

鑄造A356鋁合金汽車連桿之方案模擬

李仁智、胡瑞峰 謝其源

E-mail: 9314778@mail.dyu.edu.tw

摘要

本研究目的係針對CO2模鑄造A356鋁合金汽車連桿實例，探討其最佳化鑄造方案設計。使用電腦輔助模擬分析軟體AFSolid 3D設計澆冒口和冷鐵系統，並進一步與實際鑄件驗證，以評估CAE對實際鑄件之利用性及可靠性。研究方法是AFSolid 3D的SOLIDCast、FLOWCast和OPITCast模組探討鑄造汽車連桿的凝固過程、流動充填過程和最佳化過程，並模擬與分析非壓力式(non-pressurized)和壓力式 (pressurized)澆流道系統之鑄造方案設計，以獲得最佳化鑄造結果，進而提升CO2模鑄造汽車連桿之品質。研究結果顯示，以AFSolid 3D軟體中的材料密度(material density function; MDF)函數、FCC準則、Niyama準則或凝固時間等預測鑄件的縮孔，可獲得與實際鑄件所產生的缺陷之驗證。而對於非壓力式澆冒口和冷鐵系統之模擬，發現冷鐵可有效促進方向性凝固，以減少缺陷之產生，而頂冒口比側冒口之補充收縮效果好，在連桿小端加上冒口和冷鐵之設計方式，可有效的解決縮孔之產生。此外，在最佳化模擬後，發現連桿小端加上頂冒口和冷鐵的成品率比加上側冒口和冷鐵之鑄件高，但兩者都能提高經濟性，並且縮短開發時程和降低製成及成本，因此，上述可成為汽車連桿鑄造時最佳方案設計。反之，對於壓力式澆流道系統之冒口和冷鐵的模擬結果，冷鐵無法有效的促進汽車連桿之方向性凝固，而產生漸進式凝固，使得縮孔仍發生於鑄件內部。其頂冒口與側冒口仍無法有效補充凝固收縮。此外，連桿小端加上冒口和冷鐵之設計，在最佳化模擬後，可有效的解決縮孔的產生，但是降低了成品率和提高成本。以實際鑄件驗證非壓力式和壓力式澆流道系統及其冒口和冷鐵之設計，發現鑄件產生縮孔的區域與模擬之結果大致相符，此證實以電腦輔助模擬分析實際的汽車連桿鑄件之可靠性和準確性。

關鍵詞：A356鋁合金，電腦輔助工程分析，非壓力式，壓力式

目錄

| | | | |
|----------------------------------|----------|----------------------------|----------|
| 封面內頁 中文摘要..... | ii | 英文摘要..... | ii |
|iv 誌謝..... | iv |vi 目錄..... | vi |
|vii 圖目錄..... | vii |x 表目錄..... | x |
|xiv 符號說明..... | xiv |xvi 第一章 | xvi |
| 前言..... | 1 | 第二章 文獻探討..... | 1 |
|3.2.1 鑄造用之電腦模擬..... | 3.2.1 | 3.2.1.1 電腦模擬分析技術..... | 3.2.1.1 |
|4.2.1.2 有限差分法/有限元素法..... | 4.2.1.2 | 4.2.2 汽車連桿之製造..... | 4.2.2 |
|5.2.3 鑄造用鋁合金..... | 5.2.3 | 7.2.3.1 A356鋁合金..... | 7.2.3.1 |
|7.2.3.2 A356鋁合金之凝固模式..... | 7.2.3.2 | 7.2.3.3 孔洞與製程參數的關係..... | 7.2.3.3 |
|8.2.4 鑄造方案設計..... | 8.2.4 | 9.2.4.1 澆流道系統..... | 9.2.4.1 |
|9.2.4.2 澆口盆和豎澆道..... | 9.2.4.2 | 10.2.4.3 橫流 | 10.2.4.3 |
| 道及進模口..... | 11 | 2.4.4 冒口..... | 11 |
| 2.4.5 冷鐵效應..... | 12 | 2.5 CO2砂模法..... | 12 |
|13.2.6 AFSolid 3D模擬軟體..... | 13.2.6 | 14 第三章 實驗方法及步驟..... | 14 |
|25.3.1 實驗目的及流程..... | 25.3.1 | 25.3.2 合金材料..... | 25.3.2 |
|25.3.3 電腦輔助設計..... | 25.3.3 | 25.3.4 電腦輔助模擬分析 | 25.3.4 |
|26.3.5 SOLIDCast模擬凝固分析..... | 26.3.5 | 26.3.5.1 建立 | 26.3.5.1 |
| 模型..... | 26.3.5.2 | 26.3.5.2 熱物性質與製程參數之選擇..... | 26.3.5.2 |
| 3.5.3 網格劃分模組..... | 27 | 27.3.5.4 模擬結果之縮孔與缺陷分析..... | 27.3.5.4 |
|28.3.5.5 鑄造方案的設計..... | 28.3.5.5 | 29.3.6 FLOWCast流動模擬..... | 29.3.6 |
|29.3.7 OPTICast最佳化模擬..... | 29.3.7 | 30.3.8 澆鑄設備及裝置..... | 30.3.8 |
|30 第四章 結果與討論..... | 30 | 42.4.1 未設澆冒口系統鑄 | 42.4.1 |
| 件之凝固模擬..... | 42.4.2 | 設有澆流道系統之凝固模擬..... | 42.4.2 |
| 42.4.2.1 非壓力 | 42.4.2.1 | 式的澆流道系統之凝固模擬..... | 42.4.2.1 |
| 43.4.2.2 壓力 | 43.4.2.2 | 式澆流道系統之凝固模擬..... | 43.4.2.2 |
| 44.4.3 非 | 44.4.3 | 壓力式的澆流道系統之冒口凝固模擬..... | 44.4.3 |
| 45.4.3.1 側 | 45.4.3.1 | 冒口設計之模擬..... | 45.4.3.1 |
| 45.4.3.2 頂 | 45.4.3.2 | 冒口設計之模擬..... | 45.4.3.2 |
| 46.4.4 壓力 | 46.4.4 | 式的澆流道系統之冒口凝固模擬..... | 46.4.4 |

