

Pengaruh Kecepatan Putar dan Penambahan Unsur Mangan Dalam Paduan Al-7%Si Terhadap Pembentukan Lapisan Intermetalik pada Fenomena *Die Soldering*

Abdul Hay⁽¹⁾, Bambang Suharno⁽²⁾, Sri Harjanto⁽³⁾, dan Winarto⁽⁴⁾

Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Hasanuddin
Makassar
Abdulhay_mukh@yahoo.co.id

Abstrak

Die soldering adalah fenomena melengketnya produk cor dengan cetakan akibat reaksi *interface* antara aluminium cair dengan material cetakan. Akibat tingginya afinitas aluminium terhadap besi, unsur besi dari material cetakan berdifusi menuju aluminium cair membentuk lapisan intermetalik pada permukaan cetakan, sehingga aluminium cair menempel pada permukaan cetakan dan tertinggal setelah pelepasan hasil pengecoran. Fenomena ini mengakibatkan terjadinya kegagalan cetakan dan menurunnya kualitas permukaan hasil coran, sehingga mengarah kepada penurunan produktivitas dan peningkatan biaya produksi pengecoran. Untuk mencegah terjadinya *die soldering*, pembentukan lapisan intermetalik pada permukaan cetakan harus dihindari atau diminimalisir.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari morfologi dan karakteristik lapisan intermetalik $Al_xFe_ySi_z$ yang terbentuk selama proses reaksi antar muka pada saat pencelupan. Sampel uji yang digunakan yaitu baja perkakas jenis H13 hasil *temper*, yang dicelup pada paduan Al-7%Si yang telah ditambah 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% Mn pada temperatur tahan $700^{\circ}C$, dengan putaran 2500, 3000, 3500 rpm

Hasil penelitian menunjukkan dua lapisan intermetalik terbentuk pada permukaan baja perkakas H13 yakni *compact intermetallic layer* dan *broken intermetallic layer* dengan fasa intermetalik Al_xFe_y , ketebalan lapisan *broken layer* rata-rata lebih tebal dibanding *compact layer*. Demikian pula kekerasan *compact layer* lebih tinggi dibandingkan *broken layer*. Penambahan 0.3 - 0.5 %Mn pada paduan Al-7%Si pada suhu $700^{\circ}C$, menunjukkan hasil signifikan dalam menurunkan lapisan intermetalik, pada rentang kecepatan 2500 - 3000 rpm, dan pada penambahan 0.1 Mn. Pada suhu $700^{\circ}C$ ketebalan lapisan intermetalik meningkat dengan meningkatnya kecepatan, dan kekerasan *temper* lebih besar dibandingkan dengan kekerasan *over temper*.

Keywords : *Heat treatment, die soldering*, lapisan intermetalik, Penambahan Mn, Al-Si

Pendahuluan

Aluminium yang digunakan di berbagai komponen mesin kendaraan bermotor dengan spesifikasi yang berbeda-beda menggunakan proses manufaktur pengecoran logam (*metal casting*), yang banyak diaplikasikan di industri otomotif adalah proses cetak tekan (*die casting*), dimana umur pakai *die* dalam *casting* paduan aluminium bervariasi dari 20.000 sampai 250.000 produk yang dihasilkan.^[1]

Proses *die casting* pada industri sebagai suatu proses dengan siklus yang terus menerus. Untuk menaikkan produktivitas dan menurunkan biaya operasional, *die casting* mengalami kendala, yaitu terjadinya fenomena *die soldering* (pelengketan cetakan), yaitu ketika cairan aluminium menempel pada permukaan material *dies* (cetakan) dan ada bagian benda cor yang tersisa ketika dikeluarkan dari cetakan. Kejadian ini dapat menyebabkan penurunan produktivitas proses pengecoran^[2]

Die soldering terjadi karena afinitas logam aluminium terhadap besi (Fe) yang tinggi, dimana reaksi fisika-kimia antar muka (*interface reaction*) akan cepat terjadi pada permukaan cetakan dan aluminium cair. Reaksi ini menghasilkan pembentukan senyawa intermetalik Al-Fe-Si yang banyak pada permukaan cetakan, bahkan produk cor akan menempel pada lapisan intermetalik ini^[3].

