

KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI TEMPERATUR DAN PUTARAN PADA PENGELASAN *FRICTION STIR WELDING* MENGGUNAKAN MATERIAL POLYPROPILENE (PP)

Mhd Irvan Irwana^[1], Dodi Sofyan Arief^[2], M. Dalil^[3]

Laboratorium Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

^[1] Mhd.irvan2895@student.unri.ac.id, ^[2] dodidarul@yahoo.com, ^[3] dhalilm@yahoo.com

Abstract

Welding according to DIN (Deutsche Industrie Norman) is a metallurgical bonding on the connection is done in the melting or liquid state. In other words, the welding is the joining of two pieces of metal into one done by way of heating or melting, where both ends of the object that will be spliced with eyes melt made the pin on the tool or the heat gained from the pins on the rounds a specified rpm. each specimen, material AISI 4140 steel is used with a diameter of 6 mm pin welding position horizontally (flat), the used temperature 70 ° c, 75 ° c, 80 ° c, and a round of rpm used 400 rpm, 500 rpm, 700 rpm, in the execution of welding the welding method using FSW (Friction Stir Welding). Then pull the values taken on the area of welding. From the results of the research of pull, the value of the temperature of 75 ° c with round 700 rpm higher tensile strength of temperature of 70 ° c and 80 ° c.

Keyword : Temperature, Rpm Spin, Friction Stir Welding, Welding, Surface Polypropilene.

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah proses fabrikasi yang menggabungkan material, biasanya dilakukan pada suatu logam ataupun material termoplastis. Teknologi pengelasan semakin pesat berkembang pada saat sekarang. Beberapa teknik pengelasan modern ditemukan salah satunya adalah *friction stir welding* (FSW). FSW merupakan sebuah proses yang saat ini mendapatkan perhatian dari industri otomotif, aerospace, dan industri lainnya. (Colligan dkk, 2003).

FSW adalah proses penyambungan solid-state yang menggunakan gesekan *tool* terhadap meterail sebagai sumber panas. Proses kerja dari proses pengelasan ini adalah memanfaatkan gesekan dari putaran *tool* yang diberikan tekanan pada kedua permukaan material yang akan disambung. Gesekan antara *tool* dan material akan menimbulkan panas awal proses pengelasan. FSW dapat dikatakan sebagai teknik pengelasan dengan biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan teknik pengelasan busur karena pada FSW tidak menggunakan filler metal dalam proses pengelasannya. FSW tergolong memiliki sifat mekanik yang baik karena heat input yang rendah dan memiliki daerah HAZ yang sempit sehingga membuat *residual stress* yang dihasilkan sangatlah kecil. Pengelasan ini sepenuhnya aman bagi lingkungan karena tidak menggunakan gas pelindung dan aman dari radiasi sinar ultraviolet (Mishra & Murray, 2005).

Kebutuhan global menekan industri otomotif untuk menghasilkan produk yang lebih ringan, aman, dan lebih ramah lingkungan serta murah. Mengurangi berat kendaraan bisa didapatkan dengan mengganti baja konvensional dan besi cor

dengan *light weight materials* seperti aluminium, magnesium, dan komposit polimer. Akan tetapi material-material pengganti ini memiliki kemampuan las yang terbatas apabila menggunakan teknik pengelasan konvensional, sehingga membutuhkan teknik pengelasan yang baru untuk menyambungkan material tersebut.

