

# STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN *FRICITION WELDING* ANTARA BAHAN PADUAN TEMBAGA DAN PADUAN ALUMINIUM AKIBAT WAKTU TEKANAN BERBEDA

Adhy Purnomo

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H. , Tembalang, Kotak Pos 6199/SMS, Semarang 50329  
Telp. 7473417, 7466420 (Hunting), Fax. 7472396

## Abstrak

*Pengelasan dua material berbeda sulit dilakukan. Bila dilakukan akan terjadi retak panas dan porositas. Upaya untuk memperbaiki, telah dikembangkan proses pengelasan keadaan lumer seperti teknik friction welding (FRW). Proses friction welding (FRW) merupakan teknik pengelasan material dalam kondisi lumer (tidak mencapai titik cair). Prosesnya material dijepit supaya tidak terlempar, sebuah material berputar diarahkan bertemuan material yang disambung, dan pertemuan dua sisi material karena adanya penekanan. Tulisan ini meneliti pengaruh gaya tekan, kecepatan putar gesek logam yang berbeda, antara paduan aluminium dan paduan tembaga terhadap kualitas Strukturmikro sambungan las. Parameternya adalah gaya tekan, kecepatan putar dan waktu kontak. Proses pengelasan menggunakan mesin bubut yang dilengkapi mekanisme pembebanan. Hasil pengujian menunjukkan terjadi proses pengelasan pada kedua permukaan metal. Adanya percampuran kedua logam di daerah sambungan pengelasan.*

**Kata kunci :** “tembaga dengan aluminium”, “berputar”, “panas”, “penekanan”

## 1. Pendahuluan

Aluminium merupakan unsur logam di bumi mencapai 7,5% sampai 8,1% dan bersaing kuat dibandingkan dengan logam lain seperti besi. Aluminium mempunyai sifat mekanik baik dan nilai ekonomis serta serbaguna dalam penggunaannya seperti pada pesawat terbang, otomobil dan industri. Sifat mekanik aluminium dan paduannya memiliki kekuatan relatif tinggi, sangat sesuai penggunaannya untuk berbagai aplikasi karena ringan, fabrikasi, kekuatan dan tahan korosi.

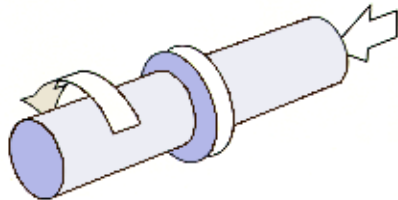
Aluminium dengan paduan seperti seri 2000, seri 5000, seri 6000, seri 7000 masing – masing mempunyai perbedaan sifat mampu las. Pada Aluminium paduan secara umum dengan perlakuan T3 mempunyai sifat mampu lasnya rendah karena kandungan tembaga (Cu) cukup tinggi yang menyebabkan mudah terjadi retak panas dan porositas. Maka upaya untuk memperbaiki telah dikembangkan suatu proses pengelasan

keadaan lumer seperti teknik *friction welding* (FW) yang merupakan perbaikan versi proses *friction welding* dan dapat mengelas beberapa aluminium paduan yang sulit disambung dengan proses pengelasan cair. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro sambungan las gesek antara bahan Paduan Tembaga dan Paduan Aluminium benar-benar dilakukan peneliti, sehingga peneliti tertarik sekali untuk membuat membuat tulisan ini.

## 2. Tinjauan Pustaka

Pengelasan adalah salah satu dari beberapa metode penyambungan suatu bahan. *Brazzing* adalah proses pengelasan cair yang digunakan secara umum untuk menyambung logam yang berbeda, cara ini dapat dilakukan pada bahan tembaga dan aluminium, tetapi hasil pengelasan cara ini menyebabkan beberapa terjadi masalah seperti adanya porositas, terbentuknya lapisan oksida pada daerah cair, penetrasi kurang pada

pengelasan, mudah terjadinya retak panas atau dingin. Problem pengelasan lainnya yang terjadi adalah akibat adanya perubahan sifat fisika (*physical properties*) dan kimia seperti terbentuknya oksida, kelarutan hidrogen di dalam tembaga dengan aluminium cair yang tinggi dan retak panas, namun masalah ini dapat diatasi dengan metode teknik pengelasan lain seperti las gesek, las tahanan dan las laser. Pada paduan tembaga dan paduan aluminium secara umum mempunyai sifat mampu lasnya rendah karena kandungan tembaga (Cu) cukup tinggi yang menyebabkan mudah terjadi retak panas dan porositas. Maka upaya untuk memperbaiki telah dikembangkan suatu proses pengelasan keadaan lumer seperti teknik *friction welding* yang merupakan perbaikan proses *welding* dan dapat mengelas paduan tembaga dengan paduan aluminium yang sulit disambung dengan proses pengelasan cair.



