

砂模鑄造鋁基碳化矽複合材料流動性之探討

蔡俊彥、胡瑞峰

E-mail: 9018987@mail.dyu.edu.tw

摘要

本研究主要目的係探討三種鋁基(A356.2、A413.1及A390.1鋁合金)碳化矽顆粒(SiCp)複合材料之流動性，研究並分析一些製程參數和合金處理元素對此三種鋁基碳化矽顆粒複合材料(AMC/SiCp)流動性之影響，以期獲致這些參數和流動性之相關性，提供使用者作為鑄造方案設計之參考。對於三種鋁合金基材添加碳化矽顆粒強化材或合金處理元素，如Ti(鋁晶粒細化元素)、Sr或Sb(共晶矽調質元素)和P(初晶矽改良元素)，首先以CO₂砂模螺旋型流動性測試(Spiral Fluidity Test)量測各種不同組成(主要改變SiCp添加量)複合材料之流動性並加以比較，歸納並分析添加SiCp和合金處理元素對流動性之影響。其次，量測各種不同組成複合材料之凝固冷卻曲線，利用電腦輔助冷卻曲線分析法(CA-CCA)方法探究複合材料凝固時凝固熱參數之改變、所釋放之潛熱以及凝固過程固相分率之變化情形，以進一步瞭解這些參數對複合材料流動性之影響。此外，亦探討三種複合材料在熔煉過程中，澆注溫度(或過熱溫度)對流動性之影響。研究結果顯示，隨著SiCp添加量之增加，三種鋁基碳化矽複合材料之流動性呈現顯著降低的趨勢。而隨著澆注溫度之提高，三種複合材料之流動性呈現顯著增加的現象；但對於A356/SiCp複合材料而言，SiCp添加量超過10wt%以上且過熱溫度超過160 時，以及對於A413/SiCp和A390/SiCp複合材料而言，SiCp添加量超過20wt%以上且過熱溫度超過90 時，其流動性皆會下降。此外，對於三種複合材料同時添加Ti和Sr之調質處理和晶粒細化處理後，其流動性均較未處理者佳，但對於A356/SiCp或A413/SiCp同時添加Ti和Sb以及對於A390/SiCp同時添加Ti和P之調質處理和晶粒細化處理後，其流動性均較未處理者差。利用CA-CCA方法分析複合材料之凝固潛熱，獲致三種複合材料之凝固潛熱均隨著SiCp添加量之增加而有降低之趨勢。而添加Ti和Sr於三種複合材料中會增加複合材料凝固潛熱，但添加Ti和Sb於A356/SiCp或A413/SiCp中以及添加Ti和P於A390/SiCp中則會造成複合材料凝固潛熱之降低。另外，添加SiCp會提升複合材料共晶溫度及最終凝固溫度，並縮短凝固時間，這些不利的因素皆造成複合材料之流動性變差。本研究亦深入分析螺旋型流動性測試鑄件之顯微組織以及流動凝固過程固相分率之變化，以瞭解添加SiCp於鋁基材中，其流動凝固模式之改變和控制流動之臨界固相分率對複合材料流動性的影響。而研究結果發現在A356.2、A413.1和A390.1三種鋁合金中添加SiCp皆會改變其流動凝固模式，進而對複合材料之流動性產生重大之影響。