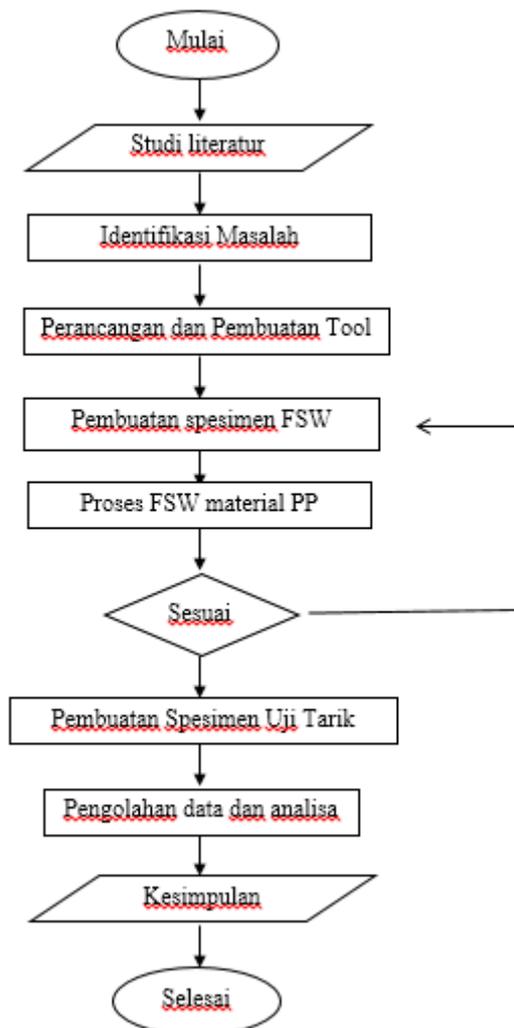
Pada FSW kesalahan pemilihan parameter pengelasan dan geometri *tool* akan menyebabkan rendahnya kekuatan mekanikal dan cacat las. Maka dari itu parameter pengelasan (putaran *tool*, *dwell time*, *plunge depth*, dan waktu *delay*) dan geometri *tool* (diameter pin, profil pin, panjang pin, dan diameter *shoulder*) harus dipilih secara optimal (Colligan, 1999).

Polipropilene adalah material yang lunak, tahan lama, ringan dan tahan terhadap korosi. Kekuatan tarik polipropilene murni adalah 32 Mpa. Jika kita lihat dari properties dan fungsi dari polipropilene aplikasi polipropilene untuk masyarakat umum sangatlah banyak digunakan namun yang menjadi kendala adalah proses pengelasan dikarenakan proses penyambungan polipropilene dengan pengelasan sangat tidak mudah dan jarang ditemukan di masyarakat umum tidak seperti halnya pengelasan baja sehingga suatu nanti jika peralatan tersebut rusak maka akan sangat sulit untuk diperbaiki karena keterbatasan tempat untuk menyambung polipropilene tidak seperti teknologi proses pengelasan pada baja yang sudah banyak digunakan oleh masyarakat luas.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui hasil lasan yang baik dari pengelasan *Friction Stir Welding* pada material polypropylene dengan menggunakan variasi temperature dan putaran.

2. Metodologi

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan dengan menggunakan diagram alir seperti pada Gambar 1.

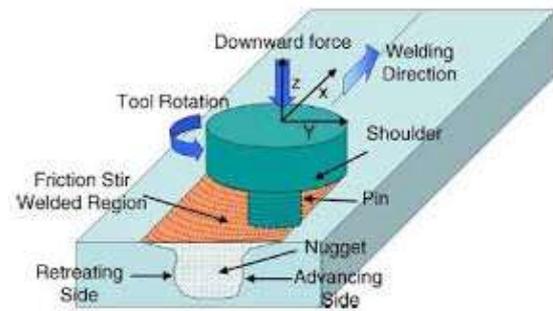


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Pengertian Friction Stir Welding

Friction stir welding (FSW) merupakan salah satu teknik pengelasan baru yang diciptakan oleh *the welding institute* (TWI). Cambridge, Inggris. Fsw termasuk *unconsumable solid state joining process* yang berarti pengelasan tanpa bahan tambah dan suhu kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja dan digunakan untuk aplikasi dimana kebutuhan akan perubahan karakteristik dasar dari benda kerja bisa diminimalisir sekecil mungkin (Dawes & Thomas, 2003).

