. Effect of transverse speed of the tool on microstructure and mechanical properties in dissimilar butt friction stir welding of Al5083-copper sheets. *Engineering Solid Mechanics* 2, 3, 239-246.
- [12] Rao, H.M., Yuan, W., and Badarinarayan, H., 2015. Effect of process parameters on mechanical properties of friction stir spot welded magnesium to aluminum alloys. *Materials and Design*, 66, 235-245.