

Pembentukan Mikrostruktur Berbentuk Sfera dalam Keadaan Separa Pepejal Aloi Aluminium Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg

(Formation of Spheroidal Microstructure in Semi-solid State of Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg Aluminium Alloy)

Mohd Anif Mohd Arif*

Centre for Materials Engineering and Smart Manufacturing (MERCU),
Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia
Mohd Zaidi Omar & Zainuddin Sajuri
Centre for Materials Engineering and Smart Manufacturing (MERCU),
Mechanical Engineering Programme,
Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia

ABSTRAK

Hasil penyelidikan mengenai pembentukan mikrostruktur berbentuk sfera dalam keadaan separa pepejal aloi aluminium Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg dibentangkan dalam penulisan ini. Bahan awal aloi aluminium tersebut dihasilkan melalui proses tuangan konvensional. Mikrostruktur bahan awal terdiri daripada struktur dendrit dan antara dendrit yang halus. Mikrostruktur aloi berubah kepada bentuk bukan dendrit (bentuk roset) yang halus apabila leburan bahan awal aloi tersebut dituang ke atas plat keluli cerun penyejuk yang dicondongkan pada sudut kecondongan 60° dengan suhu tuangan 650°C dan panjang cerun penyejukan 400 mm, sebelum dibiarkan memejal di dalam acuan keluli yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 150°C. Pembentukan mikrostruktur berbentuk sfera dalam matriks cecair berjaya dihasilkan apabila bilet aloi yang mengandungi mikrostruktur bukan dendrit dipanaskan semula secara pantas sehingga suhu separa pepejalnya pada 575°C dengan menggunakan sistem pemanasan secara aruhan berfrekuensi tinggi (30-80 kHz, 35 kW). Bilet aloi yang berada dalam keadaan separa pepejal berjaya dibentuk-tikso ke dalam acuan keluli yang dipanaskan terlebih dahulu dengan menggunakan mesin penekan silinder hidraulik yang membekalkan daya tekanan 20 kN dengan kelajuan maksimum 85 mm/s. Hasil daripada proses pembentukan-tikso menunjukkan ira matriks α -aluminium yang berbentuk sfera bertaburan secara seragam di samping tidak terdapat keporosan di sepanjang sampel. Proses rawatan haba T6 yang melibatkan rawatan haba larutan pada 480°C selama 8 jam, lindapkejut dalam air panas pada suhu lebih kurang 60°C dan diikuti proses penuaan pada suhu 155°C selama 4 jam dilihat menyumbang kepada taburan partikel-partikel dengan lebih sekata.

Kata kunci: Mikrostruktur bukan dendrit; tuangan cerun penyejuk; mikrostruktur berbentuk sfera; pembentukan-tikso; rawatan haba T6

ABSTRACT

This paper presents the outcomes of the work on the formation of spheroidal microstructure in the semisolid state of Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg aluminium alloy. The starting material of the aluminium alloy was produced employing a conventional casting process. The microstructure of the starting material consists of fine dendritic and interdendritic structures. The fine nondendritic microstructures of the alloy were generated from the cooling slope casting process. The starting material was initially melted using a resistance furnace before pouring (at 650°C) onto the cooling slope plate (with 60° tilt angle and cooling slope length of 400 mm) and finally collected in a 150°C preheated cylindrical stainless steel mould. The formation of the spheroidal structure in a liquid matrix was obtained when the nondendritic alloy billet was rapidly reheated into its semisolid temperature at 575°C using a high-frequency induction heating system (30-80 kHz, 35 kW). The semisolid alloy billet was successfully thixoformed into a preheated stainless steel die using a hydraulic cylinder press that provided a load of 20 kN with a maximum compression velocity of 85 mm/s. The thixoformed sample showed a uniform distribution of nearly globular α -Al grains without micropores throughout the sample. The results demonstrate that the grain distribution is more homogenous after the T6 heat treatment which involves the solid solution treatment at 480°C for 8 hrs, quenched in warm water at 60°C and followed by ageing at 155°C for 4 hrs.