Pengelasan dapat diartikan sebagai proses penyambungan dua buah benda, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Seperti dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Prinsip Dasar *Friction Stir Welding* (K.J.Colligan: *Welding Journal* 1999)

Dalam fsw, *tool* pengelasan dengan atau tanpa profil pada *probe* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang dilas. Benda kerja harus dicekam dengan kuat pada *fixture* atau ragum untuk mempertahankan posisinya akibat gaya yang terjadi pada waktu pengelasan. Panjang dari *probe* harus lebih pendek dari pada tebal benda kerja dan *shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan benda kerja.

Pengembangan fsw pada industri otomotif dan pesawat terbang sangat pesat karena dapat mereduksi berat total pengencang (*fastener*) yang dihilangkan. Selain itu banyak biaya yang dapat dihemat yang berasal dari pengurangan biaya design, manufacture, perakitan dan waktu pemeliharaan, biaya-biaya tersebut bisa ditekan akibat berkurangnya jumlah part pada konstruksi. Sambungan fsw mempunyai efek konsentrasi stress yang lebih rendah di area sambungan dibandingkan dengan aplikasi *fastener* dan dapat memperbaiki sifat korosif dengan mengurangi *fastener* yang merupakan sumber utama dari kontak metal berbeda jenis. Dan penghematan terakhir berasal hilangnya biaya untuk keperluan sealent, locking compound dan sejenisnya.

2.2 Prinsip Kerja Friction Stir Welding

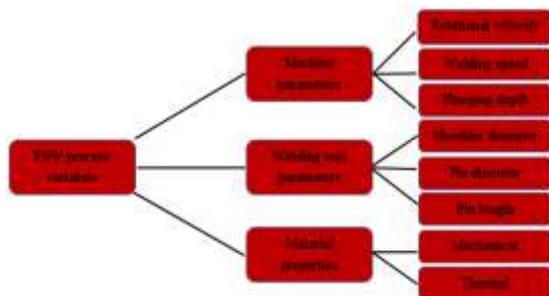
Dalam fsw, *tool* pengelasan dengan atau tanpa profil pada *probe* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang dilas. Benda kerja harus dicekam dengan kuat pada *fixture* atau ragum untuk mempertahankan posisinya akibat gaya yang terjadi pada waktu pengelasan. Panjang dari *probe* harus lebih pendek dari pada tebal benda kerja dan *shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja.

Gesekan panas (*frictional heat*) pada fsw dihasilkan oleh gesekan antara *probe* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja. Panas ini bersama dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya

(melting point), hal ini yang memungkinkan *tool* pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan. Ketika pin *welding tool* bergerak sepanjang jalur pengelasan, permukaan depan pin akan memberikan gaya dorong plastis terhadap material kearah belakang pin sambil memberikan gaya tempa yang kuat untuk mengkonsolidasikan logam las.

2.3 Proses Pengelasan

Selama FSW dari polimer termoplastik dan matriks polimer komposit, faktor kunci yang mempengaruhi pembentukan dan kualitas sendi dapat dipisahkan menjadi tiga kategori: parameter peralatan, parameter alat las dan sifat material pengolahan variabel FSW. Parameter alat las dan peralatan sangat tergantung pada sifat mekanik polimer, seperti kekuatan luluh, keuletan dan kekerasan, yang memainkan pengaruh signifikan pada plastik. Sifat termal material terutama mempengaruhi suhu puncak pengelasan dan perpindahan panas, Untuk bahan dengan konduktivitas termal tinggi yang mudah menghasilkan jumlah kehilangan panas, input panas tinggi diperlukan untuk menjamin input panas yang cukup, mendapatkan sambungan suara. Sebaliknya, konduktivitas termal polimer lebih rendah dari Al paduan, yang sulit untuk mentransfer panas untuk memanaskan bahan sebelumnya di bagian depan alat rotasi. Seperti dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Proses Pengelasan (K.J.Colligan: *Welding Jurnal* 1999)