Untuk meminimalisasi terjadinya *die soldering*, diperlukan pengetahuan dan pemahaman mengenai mekanisme proses dan penyebab penempelan aluminium cair (*molten*) pada cetakan. Berbagai penelitian telah dilakukan meliputi pengaruh kondisi proses seperti waktu tahan, temperatur tahan, dan pengaruh unsur paduan dalam aluminium cair. Selain kondisi proses tersebut, kecepatan injeksi aluminium cair menjadi salah faktor penyebab terjadinya *die soldering*. Hal ini, biasanya terjadi pada saat proses pembekuan yang umumnya lebih sering terjadi di

sekitar saluran (*gate*) yang disebabkan tingginya temperatur dan kecepatan *molten* aluminium masuk ke cetakan [4].

Pada proses High Pressure Die Casting (HPDC), paduan aluminium cair diinjeksi ke dalam cetakan berongga (*die cavity*) pada rentang temperatur 670–710 °C dengan kecepatan tinggi berkisar 30–100 m/s dan tekanan injeksi berkisar 50–80 MPa [5,6]. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan terjadinya erosi dan *die soldering*. Erosi pada cetakan terbentuk sebagai tahap awal dari *die soldering*, dimana erosi tergantung dari ketangguhan dan kekerasan meterial cetakan [7,8]. Untuk menahan erosi, permukaan cetakan diperkeras (*hardening*) dan ditemper (*tempering*) untuk menjaga kekerasannya tetap tinggi pada temperatur *die casting* [9]. Baja perkakas H13 biasanya digunakan sebagai material cetakan yang umumnya dilakukan perlakuan *double tempering* hingga kekerasan 48-50 HRC [10].

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat fenomena reaksi *interface reaction* aluminium cair dengan cetakan yang terbuat dari baja H13 *tool-steel* dengan cairan *master alloy* Al-7%Si terhadap pembentukan lapisan intermetalik dengan kecepatan, 2500, 3000, dan 3500 rpm (1,7 – 2,04 – dan 2,38 m/s).

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Bahan material yang digunakan pada penelitian ini adalah *master alloy* paduan aluminium Al-12%Si, dilebur dan ditambahkan Mn sesuai dengan kadar yang dibutuhkan yaitu 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7%. Untuk memastikan komposisi paduan telah sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukan pengujian komposisi untuk memperoleh paduan yang telah sesuai dengan kadarnya. Untuk material *tool steel* H13 dipersiapkan untuk keperluan pencelupan. Pertama baja H13 dipotong dan dibentuk menjadi pin silinder pejal dengan diameter 113 mm, panjang 40 mm. Baja H13 diberikan perlakuan panas *temper* pada $t = 550^{\circ}\text{C}$. Perlakuan panas ini dilakukan untuk melihat hubungannya dengan fenomena *die soldering* pada proses HPDC. Sampel baja H13 yang telah di *temper* selanjutnya diampelas agar permukaannya bersih dan rata.

Setelah semua sampel dan peralatan disiapkan, selanjutnya dilakukan peleburan material Al-12%Si yang telah dipadu dengan Mn. Peleburan ini dilakukan sampai paduan mencair dan temperturnya dipertahankan pada 700 °C. Baja H13 kemudian dicelupkan ke dalam paduan aluminium cair dengan variasi kecepatan 2500, 3000 dan 3500 rpm selama 90 detik.

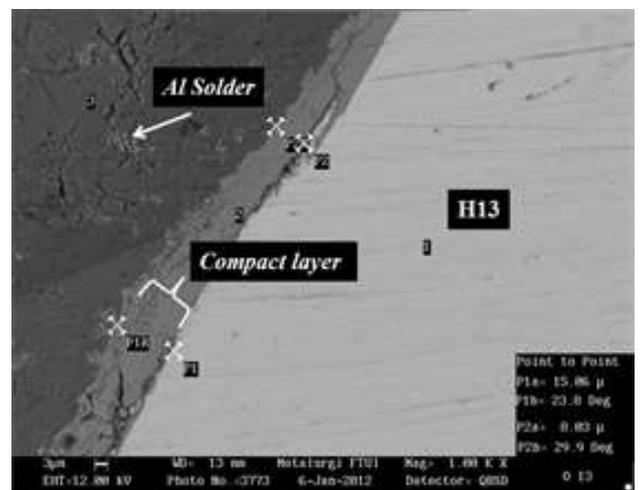
Sampel baja H13 yang telah dicelup kemudian dipotong untuk keperluan karakterisasi. Hasil potongan ini dipreparasi mulai dari *mounting*,

pengamplasan dan pemolesan permukaannya sampai halus. Sampel yang telah selesai dipreparasi siap untuk dikarakterisasi berupa pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat ketebalan lapisan intermetalik serta pengujian kekerasan lapisan intermetalik dengan metode *vickers microhardness*.

