

Penggunaan Gas Argon sebagai Pelindung Proses pada "*Free Vacuum Diffusion Bonding*". Studi Kasus Sambungan Aluminium AA 5052 dan Tembaga Murni Komersil

Jon Affi, Febriyandi, Dedison Gasni, Zulkifli Amin

Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang, 25163
E-mail: jon_affi@ft.unand.ac.id

Abstrak

Penyambungan dua material logam secara permanen biasanya dilakukan dengan cara pengelasan fusi. Sebagian kecil dari kedua logam dicairkan dan disatukan sehingga terbentuk sambungan saat pembekuan kedua logam tersebut. Pencairan sebagian logam ini akan berakibat terjadi perubahan struktur mikro dari logam yang disambung baik pada bagian yang mencair ataupun pada sisi didekatnya (*HAZ*). Disamping itu, secara makro akan terjadi perubahan dimensi dan distorsi akibat panas pengelasan yang digunakan. Untuk dua material logam yang memiliki perbedaan temperatur leleh yang berbeda jauh, pengelasan fusi ini akan sangat sulit dilakukan. Penyambungan difusi merupakan alternatif untuk menyambung kedua material tersebut secara padat (*solid state welding*)

Penyambungan difusi bisa dilakukan di ruangan vakum atau tanpa vakum. Difusi terjadi saat berkontakannya dua logam yang ditekan di ruangan vakum pada temperatur tertentu. Kondisi vakum bertujuan menekan pertumbuhan oksida di antara kedua logam yang disambung sehingga proses difusi bisa berlangsung lebih baik antar logam. Ruang tungku yang terkondisi ini bisa digantikan dengan tungku perlakuan panas komersil menggunakan gas pelindung argon. Namun, laju pemberian gas argon yang optimal terhadap kualitas sambungan perlu diteliti. Pada penelitian ini, gas argon 3 liter permenit, 5 liter permenit telah digunakan selama proses difusi berlangsung. Sebagai pembandingan, proses difusi tanpa gas pelindung juga telah diamati. Preparasi permukaan sambungan dilakukan dengan menggunakan mesin poles dan alumina terlarut dalam air. Proses difusi dilakukan dengan tungku perlakuan panas induksi skala laboratorium. Kekuatan sambungan telah dievaluasi menggunakan uji geser menggunakan universal testing machine. Pengamatan struktur mikro sambungan dan migrasi atom-atom telah diamati dengan mikroskop optik logam, scanning electron microscope yang dilengkapi dengan electron dispersive X-Ray microanalyzer.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan geser tertinggi diperoleh jika menggunakan gas argon dengan laju tertinggi (5 liter permenit). Hal ini disebabkan oleh terhalangnya pertumbuhan oksida karena gas oksigen susah masuk dialiran gas argon. Tidak ada perbedaan menyolok antara interlayer yang terbentuk pada sambungan dengan pelindung argon atau tanpa pelindung. Perbedaan nilai kekuatan geser diprediksi disebabkan oleh konsentrasi atom-atom tembaga yang bermigrasi melewati permukaan kedua logam menuju aluminium sehingga mempengaruhi besarnya tegangan geser yang diperlukan untuk memisahkan material.

Keywords: Penyambungan difusi, gas argon, kekuatan geser, konsentrasi migrasi atom.

Pendahuluan

Dalam proses manufaktur, penggabungan dua material logam (*joining*) secara permanen biasanya dilakukan dengan cara pengelasan fusi. Namun pengelasan fusi ini akan sangat sulit dilakukan untuk penyambungan material yang memiliki sifat fisik seperti temperatur leleh dan koefisien ekspansi termal yang berbeda jauh seperti halnya aluminium dan tembaga (Mahendran 2010). Pengelasan padat adalah solusi yang dapat digunakan untuk penyambungan kedua logam berbeda tersebut. Dengan pengelasan padat,