2.4 Parameter Peralatan

Kecepatan rotasi (ω) dan kecepatan pengelasan (v) mengontrol jumlah input panas selama FSW, yang pada gilirannya mempengaruhi kristalinitas dan properti yang dihasilkan. Semakin rendah input panas, maka lebih kecil kristalinitas, dan sebaliknya, di bawah premis yang cukup masukan panas untuk melunakkan bahan. Kecepatan rotasi tinggi memberikan input panas dalam jumlah besar, sementara kecepatan pengelasan rendah meningkatkan durasi paparan suhu tinggi, dan sebaliknya. Selain itu, kedalaman dan sudut kemiringan berkorelasi erat dengan area kontak dan meluapnya material yang terbuat dari plastik antara bahu dan benda kerja, yang

mempengaruhi kualitas sambungan polimer. Seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi optimal kecepatan rotasi dan kecepatan pengelasan untuk FSW polimer.

Material	Thickness (mm)	ω (Rpm)	v (mm/min)
PMMA	10	700	25
Nylon 6	10	1000	10
PP 30% glass fiber	5	630	8
PP 20% carbon fiber	4	1250	25
HDPE	4	3000	115
PP	10	900	70

2.5 Perancangan Tool

Perkembangan dan perancangan *tool* sederhana menjadi kompleks, diiringi dengan berkembangnya material dari *tool* itu sendiri. Material *tool* dan fsw harus mempunyai temperature lebur yang tinggi, physical dan chemical wear resist, dan efektif melepaskan panas pada saat proses las berlangsung. Beberapa *tool* yang sukses digunakan untuk fsw adalah polycrystalline cubic boron nitride (pcbn), aisi 316 dan aisi 310 satainless steel dan alloy 600 berbasis nicked alloy.

Desain *tool* merupakan salah satu factor penting yang mempengaruhi struktur mikro, profil dan sifat mekanik sambungan. Material *tool* merupakan factor yang menentukan akan kehandalan *tool*, koefisien gesek, dan pembangkit heat. Oleh karena itu *tool*, design merupakan hal sangat penting dari friction stir welding.

Hal pertama yang harus diperhatikan pada saat merancang *tool* yang akan digunakan adalah pemilihan material yang akan digunakan, beberapa karakter material yang harus dipenuhi oleh sebuah *tool* adalah:

1. Memiliki kekuatan yang baik di suhu ruang dan di suhu tinggi.
2. Stabilitas material tetap terjaga pada saat suhu tinggi.
3. Tahan gesek dan aus.
4. Material yang digunakan tidak bereaksidengan benda kerja.
5. Memiliki ketangguhan yang baik.
6. Thermal expansion rendah.
7. Mampu mesin yang baik.
8. Homogeny secara microstructure dan masa jenis.
9. Tersedia luas dipasaran.

2.6 Elemen Pemanas

Penggunaan elemen pemanas tambahan bertujuan untuk mendapatkan melting point dari material uji agar tercapai, pada penelitian ini

menggunakan parameter temperatur bervariasi sehingga membutuhkan panas tambahan eksternal untuk mendapatkan temperatur yang diinginkan. Pada penelitian ini variasi temperature yang digunakan adalah 70, 75 dan 80°C.



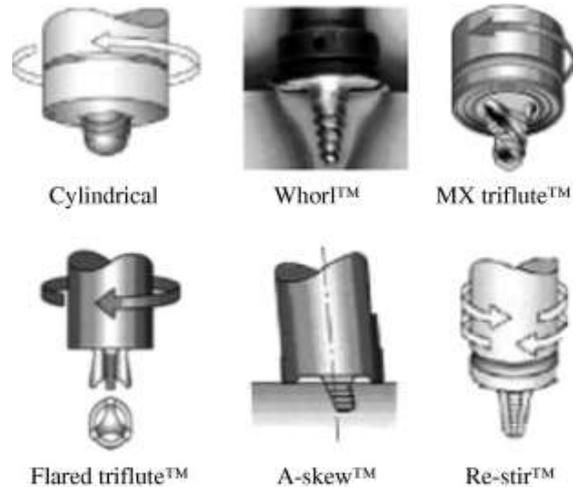
Gambar 4. Pemanas Eksternal

Table 2 Contoh material *Tool Friction Stir welding* (wiley & sons, 2003)