Keywords: Nondendritic microstructures; cooling slope casting; spheroidal structure; thixoforming; T6 heat treatment

PENGENALAN

Proses pembentukan-tikso yang dikenali juga sebagai proses pembentukan logam separa pepejal adalah salah satu proses pembentukan logam kepada bentuk hampir siap (Flemings 1991; Omar et al. 2005; 2007). Oleh kerana proses pembentukan-tikso menggabungkan beberapa elemen yang terdapat dalam proses tuangan dan tempaan maka proses ini juga menawarkan beberapa kelebihan istimewa yang terdapat dalam kedua-dua proses tersebut iaitu pengurangan tahap keporosan dan pengasingan unsur di samping penggunaan tenaga haba dan daya pembentukan yang rendah (Arif et al. 2011; 2012; 2013; Hirt et al. 1997; Chen et al. 2002). Walaubagaimanapun, keperluan utama proses pembentukan-tikso adalah aloi logam yang memiliki sifat tiksotropik iaitu ianya mampu berdiri pegun seperti pepejal sekiranya dibiarkan dan akan mengalir seperti cecair apabila dikenakan daya ricihan (Kirkwood 1994; Mohammed et al. 2014). Sifat ini boleh diperolehi apabila mikrostruktur aloi logam terdiri daripada struktur fasa pepejal berbentuk sfera yang dikelilingi matriks fasa cecair (Omar et al. 2009).

Terdapat banyak kaedah untuk menghasilkan bilet yang mengandungi mikrostruktur bukan dendrit seperti yang dinyatakan dalam (Mohammed et al. 2013). Proses tuangan cerun penyejuk merupakan salah satu kaedah untuk menghasilkan mikrostruktur bukan dendrit dengan menggunakan peralatan yang murah dan mudah. Kaedah tersebut dilakukan dengan menuangkan logam lebur ke atas plat logam sebelum dikumpul masuk dan memejal dalam acuan logam. Parameter tuangan cerun penyejuk melibatkan suhu tuangan, sudut kecondongan plat dan panjang cerun penyejukan. Apabila bilet yang mengandungi mikrostruktur bukan dendrit dipanaskan sehingga suhu separa pepejalnya, mikrostruktur berbentuk sfera cenderung untuk terbentuk (Salleh et al. 2014; Haga et al. 2010).

Aloi aluminium merupakan salah satu jenis aloi bukan ferus yang memiliki banyak kelebihan. Di samping sifat kebolehtuangan yang baik, aloi aluminium juga mempunyai sifat-sifat unggul yang diperlukan oleh industri kejuruteraan otomotif dan aeroangkasa seperti ringan dan tahan karat. Antara unsur-unsur pengaloi yang terdapat dalam aloi aluminium ialah silikon, kuprum, dan magnesium. Silikon berperanan menambah kebolehaliran aloi aluminium semasa proses tuangan. Manakala, kuprum pula berupaya meningkatkan kekuatan dan kebolehmesinan di samping mengurangkan kemuluran dan rintangan kakisan aloi aluminium. Selain itu, unsur magnesium ditambah untuk meningkatkan kekuatan dan memperbaiki kebolehkerasan terikan aloi aluminium (Ghazali 2006; Ammar et al. 2008; Abdul Latif et al. 2014; Salleh et al. 2015).

Kajian mengenai proses pembentukan-tikso ke atas aloi aluminium sedang giat dijalankan. Walau bagaimanapun, kajian mengenai proses pembentukan-tikso banyak dilakukan ke atas aloi aluminium yang dibangunkan khusus untuk proses tuangan seperti A319, A356 dan A357. Kajian mengenai proses penghasilan mikrostruktur berbentuk bukan dendrit dengan menggunakan kaedah tuangan cerun