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
|47 4.4.1 側冒口設計之模擬..... | 47 4.4.2 頂冒口設計之模擬..... |
|48 4.5 冷鐵設計之凝固模擬..... | 49 4.5.1 設有冷鐵之非壓力式澆流道系統..... |
| 49 4.5.2 設有冷鐵之壓力式澆流道系統..... | 50 4.6 鑄件之流動模擬..... |
|51 4.6.1 非壓力式與壓力式的澆流道系統之比較..... | 51 4.6.2 非壓力式的澆流道系統冒口設計的流動模擬..... |
|52 4.6.3 壓力式澆流道系統之冒口設計的流動模擬..... | 53 4.7 鑄造方案之最佳化設計..... |
|53 4.7.1 非壓力式澆流道系統之最佳化冒口設計..... | 54 4.7.2 壓力式澆流道系統之最佳化冒口設計..... |
|54 4.7.2 壓力式澆流道系統之最佳化冒口設計..... | 54 第五章 結論..... |
|95 參考文獻..... | 97 |

參考文獻

- [1] ZHANG Weishan, XIONG Shoumei and LIU Baicheng, "Study on a CAD/CAE System of Die Casting", Journal of Materials Processing Technology 63, 1997, pp.707-711 [2] Shuhua Yue, Guoxiang Wang, Fei Yin, Yixin Wang and Jiaanbo Yang, "Application of an Integrated CAD/CAE/CAM System for Die Casting Die", Journal of Materials Processing Technology 139, 2003, pp.456-468 [3] J?rg C. Sturm, Preben N. Hansen G?tz Hartmann and Achim Egner.Walter, "Optimized Development for Castings and Casting Processes", World Foundry Congress 2002 [4] Q. X. Pei, T. S. Bai and P. C. Liu, "Riserless Design of Ductile Iron Casting by Computer Program", AFS Transaction, Vol.132, 1987, pp.443-450 [5] T. C. Tszeng, Y. T. Im and S. Kobaydhi, "Thermal Analysis of Solidification by the Temperature Recovery Method", Int. J. Mach. Tools Manu fact, Vol.29, No1, 1989, pp.107-120, Printed in Great Britain [6] Z. A. Xu and F. Mampaey, "Experimental and Simulation Study on Mold Filling Coupled with Heat Transfer", AFS Transaction, Vol.43, 1994, pp.181-190 [7] James G. Conley, Julie Huang, Jo Asada and Kenji Akiba, "Moldering the Effects of Cooling Rate, Hydrogen Content, Grain Refiner and Modifier on Microporosity Forma- tion in Al A356 Alloys ", Material Science and Engineering A285, 2000, pp.49-55 [8] C. W. Hirt and B. D. Nichols, "Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries", Journal of computational physics 39, 1981, pp.201-225 [9] Jer-Huar Kuo and Weng-Sing Hwang, "Development of an Interactive Simulation System for Die Cavity Filling and its Application to the Operation of a Low-Pressure Casting Process", Modeling Simul. Mater. Sci. Eng. 8, 2000, pp.583-602 [10] J. H. Kuo, Y. F. Chiu, T. S. Wange, M. C. Kuo and W. S. Hwange, "Development of Integrated Computer Simulation System for Casting Design", AFS Transaction, Vol.81, 1999, pp.793-802 [11] Kalpakjian, "Manufacturing Engineering and Technology", Addison-Wesley publishing company, 1995, pp.381-515 [12] 胡瑞峰, "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研究所 碩士論文, 民國86年 [13] 余聲均, "微量元素添加對A356鋁合金機械性質之影響", 國立中央大學機械工程研究所碩士 論文, 民國85年 [14] 樊翔雲, "凝固冷卻條件對A356鋁合金之顯微組織與機械性質之影響", 國立台灣大學材料工 程學研究所 碩士論文, 民國78年 [15] "Aluminum A356", Alloy