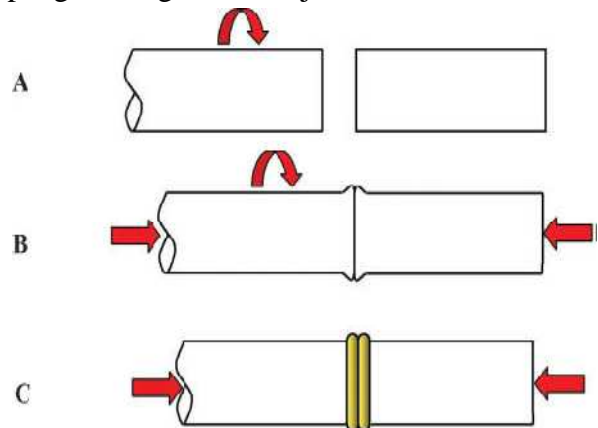
**Gambar 1. Friction welding (Howes Tom, 2008)**

Pada pengelasan gesekan tidak ada pengisi bahan tambah yang digunakan dan pengelasan berlangsung pada fase padat. Salah satu fitur yang melekat pengelasan gesekan adalah penggunaan energi termal.

### Proses Pengelasan Gesek Antara Paduan Tembaga Dan Paduan Aluminium.

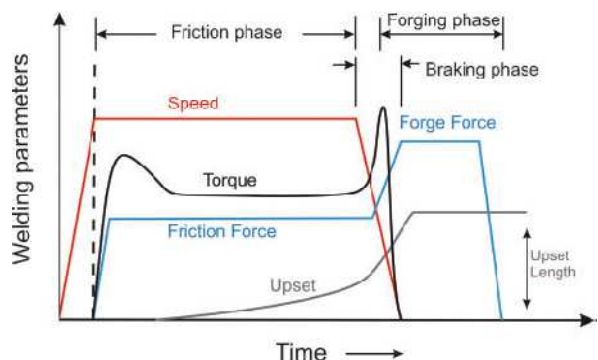
Pengelasan gesekan terjadi bila salah satu benda diputar, dan benda lainnya diam (Gambar 2. A). Kedua benda tersebut dipertemukan dalam kondisi salah satu benda berputar dan lainnya diam (Gambar 2. B),

pada kondisi ini merupakan awal proses pengelasan sampai terbentuk "*flash*". Kemudian putaran benda dihentikan tetapi beban penekanan ditingkatkan, sehingga terjadi pembebanan kejut "*forging*" (Gambar 2. C), bila pembebanan ini telah dilakukan selama waktu tertentu, maka proses pengelasan gesekan terjadi.



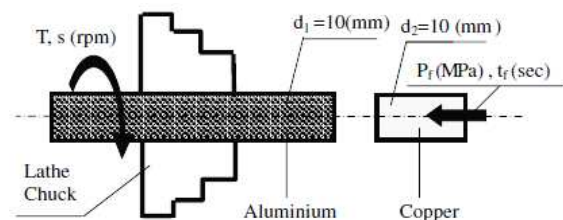
**Gambar 2. Skematis yang menunjukkan langkah dasar dalam proses pengelasan gesekan (Maalekian, 2007)**

Kualitas las yang dihasilkan oleh pengelasan gesekan pada Gambar 2.2. ditentukan oleh beberapa parameter. Parameter dalam pengelasan gesek yaitu gaya gesek yang berakibat adanya tekanan gesek, gaya tempa yang berakibat adanya tekanan tekanan tempa, kecepatan putar yang berakibat adanya torsi sehingga menimbulkan panas.