pembentukan fasa campuran yang merugikan diantara kedua logam yang disambung tersebut bisa diatasi. Disamping itu, perubahan struktur di daerah pengaruh panas akibat pengelasan fusi juga bisa dicegah. Proses penyambungan logam pada dasarnya adalah pembentukan ikatan interatomic (ikatan logam) dari dua logam yang disambung. Ikatan interatomic menjadi tidak mungkin dengan keberadaan lapisan oksida di kedua permukaan yang akan disambung. Ikatan interatomic antar logam terjadi jika antar atom sudah berjarak kecil dari 1 nanometer. Sedangkan tebal lapisan oksida sudah mencapai puluhan nanometer. Untuk membentuk ikatan interatomic, logam-logam harus dicairkan sehingga

terjadi pencampuran cair dan membeku bersamaan membentuk ikatan logam. Begitu juga dengan pengelasan padat seperti pada proses pengelasan gesek (*friction welding*). Bidang kontak pembentuk sambungan ditekan sedemikian rupa dalam keadaan ada gerak relatif di antara masing-masing permukaan. Gesekan akan menimbulkan panas dan menyebabkan lapisan oksida terangkat atau berpindah. Permukaan yang ditinggalkan oksida dengan segera akan berkontak dengan permukaan lain yang oksidanya juga sudah terangkat. Kontak ini akan menyebabkan logam akan berkontak secara interatomik. Pengelasan gesek ini sangat sukses untuk menyambung dua logam yang berbeda dengan kualitas sambungan yang cukup memadai. Namun, proses ini masih mempunyai kelemahan yaitu masih dibutuhkan proses penyelesaian permukaan setelah proses dan sulitnya mengontrol kualitas dimensi dari logam-logam yang disambung.

Cara pengelasan padat yang lain adalah penyambungan difusi (*diffusion bonding*). Material yang disambung ditekan dan ditahan beberapa lama dalam tungku vakum pada sisi yang akan disambung. Temperatur yang digunakan biasanya antara 0,5 hingga 0,8 tempertur cair dalam Kelvin (Smith William F 1996). Kekuatan sambungan sangat bergantung pada pembentuk fasa-fasa pada interface sambungan. Sampai saat ini, kekuatan sambungan masih relatif rendah bila dibanding dengan metoda penyambungan yang lain. Penyebab utama rendahnya kekuatan sambungan adalah terbentuknya fasa-fasa getas pada interface sambungan (P. He dan D. Lie 2006). Untuk itu diperlukan suatu model untuk memperkirakan senyawa intermetallic yang terbentuk pada interface. P. He dan D. Lie menyatakan bahwa energi penggerak pembentuk fasa ditentukan oleh sifat-sifat spesifik dari logam yang disambung. Untuk logam-logam murni, pemodelan bisa dilakukan untuk memperkiraan fasa-fasa yang terbentuk. Namun untuk kondisi paduan, terutama jumlah paduan terlarut sangat kecil, pemeriksaan kualitas sambungan difusi dengan uji mekanik serta pemeriksaan struktur mikro lebih sederhana untuk dilakukan.

Dalam skala industri, proses penyambungan difusi bisa juga dilakukan dengan kombinasi antara pemanasan dan deformasi plastis. Bimetal Cu/Al telah berhasil dibuat dengan proses roll bonding yang dilanjutkan dengan proses anil (Xiaobinng Li dkk 2011). Batangan Cu/Al juga berhasil dibuat dengan proses penarikan dilanjutkan proses perlakuan panas (Sangmok Lee dkk 2012). Proses pengerolan tidak simetri (terjadi karena perbedaan kekuatan material sehingga laju

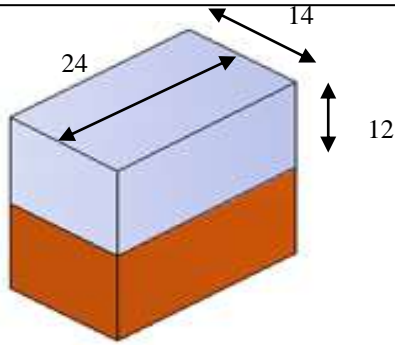
deformasi berbeda pada pengerolan bersama dua material berbeda) menghasilkan permukaan kontak yang cukup baik sehingga proses difusi antar logam berbeda terjadi lebih baik saat dianil. Hal ini menyebabkan meningkatnya ketebalan lapisan *interfacial* dan meningkatkan kekuatan tarik dan juga perpanjangan (elongasi). Melalui proses penarikan, dua plat yang ditarik saat didempetkan, lamanya proses penuaan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan difusi.