penyejuk juga hanya tertumpu kepada aloi aluminium tuang tersebut. Oleh itu, keupayaan sebenar proses ini masih tidak dapat digunakan dan terdapat keperluan untuk mencari komposisi kimia aloi aluminium yang sesuai untuk proses pembentukan-tikso (Paes and Zoqui 2005; Patel et al. 2008; Salleh et al. 2015). Dalam laporan ini, kajian mengenai keupayaan aloi aluminium Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg terhadap proses pembentukan logam separa pepejal dibincangkan. Aloi ini dibangunkan khusus untuk proses pembentukan-tikso berdasarkan kajian terdahulu (Salleh et al. 2015). Penghasilan bilet aloi yang mengandungi mikrostruktur bukan dendrit dilakukan melalui proses tuangan cerun penyejuk. Seterusnya, bilet aloi dipanaskan secara pantas sehingga suhu separa pepejal dengan menggunakan sistem pemanasan secara aruhan sebelum dibentuk-tikso ke dalam acuan keluli. Kesan proses rawatan haba T6 ke atas mikrostruktur aloi yang telah dibentuk-tikso juga diperhatikan.

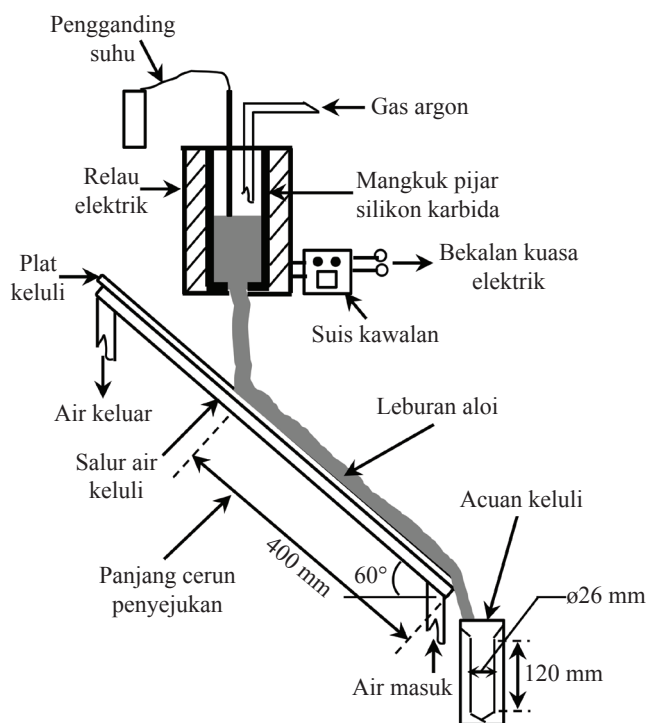
KAEDAH KAJIAN

Bahan awal yang digunakan dalam kajian ini adalah aloi aluminium Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg yang dihasilkan melalui proses tuangan konvensional. Komposisi kimia aloi ditentukan dengan menggunakan mesin spektrometer dan dinyatakan dalam Jadual 1. Proses tuangan cerun penyejuk digunakan untuk menghasilkan bilet aloi. Gambarajah skematik perkakas tuangan cerun penyejuk ada ditunjukkan dalam Rajah 1. Bahan awal dileburkan pada suhu peleburan tinggi iaitu pada 700°C dengan menggunakan relau elektrik sebelum suis bekalan elektrik relau dimatikan supaya suhu leburan boleh diturunkan. Leburan aloi dituang ke atas plat keluli apabila mencapai suhu 650°C dan ditadah masuk ke dalam acuan keluli berdiameter 26 mm dan ketinggian 120 mm yang telah dipanaskan terlebih dahulu pada suhu lebih kurang 150°C. Plat keluli cerun penyejuk disusun supaya memperoleh sudut kecondongan 60° dan panjang cerun penyejukan (panjang aliran leburan di atas plat) 400 mm.