**Gambar 3. Parameter Pengelasan drive gesekan proses pengelasan langsung (Maalekian, 2007)**

Beberapa eksperimen dilakukan proses pengelasan dengan parameter berbeda dalam rangka untuk memperoleh parameter optimal sesuai dengan pendekatan statistik. Kekuatan sambungan yang ditentukan oleh tes tarik, dan hasil yang dibandingkan dengan material spesimen. Selain data pengujian tarik, variasi kekerasan dan mikrostruktur yang diperoleh di zona - pengelasan (H.Erol Akata, 2003). Mukmin Sahin pada tahun 2010 dalam penelitiannya membahas parameter tekanan optimal ketika pengelasan gesek antara material Tembaga dan Aluminium yang disambung (Gambar .4.) terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik di HAZ. Masalah yang paling penting dalam pengelasan gesekan bahan yang berbeda adalah fase *intermetallic* yang rapuh di sambungan. Hal ini disebabkan oleh kenyataan, bahwa *intermetallic* yang ada pada antarmuka mengurangi kekuatan bagian-bagian yang dilas. Aluminium dan tembaga menggantikan baja dalam aliran listrik karena konduktivitas listrik yang lebih tinggi. Namun, pengelasan tembaga dan aluminium proses pengelasan biasanya sulit karena keduanya memiliki *diffusivity* panas yang lebih tinggi dari paduan baja. Dengan demikian pengelasan gesekan, pengelasan teknik solid-state, diterapkan untuk penyambungan tembaga dan aluminium.



**Gambar 4. Proses pengelasan gesek tembaga dan aluminium (Sahin, 2010)**

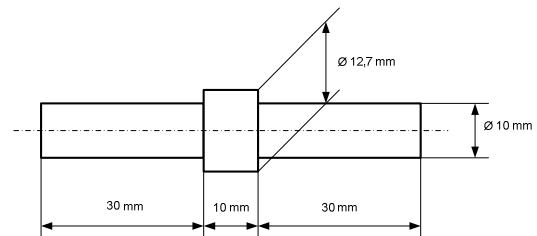


**Gambar 5. Foto hasil pengelasan gesek tembaga dan aluminium (Sahin, 2010)**

### 3. Metode Penelitian

#### 3. 1. Pembuatan Benda Uji Pengelasan Gesek

Bahan paduan tembaga dan paduan aluminium dilakukan proses pemesinan dengan mempergunakan mesin bubut. Proses pemesinan ini untuk membentuk ukuran seperti pada Gambar 6., yaitu berdimensi diameter 10 mm dan panjang 70 mm, pembentukan ini dilakukan karena ukuran awal kedua bahan tersebut berdiameter 12,7 mm dengan panjang 3 meter.



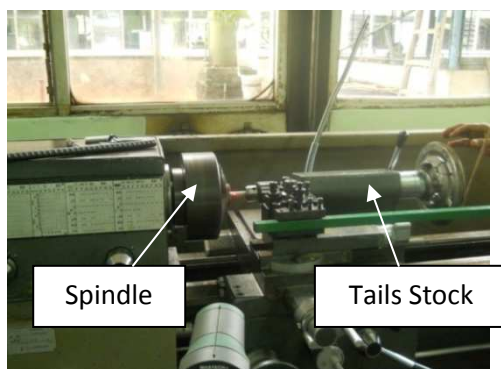
**Gambar 6. Benda kerja**

#### 3. 2 Pengujian Pengelasan Gesek

Langkah pengelasan gesek dilakukan pada mesin bubut *Celtic*, dengan menambahkan mekanisme pembebanan seperti pada Gambar 7. untuk menggerakkan *tails-stock* terlihat pada Gambar 8. supaya terjadi tekanan gesek pada kedua permukaan yang akan disambung. Peralatan yang digunakan, mesin bubut, *drill chuck*, tali beban, bandul (beban) dan mekanisme pembebanan.



**Gambar 7. Foto mesin bubut Celtic yang telah dilengkapi *Pully* untuk pembebanan.**



**Gambar 8. Foto bagian berputar dan tidak berputar.**

Pengoperasian pengelasan gesek diperlukan langkah-langkah yang sesuai dari peneliti sebelumnya, sedangkan langkah yang dilakukan peneliti adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan peralatan
- b. Seting mesin bubut pada putaran 725 (rpm) Memasang mekanisme pembebanan pada *tool-holder*
- c. Seting mekanisme pembebanan dengan *tails-stock*, menghubungkan dengan tali beban
- d. Memasang *drill chuck* pada *tails-stock*
- e. Memasang bahan uji, material paduan aluminium dipasang pada *spindle* mesin bubut (*rotating*), dan material paduan tembaga dipasang pada *drill chuck* (*non rotating*)
- f. Memasang beban (bandul beban) sesuai yg ditentukan 2 (kg), 2,5 (kg), 3 (kg)