Penyambungan difusi adalah penyambungan yang tergolong mahal. Tungku yang digunakan adalah tungku vakum dengan penekan serta pemanas yang terintegrasi dalamnya serta dapat dikontrol. Dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk memvakumkan tungku sebelum sambungan dipanaskan dan mengeluarkan mengeluarkan sambungan dari kondisi vakum. Akibatnya, biaya produksi perunit sambungan menjadi sangat tinggi. Karena alasan ini, penyambungan difusi menggunakan tungku perlakuan panas komersil tanpa ruang vakum menjadi menarik untuk digunakan. Material yang akan disambung cukup di-clamp untuk memberikan tekanan kemudian dipanaskan dan ditahan dalam tungku beberapa menit. Proses penyambungan difusi tanpa tungku vakum ini dikenal dengan *free vacuum diffusion bonding*.

Proses penyambungan difusi dengan tungku perlakuan panas komersil ini belum teruji secara baik dari segi ketersambungan ataupun kekuatan sambungan. Proses difusi sangat dipengaruhi oleh keberadaan lapisan oksida dipermukaan kontak yang logam yang disambung. Dengan pemanasan, lapisan oksida ini akan berkembang atau menjadi lebih tebal sehingga proses difusi akan terganggu. Penggunaan gas pelindung selama proses pemanasan dan penekanan diharapkan akan menekan laju pertumbuhan oksida sehingga penghalang proses difusi bisa diminimalkan. Tujuan dari penelitian ini adalah melihat pengaruh penggunaan gas pelindung terhadap kekuatan sambungan difusi. Kekuatan sambungan difusi diuji menggunakan uji geser. Permukaan patah dari sampel juga akan diamati. Perkembangan struktur mikro pada sisi sambungan akan diamati dengan mikroskop optik dan mikroskop elektron yang dilengkapi dengan EDX.

Metoda Eksperimen & Fasilitas yang Digunakan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium AA5052 dan tembaga murni komersil. AA 5052 mengandung 2,5% Mg dan 0,23% Cr. Material kemudian dipotong dengan ukuran yang sama yaitu 24X14X12 mm. Permukaan sample yang akan disambung adalah permukaan 24X14 seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi sampel uji.

Permukaan ini diampelas hingga grid #2000 selanjutnya dipoles dengan pasta alumina 0,1 μ m. Penahanan sampel dalam tekanan diberikan dengan *clamp* yang bisa dikencangkan dengan baut. Tekanan diberikan dengan mesin penekan hidrolis yang bisa diukur beban tekannya seperti terlihat pada Gambar 2. Setelah didapatkan tekanan 73MPa, baut *clamp* dikencangkan sehingga penekanan oleh mesin penekan bisa dilepaskan. Selanjutnya sampel yang berada dalam tekan *clamp* dimasukkan dalam tungku untuk dipanaskan dan ditahan pada temperatur 470°C dengan tungku induksi Naberthem L 9/11/SKM. Temperatur pemanasan 470°C dicapai dalam 30 menit dengan waktu penahanan selama 6 jam. Kemudian sampel didinginkan di dalam tungku hingga temperatur kamar. 3 kondisi tungku telah divariasikan yaitu 1. Tanpa perlindungan gas argon, 2. Dengan perlindungan gas argon laju 3 l/menit, 3. Dengan perlindungan argon dengan laju 5 l/menit.