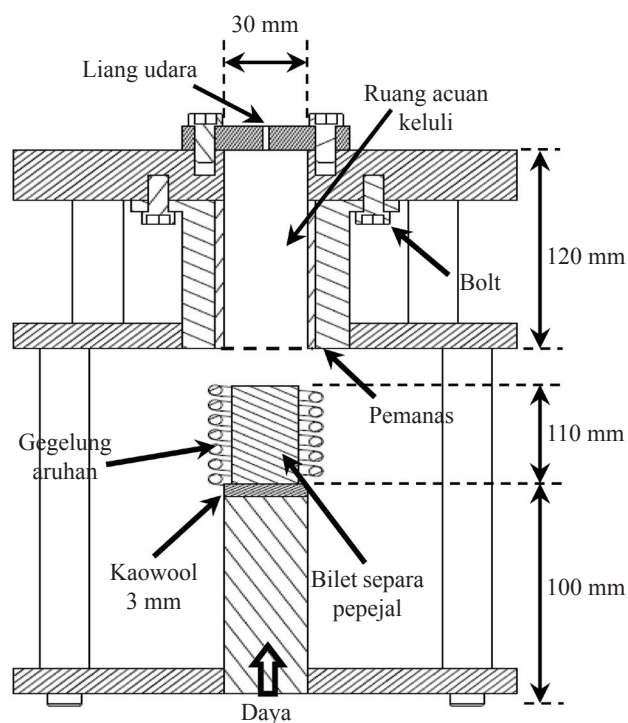
JADUAL 1. Komposisi kimia bahan awal aloi aluminium (% berat)

Unsur	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Al
(% berat)	4.78	2.76	0.48	0.45	0.14	baki

Proses pembentukan-tikso dilakukan dengan menggunakan mesin penekan hidraulik yang memiliki daya pembentukan 20 kN dengan kelajuan mampatan maksimum pada 85 mm/s. Manakala proses peleburan separa pula dilakukan dengan menggunakan sistem aruhan arus elektrik berkapasiti 35 kW dengan frekuensi di antara 30 hingga 80 kHz. Gambarajah skematik mesin pembentukan-tikso ada ditunjukkan dalam Rajah 2. Bilet yang terhasil dipotong kepada diameter 26 mm dan panjang 100 mm sebelum diletakkan di atas pelantak. Kaowool dengan ketebalan lebih kurang 3 mm diletakkan di antara bilet dan pelantak supaya tiada pemindahan haba yang berlaku. Kemudian pelantak dinaikkan sehingga bilet memasuki kawasan tengah gegelung



RAJAH 1. Gambarajah skematik perkakas tuangan cerun penyejuk



RAJAH 2. Gambarajah skematik mesin pembentukan-tikso

aruhan sebelum suis sistem aruhan dihidupkan dengan menetapkan arus gegelung pada 460 ampere. Apabila suhu bilet mencapai 575°C (dalam keadaan separa pepejal) maka ianya ditekan masuk ke dalam acuan keluli berdiameter 30 mm dan 120 mm panjang (yang telah dipanaskan pada suhu 300°C) yang diletakkan di bahagian atas pelantak dan gegelung aruhan. Kesemua suhu pemprosesan dikawal menggunakan termogandingan jenis-K. Gas argon dialirkan pada kadar 2.5 l/min ke dalam ruang pemanasan bagi mengelakkan pengoksidaan semasa proses pembentukan-tikso.

Proses rawatan haba T6 dilakukan ke atas sampel bahan awal dan terbentuk-tikso dengan menggunakan relau elektrik. Proses rawatan haba T6 melibatkan proses rawatan haba larutan pada 480°C selama 8 jam, lindapkejut dalam air panas pada suhu lebih kurang 60°C dan diikuti proses penuaan pada suhu 155°C selama 4 jam. Pemerhatian ke atas mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik jenis Olympus selepas sampel-sampel dicanai dengan menggunakan kertas pelepas silikon karbida (dengan turutan grit 120, 400, 800 dan 1200) yang dialirkan air, digilap dengan kain penggilap yang dibubuh perekat intan (dengan turutan saiz butiran 6 µm, 3 µm dan 1 µm) dan dipunat dengan larutan jenis Keller.

HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

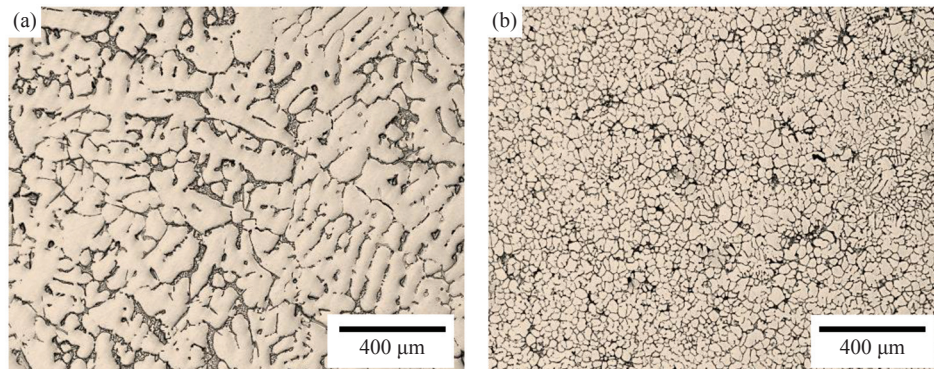
Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(a), bahan awal aloi Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg dilihat terdiri daripada mikrostruktur dendrit yang berwarna cerah dan antara dendrit yang berwarna gelap. Mikrostruktur aloi berubah kepada bentuk

bukan dendrit (bentuk roset) yang halus apabila leburan bahan awal aloi tersebut dituang ke atas plat keluli cerun penyejuk yang dicondongkan pada sudut kecondongan 60° dengan suhu tuangan 650°C dan panjang penyejukan 400 mm, sebelum dibiarkan memejal di dalam acuan keluli yang telah dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 150°C (lihat Rajah 3(b)). Parameter yang digunakan dalam proses tuangan cerun penyejuk adalah berdasarkan kajian yang terdahulu (Salleh et al. 2015). Pembentukan mikrostruktur bukan dendrit yang halus berlaku disebabkan oleh penukleusan butir-butir fasa awal α-aluminium apabila leburan aloi melalui cerun penyejuk yang disejukkan dengan aliran air (Birol 2007; Cardoso Legoretta et al. 2008; Deepak Kumar et al. 2014; Haga & Kapranos 2002; Salleh et al. 2015). Pembentukan struktur tersebut dipercayai juga berpunca daripada pemecahan struktur dendrit yang berlaku akibat daya ricihan yang dikenakan ke atas butir-butir fasa awal α-aluminium yang telah memejal semasa buburan aloi yang berada dalam keadaan separa pepejal mengalir menuruni cerun penyejuk (Amin-Ahmadi & Aashuri 2010).

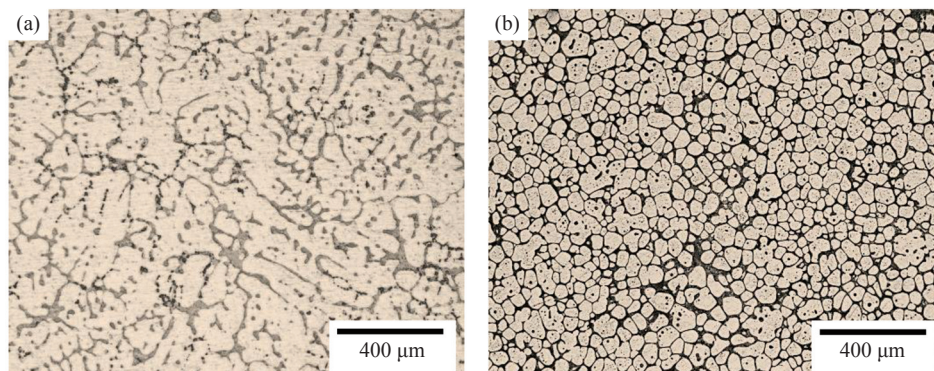
Keperluan utama proses pembentukan-tikso adalah aloi logam yang memiliki sifat tiksotropik iaitu ianya mampu berdiri pegun seperti pepejal sekiranya dibiarkan dan akan mengalir seperti cecair apabila dikenakan daya ricihan (Kirkwood 1994; Qin et al. 2007). Sifat ini hanya akan diperolehi sekiranya mikrostruktur aloi logam terdiri daripada struktur fasa pepejal berbentuk sfera yang dikelilingi matriks fasa cecair (Omar et al. 2009). Namun, struktur fasa pepejal berbentuk sfera tidak dapat dihasilkan (lihat Rajah 4(a)) apabila bahan awal aloi Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg yang mengandungi mikrostruktur berbentuk dendrit seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(a) dipanaskan secara terus