Alloy	Thickness		Total Material
	mm	in	
Aluminium alloys	<12	<0.5	Total steel, WC-Co
	<26	<1.02	MP159
Magnesium Alloys	<6	<0.24	Total steel, WC
Copper and copper alloys	<50	<2.0	Nickel Alloys, PCBN(a), tungsten alloys
	<11	<0.4	Tool steel
Titanium alloys	<6	<0.24	Tungsten alloys
Stainless steel	<6	<0.24	PCBN, tungsten alloys
Low alloys steel	<10	<0.4	WC, PCBN
Nickel alloys	<6	<0.25	PCBN

Hal yang kedua adalah bentuk dari shoulder dan pin dari tool, dua bagian utama dari sebuah *tool* yang digunakan dalam friction stir welding adalah:

Shoulder, bagian ini adalah bagian yang membangun panas dengan gesekan yang dilakukan terhadap benda kerja, bagian ini juga yang menjadi penahan material panas yang ada dibawah. Disamping itu bagian ini pun yang memberikangaya vertical kearah benda kerja yang menjaga kondisi contact *tool* dengan benda kerja. Seperti dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi Shoulder dan Pin (K.J.Colligan: *Welding* Jurnal 1999)

Pin/Probe, adalah bagian yang melakukan penetrasi kedalam benda kerja, dimana bagian dari *tool* ini adalah bagian yang mengaduk material atau mengalirkan material yang sudah melunak akibat panas yang dihasilkan *shoulder*, sehingga dapat menciptakan suatu sambungan antara dua material.

Yang selanjutnya adalah ukuran dari *tool*, diameter *shoulder*, diameter *pin*, panjang *pin* dan panjang *toll* secara keseluruhan diatur sesuai dengan proses yang diinginkan yaitu ketebalan benda kerja, kemiringan *tool* pada saat proses, kekuatan sambungan dan *clearance* antar benda kerja.

2.7 Alat

Dalam penelitian ini beberapa alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mesin Miling

Mesin milling yang digunakan pada pengujian ini adalah tipe mesin Miling Universal ACIERA Tipe F3-10018. Seperti dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Mesin Miling Universal ACIERA Tipe F3-10018.

2. Tool Baja AISI 4140

Alat ini digunakan untuk pengelasan friction stir welding. Seperti dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Baja AISI 4140

3. Pemanas

Pemanas digunakan pada pengujian ini bertujuan untuk mengatur temperatur agar tetap terjaga pada saat pengelasan. Seperti dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Elemen Pemanas

2.8 Bahan

Penelitian ini menggunakan benda uji dengan bahan polipropilene berbentuk plat yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Plat Polipropilne

3. Hasil

Hasil penelitian ini terdiri dari pengujian pengujian tarik. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan temperatur dan putaran dengan variasi temperatur 70°C, 75°C dan 80°C dan putaran 400 Rpm, 500 Rpm, 700 Rpm. Sehingga didapat sembilan sampel data hasil pengujian tarik. Adapun nilai kekuatan tarik yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Table 3. Hasil Pengujian Tarik

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strenght (N/mm ²)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)
1A	35.647	656.4	13.1	13.1	18.41	33.5
2A	29.7	637.7	14.86	14.86	21.47	33.5
3A	36.813	702.5	13.49	13.49	19.08	33.5
1B	28.298	480.1	12.69	12.69	16.97	33.5
2B	34.055	631.7	13.17	13.17	18.55	33.5
3B	31.85	291.4	8.82	9.15	9.15	33.5
1C	36.8	621.7	12.06	12.06	16.89	33.5
2C	28.305	217.4	7.33	7.33	7.68	33.5
3C	14.9	306	16.68	16.68	13.54	33.5
Murni	35.955	658.7	12.76	12.76	18.32	33.5