Hasil dan Pembahasan

A. MORFOLOGI DAN KARAKTERISTIK LAPISAN INTERMETALIK

Untuk mengetahui morfologi dan karakteristik lapisan intermetalik pada sampel baja H13 *over temper* hasil pencelupan dinamis 2.500 rpm, 3.000 rpm, dan 3.500 rpm ke dalam paduan Al-12%Si dengan kandungan 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% Mn selama 90 detik dilakukan pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Untuk satu sampel dilakukan pengamatan pada tiga daerah lapisan intermetalik yang berbeda agar data dan informasi yang diperoleh lebih akurat dan menguatkan. Sebagai contoh hasil SEM sebagaimana ditunjukkan Gambar 1 di bawah ini.



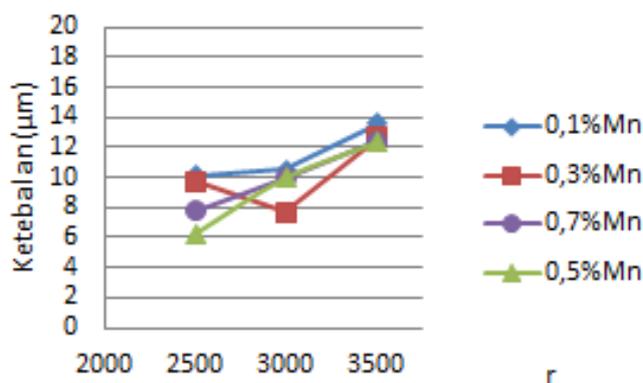
Gambar 1. Hasil SEM pencelupan dinamis 2.500 rpm pada Al-12%Si-0,1%Mn

Berdasarkan beberapa sampel hasil SEM, sebagaimana terdapat pada Gambar 1, terlihat adanya lapisan intermetalik yang terbentuk antara baja H13 *over temper* dan paduan aluminium. Lapisan ini terdapat pada semua sampel celup, dimana lapisan yang teramati hanya terdiri dari satu tipe lapisan yaitu lapisan padat (*compact layer*). Aluminium mula-mula bereaksi dengan permukaan butir yang besar, dan pada permukaan lubang lebih

banyak mengandung fasa biner Fe-Al sehingga terbentuk seperti FeAl, FeAl₂, Fe₂Al₅, dan FeAl₃^[11]. Mekanisme terbentuknya *compact layer* pada pencelupan baja H13 *temper* dalam *molten* aluminium meliputi mekanisme erosi, dan difusi. Sampel baja H13 *over temper* yang dicelup dinamis dengan variasi kecepatan tertentu mengalami kontak dengan molten Al-7%Si dan menyebabkan terjadinya difusi dan membentuk lapisan intermetalik sebagaimana dijelaskan oleh Joshi et al^[12]. Akibat sampel mengalami kontak secara terus-menerus dan adanya friksi dari *molten* menyebabkan peningkatan temperatur pada antarmuka sampel dan *molten*. Hal ini, menyebabkan kehilangan material melalui mekanisme erosi, pelarutan, dan difusi. Hogan^[13] menjelaskan bahwa temperatur yang lebih tinggi meningkatkan aktivitas atom pada permukaan, koefisien difusi, dan laju reaksi. Semua itu, akan menyebabkan terjadinya *die soldering* dengan lebih cepat dan berkembang lebih cepat. Temperatur yang tinggi dapat juga menyebabkan efek *tempering* pada permukaan sampel sehingga memicu *soldering* dengan pelunakan (*softening*) pada permukaan sampel.