sehingga suhu separa pepejal tanpa melalui proses tuangan cerun penyejuk. Walau bagaimanapun, mikrostruktur fasa pepejal berbentuk sfera dalam matriks cecair (lihat Rajah 4(b)) berjaya dihasilkan apabila bilet aloi yang mengandungi mikrostruktur bukan dendrit yang halus hasil daripada proses tuangan cerun penyejuk seperti yang ditunjukkan dalam Rajah

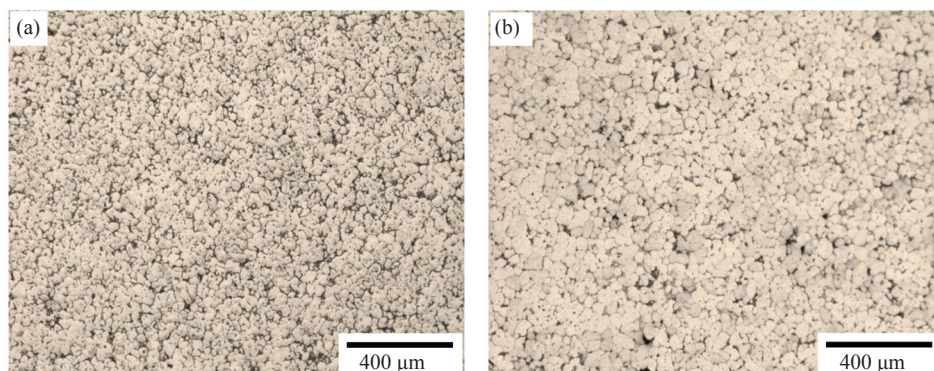
3(b) dipanaskan sehingga suhu separa pepejalnya iaitu pada 575°C . Perubahan mikrostruktur fasa pepejal α -aluminium kepada bentuk sfera yang lebih besar dalam matriks cecair adalah kesan daripada proses pengembangan dan pensferaan struktur roset yang halus dan peleburan fasa eutektik semasa proses pemanasan pada suhu separa pepejal.



RAJAH 3. Mikrostruktur aloi aluminium Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg (a) sebelum (bahan awal) dan (b) selepas proses tuangan cerun penyejuk (suhu tuangan 650°C dan panjang penyejukan 400 mm)



RAJAH 4. Mikrostruktur separa pepejal aloi aluminium Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg yang terhasil akibat proses peleburan separa pada 575°C ke atas (a) bahan awal dan (b) bilet aloi yang dihasilkan daripada proses tuangan cerun penyejuk



RAJAH 5. Mikrostruktur aloi Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg yang terbentuk-tikso (a) sebelum dan (b) selepas rawatan haba T6

Rajah 5(a) menunjukkan mikrostruktur aloi Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg yang terbentuk selepas bilet yang dihasilkan melalui proses tuangan cerun penyejuk dipanaskan semula sehingga suhu separa pepejal pada 575°C sebelum dibentuk-

tikso ke dalam acuan keluli (yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu lebih kurang 300°C) dengan menggunakan mesin penekan hidraulik. Hasil daripada proses pembentukan-tikso menunjukkan butir-butir fasa utama α -aluminium

yang berbentuk sfera bertaburan secara seragam di samping tidak terdapat keporosan di sepanjang sampel. Rajah 5(b) menunjukkan kesan proses rawatan haba T6 ke atas mikrostruktur aloi yang telah dibentuk-tikso. Taburan partikel-partikel kelihatan lebih seragam selepas proses rawatan haba dilakukan dan cenderung untuk menyumbang kepada peningkatan kekuatan dan kemuluran aloi (Biol 2013; Tavitias-Medrano et al. 2008).