- g. Seting antara posisi ketinggian beban dan permukaan kedua bahan uji dipastikan kedua permukaannya saling kontak
- h. Siapkan *stopwatch* untuk mengatur waktu kontak
- i. Siapkan *thermocouple infrared* untuk mengukur suhu kedua permukaan saat kontak
- j. Jika sudah dipastikan siap, mesin dioperasikan dengan menekan tombol ON
- k. Pada akhir pengelasan matikan mesin bubut jika sesuai waktu yang ditentukan, dan bersamaan penambahan beban sebagai gaya tempa sebesar 5 (kg) .

Parameter yang digunakan dalam penelitian proses pengelasan gesek adalah sebagai berikut :

- 1) Tekanan gesek (*friction pressure*) ( $P_f$ ), [MPa]
- 2) Waktu gesek ( $t$ ), (*friction time*) [detik]
- 3) Putaran mesin (N), [rpm]
- 4) Tekanan forging ( $P_u$ ), [MPa]

### 3. 3 Pengujian Struktur Mikro

Untuk mengetahui bentuk struktur mikro hasil pengelasan gesek seperti Gambar 8, hasil pengelasan diproses pemessinan dengan mesin bubut dan hasilnya seperti pada Gambar 10, kemudian dilakukan pemessinan dengan mesin milling di bagian sambungan tampak pada Gambar 11, proses pemessinan ini selalu dilakukan pendinginan dengan cairan yang ada di mesin dengan harapan tidak terjadi perubahan struktur pada sambungan, setelah itu dilakukan pemotongan dengan gergaji untuk mendapatkan bagian hasil pengelasan gesek. Hasil potongan ditambahkan *mounting* untuk mudah dipegang dengan bahan akrilik, setelah itu penampang permukaan las dilakukan penggerindaan dengan menggunakan amplas. Pengamplasan diawali dengan amplas dengan amplas kasar dengan *grade* 150 dan dilanjutkan dengan amplas

halus dengan *grade* 2000, dipoles dan dietsa dengan cairan Etsa yang sesuai dengan materialnya yaitu untuk logam paduan aluminium dengan *Hatch* atau 3 ml HF ditambah 100 ml air dan logam paduan tembaga dengan larutan 1gr FeNO<sub>3</sub> dengan 100 ml air (ASTM E407-99) hal ini juga di jelaskan oleh Kay Geels di *Metallographic and Matrialographic Specimen Preparation, Light Mikroskopy Image Analysis and Hardness Testing*, kemudian dilihat dengan mikroskop optic menggunakan pembesaran 200 x pada lensa obyektif mikroskop



**Gambar 9. Hasil pengelasan gesek.**



**Gambar 10. Hasil pembubutan.**



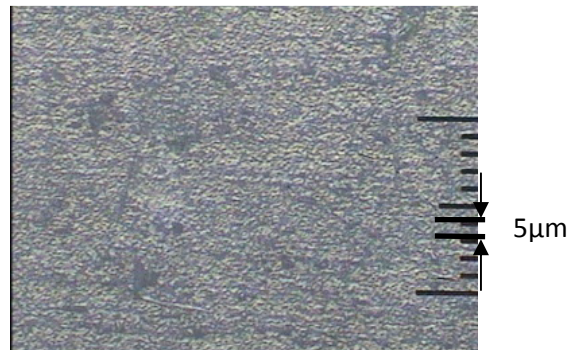
**Gambar 11. Hasil milling pada sambungan las gesekan dan mounting.**

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Stuktur mikro logam induk paduan tembaga mempunyai ukuran butiran besar, seperti pada Gambar 12, hal ini bila dibandingkan dengan logam induk paduan aluminium seperti pada Gambar 13, keduanya mempunyai butiran yang mendekati bulat. Gambar ini dengan menggunakan perbesaran mikroskop 200 kali di lensa obyektifnya. Pada perbesaran 200 kali, skala pada samping kanan menunjukkan 5  $\mu$ m untuk setiap selangnya