關鍵詞：鋁基碳化矽顆粒複合材料；流動性；調質處理；晶粒細化處理；CA-CCA

目錄

第一章前言--P1 1.1 研究動機--P2 1.2 研究目的--P2 第二章文獻探討--P4 2.1 基材與強化材--P5 2.1.1 基材--P5 2.1.2 強化材--P5 2.2 金屬基複合材料的製造方法--P7 2.3 顆粒狀強化材之分散均勻性--P10 2.3.1 冶金熱力學模式--P11 2.3.2 熱傳遞模式--P11 2.3.3 運動模式--P13 2.3.4 推擠/捕獲轉變的臨界速度--P14 2.3.5 樹枝晶臂間距--P15 2.3.6 顆粒行為圖--P15 2.4 潤濕性--P17 2.5 流動性--P20 第三章實驗方法及步驟--P44 3.1 實驗設計--P44 3.1.1 流動性測試--P44 3.1.2 複合材料之基材--P45 3.1.3 複合材料之強化材--P45 3.1.4 澆鑄溫度--P45 3.1.5 調質處理及晶粒細化處理--P46 3.2 實驗設備及裝置--P46 3.2.1 攪拌設備--P46 3.2.2 除氣處理--P46 3.2.3 螺旋型流動性測試砂模--P47 3.3 複合材料熔煉與處理--P47 3.3.1 備料--P47 3.3.2 預熱碳化矽顆粒--P47 3.3.3 熔煉--P48 3.3.4 攪拌器烘烤--P48 3.3.5 SiC顆粒之添加與攪拌--P48 3.3.6 調質處理及晶粒細化處理--P49 3.3.7 除氣處理--P49 3.4 流動性測試--P49 3.5 熱分析--P50 3.5.1 凝固冷卻曲線之量測--P50 3.5.2 螺旋型鑄件流動之固相分率--P53 3.6 金相組織觀察與分析--P53 3.6.1 光學顯微鏡(OM)觀察--P53 3.6.2 X光繞射儀(X-ray Diffraction; XRD)分析--P54 3.6.3 掃描式電子顯微鏡(SEM)--P54 第四章結果與討論--P61 4.1 攪拌參數之獲取--P61 4.2 螺旋型流動性測試--P61 4.2.1 碳化矽添加量和調質處理和晶粒細化處理對複合材料流動性之影響--P61 4.2.2 過熱溫度(澆注溫度)對流動性之影響--P63 4.3 熱分析結果與流動性之關係--P66 4.3.1 凝固潛熱對流動性之影響--P66 4.3.2 凝固溫度和凝固時間對流動性之影響--P68 4.3.3 凝固過程固相分率之變化對流動性之影響--P71 4.4 添加SiCp對流動凝固模式和流動性之影響--P77 4.4.1 A356/SiCp流動凝固模式和流動性之關係--P78 4.4.2 A413/SiCp流動凝固模式和流動性之關係--P80 4.4.3 A390/SiCp流動凝固模式和流動性之關係--P83 4.5 調質處理和細化處理對顯微組和流動性之影響--P85 4.5.1 對A356/SiCp複合材料之影響--P85 4.5.2 對A413/SiCp複合材料之影響--P86 4.5.3 對A390/SiCp複合材料之影響--P88 4.6 反應物之XRD分析--P90 4.7 SEM觀察分析--P94 第五章結論--P189 參考文獻--P192