Digest, Filling Code:Al-258 Aluminum Alloy [16] E. N. Pan, C. S. Lin and C. R. Loper, "Effects of Solidification Parameters on the Feeding Efficiency of A356 Aluminum Alloy", AFS Transaction, Vol.98, 1990, pp.735-746 [17] T. S. Piwonka and M. C. Flemings, "Pore Formation in Solidification", AFS Transaction, Vol.236, 1966, pp.65-1157 [18] Q. T. Fang and D. A. Granger, "Porosity Formation in Modified and Unmodified A356 Alloy Castings", AFS Transaction, Vol.97, 1989, p 989 [19] G. K. Sigworth and C. Wang, "Mechanisms of Porosity Formation during Solidification: A Theoretical Analysis", Metal. Trans. B, Vol.24, 1993, p 349 [20] C. Jordan, J. L. Hill and T. S. Piwonka, "Compute Designed Gating System:Promises and Problems", AFS Transaction, Vol.96, 1988, pp.603-610 [21] 林振泰, 鑄鐵件澆冒口設計, 中華民國鑄造學會, 民國六十一年三月, pp.120-183 [22] X. Xue, S. F. Hansen and P. N. Hansen, "Water Analog Studs of Effects of Gating Design on Inclusion Separation and Mold Filling Control", AFS Transaction, Vol.69, 1993, pp.199-209 [23] J. Runyoro, S. M. A. Boutorabi and J. Compbell, "Critical Gate Velocities for Film-Forming Casting Alloys:A Basis for Process Specification", AFS Transaction, Vol.37, 1992, pp.225-234 [24] F. J. Bradley, J. A. Hoops, S. Kannan, J. V. Balakrishan and S. Heinemann, "A Hydraulics-Based Mold of Fluid Flow in Horizontal Gating Systems", AFS Transaction, Vol.100, 1992, pp.917-923 [25] N. Wukovich and G. Metevelis, " Gating: The Foundryman's Dilemma, or Fifty Years of Data and Still Asking "How?" ", AFS Transaction, Vol.97, 1989, pp.285-302 [26] K. Grube and L. W. Eastwood, "A Study of The Principles of Gating", AFS Transactions, Vol.58, 1950, pp.76-107 [27] J. F. Wallace and M. C. Fleming:Solidification Processing, McGraw-Hill, New York, 1966, p. 12 and pp.54-146 [28] J. B. Caine, "Riser Casting", AFS Transactions, Vol.57, 1964, p 66 [29] E. T. Myskowski, H. F. Bishop and W. S. Pellini:Am. Foundrymen's Soc. Trans. Vol.61, 1953, pp.302-308 [30] 姚慶榮譯述, "鑄造方案", 鑄工72期, 民國81年三月, pp.45-60 [31] Finite solution ; SOLIDCast 2002 Training Course Workbook, Finite solution, 2002 [32] Finite solution ; FLOWCast 2002 Training Course Workbook, Finite solution, 2002 [33] Finite solution ; OPTICast 2002 Training Course Workbook, Finite solution, 2002 [34] 林惠娟、黃振東和鄭憲清, "鑄造程式之電腦模擬-ProCAST應用實例介紹", 鑄工77期, 民國85年 二月, pp.20-48 [35] Len Estrin, "A Deeper Look at Casting Solidification Software", Modern Casting, Vol. 114, 1994, pp.20-23 [36] 謝世俊, 鑄件的澆口系統與冒口(下冊), 兵工參考資料, 民國五十九年, pp.353-356 [37] K. Grube and L. W. Eastwood, "A Study of the Principles of Gating", AFS Transaction, Vol.58, 1950, p 76 [38] M. C. Flemings and H. F. Taylor, "Gating Aluminum Casting ", AFS Transaction, Vol.88, 1960, p 72