**Gambar 12. Struktur mikro logam induk paduan tembaga.**



**Gambar 13. Struktur mikro logam induk paduan aluminium.**

##### 4.1. Struktur Mikro Hasil Pengelasan Gesek pada Putaran Mesin 725 rpm

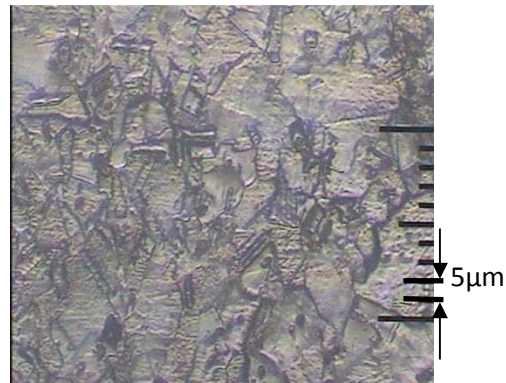
Struktur mikro hasil pengelasan pada tekanan gesek 58 MPa, tekanan penempaan 97 MPa, dan dalam waktu 45 detik ada pada Gambar di bawah ini.



a



b



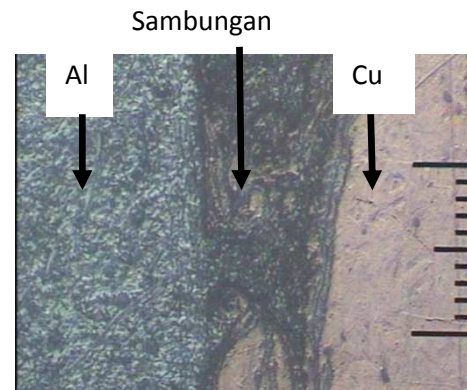
c

**Gambar 14. Struktur mikro perbesaran mikroskop 200 X pada  $P_f$  58 MPa,  $P_u$  97 MPa, waktu 45 detik**  
**a. pada HAZ aluminium,**  
**b. pada sambungan pengelasan gesekan,**  
**c. pada HAZ tembaga.**

Butiran logam paduan aluminium banyak yang masuk ke logam paduan tembaga, di daerah sambungan butiran logam bercampur. Struktur mikro hasil pengelasan pada tekanan gesek 58 MPa, tekanan penempaan 97 MPa, dan dalam waktu 50 detik ada pada Gambar di bawah ini



a



b



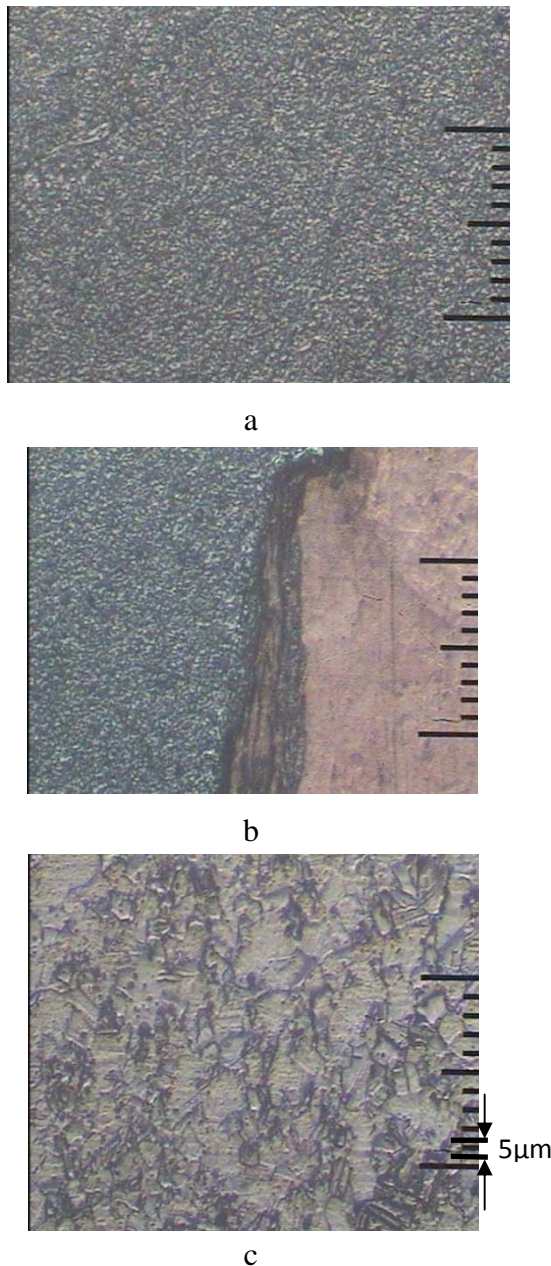
c

**Gambar 15. Struktur mikro perbesaran mikroskop 200 X pada  $P_f$  58 MPa,  $P_u$  97 MPa, waktu 50 detik** a. pada HAZ aluminium, b. pada sambungan pengelasan gesekan, c. pada HAZ tembaga.