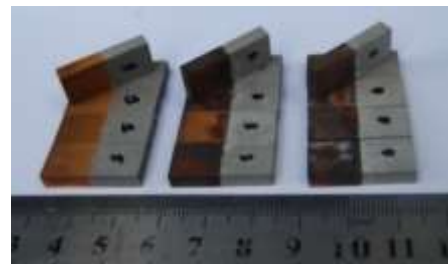


Gambar 2. Proses pemberian beban pada spesimen

Sampel uji geser disiapkan dengan pemotongan kawat (wire cutter) menggunakan CNC wire cutter Fanuc WO di laboratorium Teknologi Produksi, Jurusan Teknik Mesin ITB. Ukuran sampel uji geser yang digunakan adalah 12 x 10 x 4 mm seperti terlihat pada Gambar 3. Masing-masing kondisi (tanpa perlindungan, perlindungan 3 l/menit dan 5l/menit) diambil 4 sampel uji. Uji geser dilakukan menggunakan spesial *fixture* yang dibuat di laboratorium Inti Teknologi Produksi Jurusan Teknik Mesin. *Fixture* dipasang pada

Mini mesin uji tarik mini COM-TEN testing machine 95T series dengan laju turun punch 2,5 mm/menit.

Pemeriksaan struktur mikro dilakukan setelah sampel di ampelas hingga grid #2000 dilanjutkan dengan poles menggunakan pasta alumina 0,1 μ m menggunakan mikroskop optik logam Olympus GX71F. Sedangkan penampang patahan di cuplik menggunakan mikroskop stereo Olympus SZX10. Pengamatan detail struktur mikro dilakukan dengan scanning electron microscope Hitachi SN-3400N yang dilengkapi dengan Horiba EDX EMAX X-Act (Energy Dispersive X-Ray Microanalyzer).

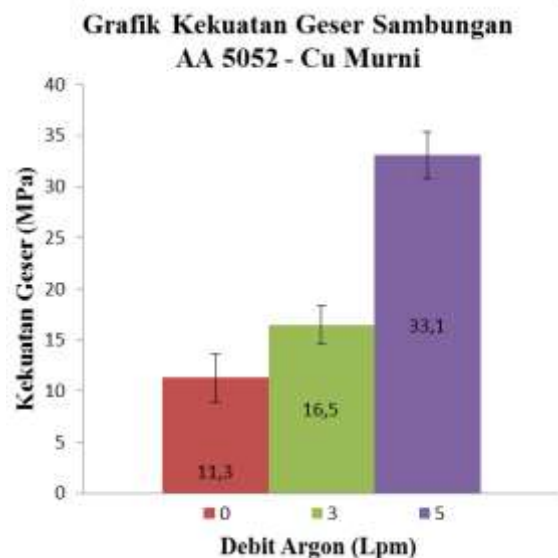


Gambar 3. Sampel uji geser dan metalografi

Hasil dan Pembahasan

Kekuatan Geser Sambungan AA 5052 – Cu Murni

Data hasil pengujian geser ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini.



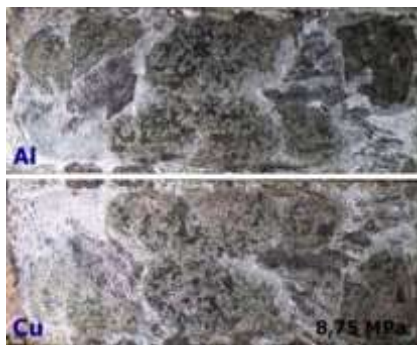
Gambar 4. Kekuatan geser sambungan AA 5052 – Cu Murni