參考文獻

1. Pradeep Rohatgi, " Foundry Processing of Metal Matrix Composites, " Modern Casting, April, 1988, pp.47-50.
2. D. Huda, M.A. El Baradie and M. S. J. Hashmi, " Metal- matrix composites:Materials aspects. Part 1, " Journal of Materials Processing Technology, 37, 1993, pp.529-541.
3. F. M. Yarandi, P. K. Rohatgi and S. Ray, " Casting Fluidity of Aluminum A356-SiC Cast Particulate Composite, " AFS Trans., vol.100, 1992, pp.575-582.
4. P. Meyer, P. Hottebart, P. Malletroit, D. Massinon and F. Plumail, " MMC Developments at Montupet:An Overview, " AFS Trans., vol.102, 1994, pp.653-664.
5. V. A. Ravi, D. J. Frydrych and A. S. Nagelberg, " Effect of Particle Size, Shape and Loading on the Fluidity of SiC- Reinforced Aluminum MMCs, " AFS Trans., vol.102, 1994, pp.891-895.
6. P. K. Rohatgi, R. Sathyamoorthy, C. S. Narendranath and D. Nath, " Studies on Casting Characteristics and Settling Behavior of Al-Base SiC-Particle Metal Matrix Composites, " AFS Trans., vol.101, 1993, pp.597-604.
7. E. F. Crawley and M. C. Van, J. Compos. Mater., 21, 1987, p.553.
8. P. K. Ghosh and S. Ray, " Influence of Process Parameters on the Porosity Content in Al(Mg)-Al₂O₃ Cast Particulate Composite Produced by Vortex Method, " AFS Trans., vol.96, 1988, pp.775-782.
9. M. K. Surappa and P. K. Rohatgi, " Preparation and Properties of Cast Aluminium-ceramic Particle Composites, " Journal of Materials Science, 16, 1981, pp.983-993.
10. 邱垂泓, 楊智富, " 調質劑及界面潤濕劑對鋁基複合材料性質之影響, " 鑄工, 第103期, 民國88年, pp.22- 35.
11. Jae-Chul Lee, Ji-Young Byun, Sung-Bae Park and Ho-In Lee, " Prediction of Si Contents to Suppress the Formation of Al₄C₃ in the SiCp/Al Composite, " Acta Materials, vol.46, issue 5, March 2, 1998, pp.1771- 1780.
12. D. Huda, M.A. El Baradie and M. S. J. Hashmi, " Metal- matrix Composites:Manufacturing Aspects. Part I, " Journal of Materials Processing Technology, 37, 1993, pp.513-528.
13. ASM Metals Handbook, vol.15, 9th ed., 1983, pp.840- 854.
14. X. Guo and D. M. Stefanescu, " Directional Solidification of Al-Base/SiC Particle Metal Matrix Composite Castings, " AFS Trans., vol.100, 1992, pp.273-280.
15. D. Shangguan, S. Ahuja and D. M. Stefanescu, " An Analytical Model for the Interaction between an Insoluble Particle and an Advancing Solid/Liquid Interface, " Metallurgical Transactions, vol.23A, February, 1992, pp.669-680.
16. A. W. Neumann, J. Szekely, E. J. Rabenda and Jr., J. "Olloid : Interface Sci., 43, 1993, p.727.
17. S. N. Omenyi and A. W. Nenumann : J. Applied. Physics, 1976, vol.47, no.9, p.3956.
18. M. K. Surappa and P. K. Rohatgi : J. Mater. Sci. Lett., 16, 1981, p.765.
19. A. A. Chernov and A. M. Mel ' Nikova : Kristallografiya, 10, 1965, p.800.
20. A. M. Zubko, V. G. Lobanov and V. V. Nikonova : Soviet. Phys. Crystallography, 1973, vol.18(2), pp.239-241.
21. D. M. Stefanescu and B. K. Dhindaw, Metals Handbook, vol.15, ASM Int., Material park, Oh, U.S.A. 1988, pp.840- 854.
22. A. Amaro, D. Yamamoto, A. Garcia, C. Atlatenco, I. Beltran, C. Gonzalez and A. Sanchez, " Modification and Refinement Treatment in Cast Al-Si/SiC Particle Composites, " AFS Trans., vol.102, 1994, pp.943-948.
23. P. K. Rohatgi, F. M. Yarandi and Y. Liu, in Proceeding of International Symposium on Advances in Cast Reinforced Metal Composites, Materials Park, OH : ASM International Publication, 1988, p.249.
24. D. J. Lloyd : Compos. Sci. Tehnol., 35, 1989, pp.159-179.
25. D. M. Stefanescu, A. Moitra, A. S. Kacar and B. K. Dhindaw : Metall. Trans., vol.21A, 1990, pp.231-239.