A. Pengaruh Kecepatan terhadap Ketebalan Lapisan Intermetalik

Pengujian SEM pada sampel baja H13 hasil *temper* pencelupan dinamis ke dalam paduan Al-7%Si dapat digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan intermetalik yang terbentuk. Data hasil pengukuran ketebalan lapisan intermetalik dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini



Gambar 2. Pengaruh Kecepatan putar (*temper*)

Pada penambahan 0,3%Mn, 0,5%Mn dan 0,7%Mn terjadi kecenderungan yang sama, yaitu ketebalan lapisan intermetalik naik, seiring dengan naiknya kecepatan. Pada kecepatan 3.500 rpm ketebalan lapisan intermetalik rata-rata meningkat bahkan lebih

tinggi daripada kecepatan 2.500 rpm dan 3000 rpm. Hal ini dapat terjadi karena hubungan antara proses pembentukan dan pelarutan lapisan intermetalik. Pada kecepatan 2.500 rpm lapisan intermetalik terbentuk dengan pelarutan yang sedikit. Selanjutnya pada kecepatan yang lebih tinggi, yaitu 3.500 rpm, ketebalan lapisan intermetalik kembali meningkat bahkan lebih tinggi dari ketebalan sebelumnya. Ini dapat disebabkan oleh laju pembentukan intermetalik menjadi lebih tinggi mengalahkan laju pelarutannya karena keaktifan permukaan logam terhadap paduan aluminium cair meningkat.

Kesimpulan

1. Ketebalan lapisan intermetalik meningkat dengan naiknya kecepatan.
2. Ketebalan lapisan intermetalik menurun pada penambahan unsur Mn antara 0,5-0,7%, kecuali pada kecepatan 3.500 rpm .
3. Penambahan Mn tidak berpengaruh langsung terhadap kekerasan lapisan intermetalik, namun mempengaruhi kadar Fe yang terkandung dalam lapisan intermetalik. Semakin tinggi kadar Mn yang ditambahkan maka afinitas Fe terhadap Al akan semakin rendah sehingga kandungan Fe dalam lapisan intermetalik akan lebih rendah. Kandungan Fe dalam lapisan intermetalik turun dengan penambahan Mn dari 0,5-0,7%.
4. Kecepatan injeksi yang paling efektif untuk meminimalisasi terjadinya *die soldering* adalah 3.000 rpm dimana pada kecepatan ini terbentuk lapisan intermetalik yang paling tipis.
5. Kadar Mn yang paling optimal dalam menurunkan efek *die soldering* pada penelitian ini adalah 0,5-0,7%Mn dimana dengan penambahan Mn pada kadar ini akan terbentuk lapisan intermetalik yang lebih tipis

Referensi

Hanliang Zhu, Jingjie Guo, Jun Jia. 2001. *Experimental study and theoretical analysis on die soldering in aluminum die casting*.

Journal of Material Processing and Technology.

Sumanth Shankar, Diran Apelian. 2000. *Die Soldering: Mechanism of the Interface Reaction between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel*. Worcester Polytechnic Institute.

Holz, E. K, Trouble-Shooting Aluminum Die Casting Quality Problems, Transactions of 7th. SDCE

International Die Casting Congress, 1972, Paper No. 4372.

P. Hairy, M. Richard, Transactions, in: Proceedings of the 19th International Die-Casting Congress and Exposition, NADCA, 1997.

Z.W. Chen. Formation and progression of die soldering during high pressure die casting. *Materials Science and Engineering A* 397 (2005) 356–369.

Sumanth Shankar and Diran Apelian, “Investigation of Die soldering in Aluminum Die Casting”, Progress Report, Aluminum Casting Research Laboratory, 99-3, MPI - WPI, Worcester, MA 01609, Dec. 1999.

Sumanth Shankar. “A Study of the Interface Reaction Mechanism Between Molten Aluminum and Ferrous Die Materials”, Doctoral Dissertation, WPI, Worcester, MA 01609, April 2000.

V. Joshi, A. Srivastava, R. Shivpuri. Intermetallic formation and its relation to interface mass loss and tribology in die casting dies. [Wear Volume 256, Issues 11-12](#), June 2004, Pages 1232-1235

Sumanth Shankar and Diran Apelian, “Investigation of Die soldering in Aluminum Die Casting”, Progress Report, Aluminum Casting Research Laboratory, 99-3, MPI - WPI, Worcester, MA 01609, Dec. 1999.

K. Vankestan, R. Shivpuri. 1995. *Indian Polis: Transaction of 18th International Casting Congress and Exposition*.

Hou Xiaoxia, Yang Hua, Zhao Yan, Pan Fuzhen. *Effect of Si on the interaction between die casting die and aluminum alloy*. *Materials Letter* 58 (2004) 3424-3427.