Terlihat bahwa kekuatan geser rata-rata sampel yang ditekan dalam tungku tanpa perlindungan adalah 11,3 Mpa. Sedangkan sampel yang dilindungi dengan argon memiliki kekuatan geser lebih tinggi yaitu 16,5 MPa untuk laju gas argon 3 l/menit dan 33 MPa untuk laju

argon 5 l/menit. Jelas sekali bahwa argon berpengaruh pada kekuatan geser sambungan difusi. Bisa diprediksi gas argon dapat menghalangi masuk oksigen ke dalam ruangan tungku sehingga laju pertumbuhan oksida pada kedua permukaan logam (aluminium dan tembaga) bis dihambat. Kekuatan geser tertinggi diperoleh dengan penggunaan argon 5 l/menit. Terlihat pada Gambar 3, sampel dengan perlindungan argon 5 l/menit lebih bersih walaupun setelah dipotong dengan wire cutter (dari kanan ke kiri sampel tanpa perlindung, tengah sampel perlindungan 3 l /menit, paling kiri 5 l /menit).

Penampang patahan

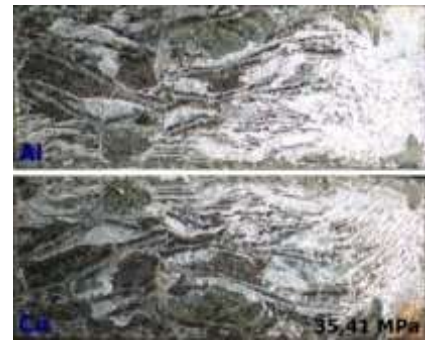
Pengamatan penampang patahan geser (Gambar 5) menunjukkan perbedaan yang nyata antara sampel yang dilindungi dengan yang tidak dilindungi argon. Patah didominasi pada permukaan bidang batas antara aluminium dan tembaga untuk sampel yang tidak dilindungi (Gambar 5 (a)). Bagian yang terlihat putih menunjukkan bahwa patah terjadi di interlayer (daerah difusi tembaga ke aluminium). Prosentase patah di daerah difusi masing kurang dari 40%. Sedangkan sampel yang dilindungi argon, baik dengan laju 3 l/menit ataupun 5 l/menit, prosentase patah didaerah difusi lebih dari 70%.



(a) struktur makro patahan AA 5052 – Cu Murni tanpa menggunakan gas argon.



(b) struktur makro patahan AA 5052 – Cu Murni dengan menggunakan gas argon 3 ltr/mnt.



(c) struktur makro patahan AA 5052 – Cu Murni dengan menggunakan gas argon 5 ltr/mnt.

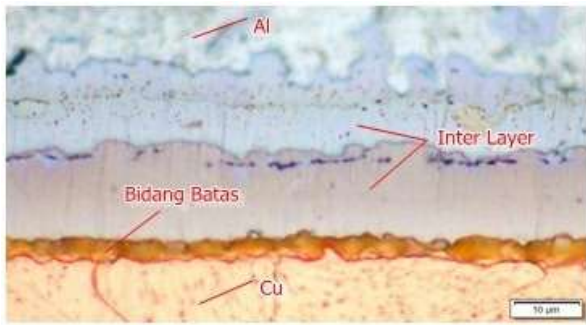
Gambar 5. Struktur makro patahan sambungan AA 5052 – Cu Murni

Tembaga memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari aluminium sehingga patah geser tidak mungkin menjalar di daerah tembaga. Namun juga tidak mungkin di daerah aluminium karena punch dibuat sejajar dengan bidang batas. Patah yang paling mungkin adalah di bidang batas atau di daerah difusi (interlayer). Bidang batas adalah bidang yang paling lemah untuk terjadi patah. Pada kondisi tidak terlindungi, oksida akan tumbuh sehingga proses difusi terhalang. Namun, bagian lain pada bidang kontak masih bisa menghasilkan difusi atom-atom diantara kedua logam. Prosentase bidang ini kurang dari 40 % sehingga kekuatan geser sangat rendah.