26. I. Jin and D. J. Lloyd : in Proc. Int. Conf., Montreal, PQ, Canada, September 17-29, 1990, J. Masounave and F. G. Hamel, eds., ASM International, Metals Park, OH, 1990.
27. A. Mortensen : Materials Science and Engineering, vol.135, 1991, pp.1-11.
28. P. K. Rohatgi, R. Asthana and S. Das, " Solidification, Structures, and Properties of Cast Metal-ceramic Particle Composites, " International Metals Reviews, vol.31, no.3, 1986, pp.115-139.
29. J. Hashim, L. Looney and M. S. J. Hashmi, " Metal Matrix composites : Production by the Stir Casting Method, " Journal of Materials Processing Technology, vol.92, August, 1999, pp.1-7."
30. D. L. Rose, B. M. Cox and M. D. Skibo, " Degassing and Cleaning of Al-Based SiC Particulate Reinforced Composites, " AFS Trans., vol.101, 1993, pp.619-626.
31. D. Nath and P. K. Rohatgi, " Fluidity of Mica Particle Dispersed Aluminum-SiC Composites, " Composite Science and Technology, 35, 1989, p.159.
32. John E. Allison and Gerald S. Cole " Metal-Matrix Composite in the Automotive Industry : Opportunities and Challenges, " JOM., January, 1993, p.19.
33. M. K. Surappa, P. K. Rohatgi : Metall. Trans., vol.12B, 1981, p.327.
34. R. E. Carity, " Foundry Experience and Variables in Casting Silicon Carbide Reinforced Aluminum Alloys, " AFS Trans., vol.97, 1989, pp.743-746.
35. H. K. Moon, " Rheological Behavior and Microstructure of Ceramic Particulate/Aluminum Alloy Composites, " Ph. D. Thesis. M.I.T., 1990, p.114.
36. M. C. Fleming, F. R. Mollard, E. F. Niiyama and H. F. Taylor, " Fluidity of Aluminum, " AFS Trans., vol.68, 1962, pp.1029-1039.
37. F. M. Yarandi, P. K. Rohatgi and S. Ray : Journal of Materials Engineering and Performance, vol.2(3), 1993, p.359.
38. E. L. Kotzin : Metalcaster ' s Reference and Guide, 1st edition, 1972, p.261.
39. A.D. McLeod, Proceeding of the American Society for Metals International Conference on the Fabrication of Particulate Reinforced Metal Composites, Montreal, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1990,16-19, September, pp.25-29.
40. A. M. Samuel, H. Liu and F. H. Samuel, " Effect of Melt, Solidification and Heat-treatment Processing Parameters on the properties of Al-Si-Mg/SiC(p) Composites, " Journal of Materials Science, 28, 1993, pp.6785-6798.
41. D. J. Lloyd and E. Dewing : Proceedings of the International Symposium on Advanced Structural Materials , edited by D. S. Wilkinson (Pergamon Press, New York, 1988), p.71.
42. T. A. Chernyshova, A. V. Rebrov and J. Less : Common Metals, vol.117, 1980, p.203.
43. W. C. Moshier, J. S. Ahearn and D. C. Cooke : J. Mater. Sci, vol.22, 1987, p.115.
44. D. J. Jeffrey and A. Acrivos : J. Amer. Inst. Chem. Eng., vol.22(3), 1976, pp.417-432.
45. 李世欽, 楊家彰, 翁震杰, " 融體鑄造碳化矽顆粒強化A356鋁合金 製程參數探討 " , 鑄工 , 第87期 , 民國84年12月 , pp.37-43.
46. D. M. Curry and S. D. Williams, " Nolinear Least Squares-Am Aids to Thermal Property Determination, " AIAA J., vol.11, No.5, 1973, pp.670-674.
47. M. C. Flemings, E. Niiyama and H. F. Taylor, " Fluidity of Aluminum Alloys, " AFS Trans., vol.69, 1961, pp.625-635.
48. E. N. Pan and J. F. Hu, " Fluidity of Al-Si(Cu) Alloy as Affected by Alloy Solidification Mode " , AFS Tran., vol.106, 1998, pp.609-617.
49. 胡瑞峰, 86年, " 鋁-矽(鎂)系合金及鋁-矽-銅系合金流動性之研究, " 國立台灣大學機械工程學研究所博士論文
50. W. Zhou and Z. M. Xu, " Casting of SiC Reinforced Metal Matrix Composites " , Journal of Materials Processing Technology, 63, 1997, pp.358-363.