Butiran logam paduan aluminium bercampur dengan logam paduan tembaga pada daerah sambungan las.

Struktur mikro hasil pengelasan pada tekanan gesek 58 MPa, tekanan penempaan 97 MPa,

dan dalam waktu 55 detik ada pada Gambar di bawah ini



**Gambar 16. Struktur mikro perbesaran mikroskop 200 X pada  $P_f$  58 MPa,  $P_u$  97 MPa, waktu 55 detik a. pada HAZ aluminium, b. pada sambungan pengelasan gesekan, c. pada HAZ tembaga.**

Butiran pada kedua logam paduan di batas sambungan pengelasan kecil-kecil dan bercampur.

## 5. Kesimpulan

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh tekanan, kecepatan putar terhadap kualitas sambungan las pada pengelasan gesek pada logam paduan aluminium dan logam paduan tembaga. Hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan:

- 1) Parameter kecepatan putar dan waktu sangat berpengaruh terhadap struktur mikro.
- 2) Pada sambungan las mengalami perubahan struktur mikro, pengecilan butiran struktur menjadi memanjang ke arah putaran dan pepadatan butiran, yang disebabkan oleh tekanan dan panas, mengakibatkan kekerasannya meningkat dan tidak ada porositas.

### 5.2 Saran

Proses pengelasan gesek menghasilkan sambungan dengan baik pada putaran lebih dari 725 rpm. Waktu tekanan gesek diperlukan untuk menghasilkan panas, sehingga material yang disambung menjadi lumer. Tekanan penempaan tidak terlalu besar, akan berakibat material yang telah lumer akan terdesak keluar dari diameter bahan yang dilakukan penyambungan.

## 5. Daftar Pustaka

- HE Akata, Sahin M, 2003, "An investigation on the effect of dimensional differences in friction welding of AISI 1040 specimens", *Ind Lubr Tribol* **55**(5):223–232
- ASM International Handbook Committee, 2002, ASM handbook. Alloy phase diagrams, ASM international, Materials Park, Ohio, **vol 2**.

- ASTM, Standard Practice for Mikroetching Metals and Alloys, *ASTM International*, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohoken, PA 19428-2959, USA, E 407 – 99.
- Bernd f, 2008, Melt Treatment of Copper and Aluminium– The Complex Step Before Casting, *Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES)*, UDC:669.35’71.046.5.
- Braunovic M, Alexandrov N, 1994, “Intermetallic compounds at Aluminium-to-Copper electrical interfaces: effect of temperature and electric current”, *IEEE Trans Compon Packaging Manuf Technol, Part-A 17*, (1):78–85
- Howes Tom, Phil Threadgill, 2008, Rotary friction welding - a guide to best practice, [http://www.twi.co.uk/content/bprfw\\_s01.html](http://www.twi.co.uk/content/bprfw_s01.html)
- Kay Geels, Metallographic and Matrialographic Specimen Preparation, Light Mikroskopy Image Analysis and Hardness Testing, *ASTM International*, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohoken, PA 19428-2959, USA.
- Koberna M, Fiala J, 1993, “Intermetallic phases influencing the behaviour of Al-Cu joints”, *J Phys Chem Solids*, **54**(5):595–601
- Maalekian M, 2007, “Friction welding— critical assessment of literature”, *Sci Technol Weld Join*, **12**(8):738–759
- Mathers Gene, 2002, “The welding of aluminium and its alloys”, *Published by Woodhead Publishing Limited*, Abington Hall, Abington Cambridge CB1 6AH, England, [www.woodheadpublishing.com](http://www.woodheadpublishing.com).
- Sahin M, Akata HE, 2003, “Joining with friction welding of plastically deformed steel”, *J Mater Process Technol*, **142**(1):239–246
- Yilbas BS, Sahin AZ, Coban A, Abdul Aleem BJ, 1995, “Investigation into the properties of friction-welded aluminium bars”, *J Mater Process Technol* **54**:76–81.