Pada kondisi terlindungi argon, migrasi Cu kedalam Al atau Al ke Cu akan lebih mudah. Dengan bermigrasinya atom-atom pada bidang batas, maka akan terjadi penyusunan diri atom-atom dengan mereduksi jumlah ketidakberaturan atom-atom kedua permukaan logam. Dengan demikian akan terbentuk ikatan metalik antara Al dan Cu. Bidang ini akan semakin kuat karena memiliki konsentrasi atom yang bermigrasi sangat tinggi (dalam hal ini kontrasi atom Cu tertinggi dibidang batas dengan Al). Sedangkan daerah difusi (interlayer) merupakan daerah yang mengandung aluminium dan tembaga dalam bentuk larut padat atau mungkin senyawa. Sesuai dengan teori penguatan logam, larut padat dengan konsentrasi atom terlarut lebih tinggi dan senyawa mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibanding konsentasi yang lebih rendah apalagi terhadap logam murni. Patah geser akan bergeser kedaerah interlayer.

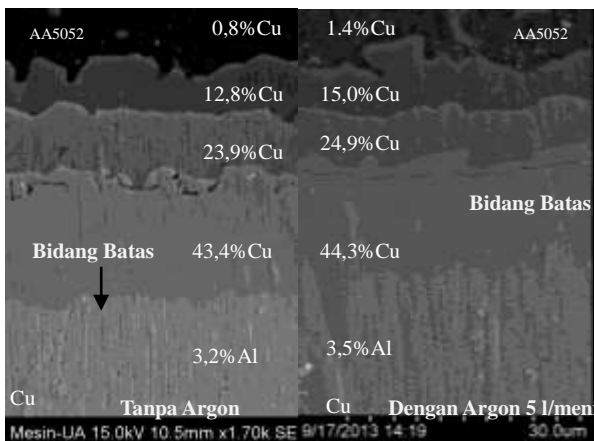
Interlayer atau daerah difusi

Karakteristik struktur mikro pada sambungan AA 5052 – Cu Murni dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Karakteristik struktur mikro sambungan AA 5052 – Cu Murni

Pada Gambar 6 terlihat bahwa ada 3 interlayer yang teramati menggunakan mikroskop optik. Interlayer pertama setelah tembaga mempunyai ketebalan 15 hingga 20 μm . Sedangkan interlayer kedua dan ketiga mempunyai ketebalan yang hampir sama yaitu 10 hingga 15 μm . Bidang batas antara Al dan Cu terlihat menyerupai produk karat (dust) yang disebabkan oleh reaksi zat etsa dengan bidang batas. Bidang batas ini telah mengalami deformasi hebat sewaktu ditekan dan dipanaskan dalam tungku. *Asperity* (puncak dan lembah kekasaran permukaan) mengalami deformasi dengan hebat. Bidang deformasi hebat ini memiliki derajat ketidakberaturan susunan atom yang tinggi dengan tingkat energi yang tinggi pula. Keadaan ini memudahkan zat etsa untuk menyerangnya dan menghasilkan reaktan berupa karat (dust). Hal ini persis sama dengan serangan zat etsa terhadap batas butir dari logam. Untuk mengamati detail migrasi atom-atom di dekat bidang batas, permukaan setelah dipoles harusnya tidak dietsa, tetapi permukaan dalam keadaan ini sulit diamati dengan mikroskop optik. Permukaan sambungan tanpa etsa selanjutnya diamati dengan scanning electron microscope (SEM) seperti Gambar 7.



Gambar 7. Data pengamatan mikro struktur dengan menggunakan SEM

Pada Gambar 7 terlihat bahwa 3 interlayer terlihat lebih jelas. Interlayer yang terbentuk ini memiliki ketebalan hampir sama antara sampel tak terlindungi dan yang terlindungi. Pada Gambar 7 ini juga terlihat nyata bahwa bidang batas untuk sampel yang tidak dilindungi argon sangat jelas. Sedangkan bidang batas untuk sampel yang dilindungi argon mulai sedikit kabur. Ini membuktikan bahwa sudah terjadi pertumbuhan oksida untuk sampel yang tidak dilindungi. Kondisi ini menyebabkan atom lebih sulit bermigrasi dari Cu ke Al atau sebaliknya. Sebaliknya dengan sampel yang dilindungi, jumlah atom yang bermigrasi lebih banyak baik dari Cu ke Al atau Al ke Cu.