KESIMPULAN

Kajian ini mendapati bahawa mikrostruktur separa pepejal yang terdiri daripada fasa pepejal berbentuk sfera dalam matriks cecair berjaya dihasilkan apabila bilet aloi Al-4.8Si-2.8Cu-0.5Mg yang mempunyai mikrostruktur bukan dendrit yang halus hasil daripada proses tuangan cerun penyejuk dengan parameter sudut kecondongan 60°, suhu tuangan 650°C dan panjang penyejukan 400 mm dipanaskan secara pantas sehingga suhu separa pepejal pada 575°C. Apabila bilet aloi yang berada dalam keadaan separa pepejal tersebut dibentuk-tikso, taburan mikrostruktur yang terbentuk adalah seragam dan tidak mengandungi keporosan. Taburan partikel-partikel juga kelihatan lebih sekata selepas dikenakan proses rawatan haba T6.

PENGHARGAAN

Penghargaan diberikan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia di atas bantuan kewangan yang disalurkan melalui geran penyelidikan FRGS/1/2014/TK01/UKM/01/2.

RUJUKAN

- Abdul Latif, N., Sajuri, Z. & Syarif, J. 2014. Effect of Aluminium content on the tensile properties of Mg-Al-Zn alloys. *Jurnal Kejuruteraan* 26: 35-39.
- Amin-Ahmadi, B. & Aashuri, H. 2010. Semisolid structure for M2 high speed steel prepared by cooling slope. *Journal of Materials Processing Technology* 210(12): 1632-1635.
- Ammar, H.R., Moreau, C., Samuel, A.M., Samuel, F.H. & Doty, H.W. 2008. Influences of alloying elements, solution treatment time and quenching media on quality indices of 413-type Al-Si casting alloys. *Materials Science and Engineering: A* 489(1-2): 426-438.
- Arif, M.A.M., Omar, M.Z. & Muhamad, N. 2011. Production of Nondendritic Semisolid ZA3 Alloy through Heat Treatment. *Journal of Applied Sciences* 11(2): 323-329.
- Arif, M.A.M., Omar, M.Z. & Muhamad, N. 2012. Effect of solid solution treatment on semisolid microstructure of Zn-22Al alloy. *Pertanika Journal of Science and Technology* 20(1): 121-127.
- Arif, M.A.M., Omar, M.Z., Muhamad, N., Syarif, J. & Kapranos, P. 2013. Microstructural evolution of solid-solution-treated Zn-22Al in the semisolid state. *Journal of Materials Science and Technology* 29(8): 765-774.
- Biol, Y. 2007. A357 thixoforming feedstock produced by cooling slope casting. *Journal of Materials Processing Technology* 186(1-3): 94-101.
- Biol, Y. 2013. Impact of grain size on mechanical properties of AlSi7Mg0.3 alloy. *Materials Science and Engineering: A* 559: 394-400.
- Cardoso Legoretta, E., Atkinson, H.V. & Jones, H. 2008. Cooling slope casting to obtain thixotropic feedstock I: observation with a transparent analogue. *Journal of Materials Science* 43(16): 5448-5455.
- Chen, T.J., Hao, Y. & Sun, J. 2002. Microstructural evolution of previously deformed ZA27 alloy during partial remelting. *Materials Science and Engineering: A* 337: 73-81.
- Deepak Kumar, S., Mandal, A. & Chakraborty, M. 2014. Cooling slope casting process of semi-solid aluminum alloys: a review. *International Journal of Engineering Research & Technology* 3(7): 269-283.
- Flemings, M.C. 1991. Behavior of metal alloys in the semisolid state. *Metallurgical Transactions B*, 22: 269-293.
- Ghazali, M.J. 2006. Wear characteristic of several commercial wrought Aluminium alloys against Tool Steel. *Jurnal Kejuruteraan* 18: 49-56.
- Haga, T. & Kapranos, P. 2002. Simple rheocasting processes. *Journal of Materials Processing Technology* 130-131: 594-598.
- Haga, T., Nakamura, R., Tago, R. & Watari, H. 2010. Effects of casting factors of cooling slope on semisolid condition. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 20: s968-s972.
- Hirt, G., Dremer, R., Witulski, T. & Tinius, H.C. 1997. Lightweight near net shape components produced by thixoforming. *Materials and Design* 18: 315-321.
- Kirkwood, D.H. 1994. Semisolid metal processing. *International Materials Reviews* 39: 173-189.
- Mohammed, M.N., Omar, M.Z., Salleh, M.S., Alhawari, K.S. & Kapranos, P. 2013. Semisolid metal processing techniques for nondendritic feedstock production. *The Scientific World Journal* 2013: 1-16.
- Mohammed, M.N., Omar, M.Z., Syarif, J., Sajuri, Z., Salleh, M.S. & Alhawari, K.S. 2014. Microstructural properties of semisolid welded joints for AISI D2 tool steel. *Jurnal Kejuruteraan* 26: 31-34.
- Omar, M.Z., Palmiere, E.J., Howe, A.A., Atkinson, H.V. & Kapranos, P. 2005. Thixoforming of a high performance HP9/4/30 steel. *Materials Science and Engineering: A* 395(1-2): 53-61.
- Omar, M.Z., Atkinson, H.V. & Kapranos, P. 2007. Semi-solid metal processing – A processing method under low flow loads. *Jurnal Kejuruteraan* 19: 137-146.