Dari tabel 3. Dapat dilihat nilai kekuatan tarik pada setiap spesimen. Untuk temperatur 80°C, kekuatan tarik tertinggi terjadi pada spesimen 3C yang menggunakan putaran 400 Rpm dengan nilai kekuatan tarik sebesar 20.54 Mpa. Dan untuk kekuatan tarik terendah terjadi pada spesimen 2C dengan nilai kekuatan tarik sebesar 7,33 Mpa. Untuk temperatur 75°C, kekuatan tarik tertinggi terjadi pada spesimen 2B yang menggunakan putaran 500 Rpm dengan nilai kekuatan tarik sebesar 18,55 Mpa. Kekuatan tarik terendah terjadi pada spesimen 3B dengan nilai 9,15 Mpa. Untuk temperatur 80°C, kekuatan tarik tertinggi terjadi pada spesimen 2A yang menggunakan putaran 700 Rpm dengan nilai kekuatan tarik sebesar 21,47 Mpa. Dan untuk kekuatan tarik terendah terjadi pada spesimen 1A dengan kekuatan tarik sebesar 18,41 Mpa. Dari ketiga variasi temperatur dan putaran rpm dapat dilihat bahwa Spesimen 3B dan 2C memiliki kekuatan tarik terendah dibandingkan spesimen lain yang disebabkan adanya cacat pada sambungan las sehingga nilai kekuatannya menurun.

Dari ketiga variasi tersebut dapat dibandingkan temperatur 75°C dengan kecepatan putar rpm 700 dari hasil uji tarik yang didapat, maka pengujian menggunakan temperatur 75°C lebih baik dari temperatur 70°C dan 80°C.

Grafik 2A adalah hasil uji tarik yang telah dilakukan dengan variasi temperature 75°C dan putaran rpm 700. Dapat dilihat pada grafik kekuatan tarik yang didapat sebesar 21.47 MPa. Kekuatan Tarik dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik uji taik sampel 2A

4. **Simpulan**

Variasi pengelasan *friction stir welding* pada penelitian ini adalah variasi kecepatan putaran *tool* 700 rpm dengan penambahan panas. Pada variasi tersebut kualitas visual dan kekuatan mekanik hasil lasan mencapai angka tertinggi yaitu 21,47 MPa untuk kekuatan tarik. Terjadi penurunan kualitas hasil lasan baik dari segi visual hasil las maupun kekuatan mekanik hasil las pada variasi kecepatan putaran *tool* 400 dan 500 rpm yang disebabkan putaran *tool* yang terlalu rendah sehingga leburan hasil las tidak menyeluruh di area sambungan.

Dari data hasil pengelasan *friction stir welding* ada jenis cacat yang dihasilkan adalah jenis cacat rongga. Cacat rongga terjadi karena pada saat pengadukan material oleh shoulder dan pin yang kurang sempurna sehingga pengadukan pada material yang dihasilkan tidak cukup memenuhi sambungan.

Dari data pengujian tarik, nilai kekuatan tarik tertinggi untuk kecepatan putaran 400 rpm sebesar 16,89 MPa dengan temperatur 70°C, untuk kecepatan putaran 500 rpm sebesar 18,55 MPa dengan temperatur 75°C, dan untuk kecepatan putaran 700 rpm sebesar 21,47 MPa dengan temperatur 80°C.

Dari struktur variasi kecepatan putaran *tool* semakin tinggi kecepatan putaran *tool* membuat pengadukan material menjadi lebih baik, sehingga molten material yang dihasilkan dari gesekan antara material dengan shoulder dan pin akan semakin banyak dan tersebar merata diseluruh permukaan sambungan.

Daftar Pustaka

C.J.Dawes, W. Thomas, *TWI Bull*, Vol 6, Nov/Dec 1995, P124.

K.J. Colligan, P. J. Konkol, J. J. Fisher, and J. R. Pickens, *Welding Journal*, 2003.

K.J. Colligan: *Welding Journal*, 1999, Vol. 78 (7), Pp, 229s-273s

Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, *Friction Stir Welding and Processing*, 2005

Wiley, J. & Sons, Inc. 2003. *Welding Metallurgy*, Edisi 2 Sindo Kou, Canada.