Pemeriksaan konsentrasi atom-atom pada sisi Cu, Al dan interlayer dengan EDX menunjukkan bahwa konsentrasi atom yang bermigrasi lebih tinggi untuk sampel yang dilindungi argon. Pada sisi Cu, aluminium yang bermigrasi sedikit lebih banyak. Fasa yang terbentuk diprediksi masih berfasa α dikarenakan konsentrasi terlarut Al dan Cu bisa mencapai sekitar 10% berat (ASM Handbook Vol 3 Alloy Phase Diagram 1992). Sedangkan pada interlayer lapis pertama dengan konsentrasi Cu dan Al hampir sama banyak yaitu 43-44 Cu dengan 56-57% Al. Dipastikan ini adalah campuran larut padat $\kappa + \theta$. Pada layer ini dipastikan bahwa prosentasi jumlah fasa θ lebih banyak karena jumlah atom Cu yang bermigrasi lebih tinggi pada sampel yang dilindungi pada yang tidak dilindungi. Begitu juga untuk layer 2 dan 3, merupakan campuran fasa larut padat $\kappa + \theta$. Kedua layer juga mempunyai sifat yang hampir sama dengan layer pertama namun dengan prosentasi θ yang lebih banyak untuk sampel yang dilindungi karena konsentrasi Cu yang terdeteksi dengan dengan EDX lebih tinggi.

Kesimpulan

1. Kekuatan geser sambungan naik seiring dengan penggunaan gas argon yang lebih banyak.
2. Perkebangan lapisan oksida bisa dihalangi dengan penggunaan gas argon walaupun material berada pada temperatur tinggi. Penggunaan gas argon dengan laju 5 l /menit mampu menghambat pertumbuhan oksida dan menyebabkan konsentrasi atom-atom yang bermigrasi lebih mudah.
3. Terdapat 3 lapisan interlayer dengan ketebalan 10 hingga 20 μm . Ketebalan interlayer tidak berbeda antara sampel yang dilindungi dengan yang tidak dilindungi. Namun konsentrasi atom-atom Cu yang terdeteksi pada layer lebih tinggi pada sampel yang terlindungi argon dibanding sampel yang tidak terlindungi.
4. Semua lapisan interlayer diprediksi merupakan campuran fasa $\kappa + \theta$.
5. Sedangkan pada sisi Cu, dengan migrasi atom Al fasa

yang terbentuk adalah fasa α .

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih ke Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah membiayai sebagian dari penelitian ini melalui kontrak No 010/PL/SPK/PNP/FT-Unand/2013.

Referensi

G, Mahendran, V. Balasubramanian, T. Senthilvelan, Influences of diffusion bonding process parameter on bond characteristic of Mg-Cu dissimilar joints, Trans, Nonferrous Met. Soc. China, 20 (2010) 997-1005.

Smith William F, Principle of Materials Science And Engineering, Third Edition, McGraw-Hill, Inc, Amerika;1996.

P. He dan D. Liu, Mechanism of forming interfacial intermetallic compounds at interface for solid state diffusion bonding of dissimilar materials, Mat. Sci and Eng (2006) 430-435

Xiaobing Li, Guoyin Zu, Mingming Ding, Yongliang Mu, Ping Wang, Interfacial microstructure and mechanical properties of Cu/Al clad sheet fabricated by asymmetrical roll bonding and annealing, Mat. Sci. and Eng A 529 (2011) 485-492

Sangmol Lee, Min-Geun Lee, Sang-pill Lee, Geun-Ahn Lee, Yong-Bae Kim, Jon-Sup Lee, Dong-Su Bae, Effect of bonding interface on delamination behavior of drawn Cu/Al Bar clad material, Trans, Nonferrous Met. Soc. China, 22 (2012) s645-s649

ASM Committe, ASM Handbook Vol 3 Alloy Phase Diagram, 1992.