- Omar, M.Z., Atkinson, H.V., Howe, A.A., Palmiere, E.J., Kapranos, P. & Ghazali, M.J. 2009. Solid-liquid structural break-up in M2 tool steel for semi-solid metal processing. *Journal of Materials Science* 44(3): 869-874.
- Paes, M. & Zoqui, E.J. 2005. Semi-solid behaviour of new Al-Si-Mg alloys for thixoforming. *Materials Science and Engineering: A* 406(1-2): 63-73.
- Patel, J.B., Liu, Y.Q., Shao, G. & Fan, Z. 2008. Rheo-processing of an alloy specifically designed for semi-solid metal processing based on the Al-Mg-Si system. *Materials Science and Engineering: A* 476(1-2): 341-349.
- Qin, Q.D., Zhao, Y.G., Cong, P.J., Zhou, W. & Xu, B. 2007. Semisolid microstructure of Mg₂Si/Al composite by cooling slope cast and its evolution during partial remelting process. *Materials Science and Engineering: A* 444(1-2): 99-103.
- Salleh, M.S., Omar, M.Z., Syarif, J., Alhawari, K.S. & Mohammed, M.N. 2014. Microstructure and mechanical properties of thixoformed A319 aluminium alloy. *Materials and Design* 64: 142-152.
- Salleh, M.S., Omar, M.Z. & Syarif, J. 2015. The effects of Mg addition on the microstructure and mechanical properties of thixoformed Al-5%Si-Cu alloys. *Journal of Alloys and Compounds* 621: 121-130.
- Tavitas-Medrano, F.J., Gruzleski, J.E., Samuel, F.H., Valtierra, S. & Doty, H.W. 2008. Effect of Mg and Sr-modification on the mechanical properties of 319-type aluminum cast alloys subjected to artificial aging. *Materials Science and Engineering: A* 480(1-2): 356-364.

*Mohd Anif Mohd Arif

Centre for Materials Engineering and Smart Manufacturing (MERCU)

Faculty of Engineering & Built Environment
Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.

Mohd Zaidi Omar

Zainuddin Sajuri

Centre for Materials Engineering and Smart Manufacturing (MERCU)

Mechanical Engineering Programme

Faculty of Engineering & Built Environment

Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.

*Corresponding author; email: anifarif@gmail.com

Received date: 16th March 2018

Accepted date: 15th July 2018

Online First date: 1st September 2018

Published date: 31st October 2018