

# 製程參數對大氣壓凝固之A356鋁合金消失模型鑄件機械性質的影響

王聖友、胡瑞峰

E-mail: 364870@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本研究係探討消失模鑄造法製程參數澆注溫度、塗層厚度以及鑄件厚度等對A356鋁合金鑄件機械性質之影響，以獲得較佳的A356鋁合金消失模鑄造製程條件。並提供合作廠商較佳的製程改善建議，此外亦探討製程參數對1大氣壓下凝固的鑄件孔洞率之影響，及觀察鑄件顯微組織與其機械性質相關性。同時也比較A356鋁合金鑄件經T6熱處理後與其鑄態機械性質之差異。本研究亦利用動態萬能試驗機、洛氏硬度計、光學顯微鏡(OM)、掃描式電子顯微鏡(SEM)以及能量散佈光譜儀(EDS)分析與比較各製程參數條件對1大氣壓凝固的A356鋁合金鑄件機械性質之影響。研究結果指出，澆注溫度720 °C之鋁合金試棒鑄件的機械性質皆優於澆注溫度700 °C及740 °C鑄件且經T6熱處理後之A356鋁合金抗拉試棒的鑄件強度、延性、硬度及韌性皆提升，而模型塗層厚度0.3 mm澆注下之鋁合金鑄件的機械性質優於模型塗層厚度0.6 mm澆注下之鑄件。此外，階梯型板狀鑄件之機械性質會隨截面厚度之增加而降低，其中以厚度5 mm之薄鑄件的機械性質為最佳，而以厚度25 mm之厚鑄件的機械性質為最差，另階梯型板狀鑄件經T6熱處理後，強度、延性、硬度及韌性皆隨著截面厚度之增加而降低。對於1大氣壓下凝固的A356鋁合金鑄件孔洞率而言，720 °C澆注溫度之鑄件孔洞率會低於700 °C及740 °C澆注溫度之鑄件，且三種澆注溫度的鑄件孔洞率均小於2%，而0.3 mm塗層厚度之鑄件孔洞率為4.28%則0.6 mm塗層厚度鑄件之孔洞率為1.03%高出3.25%，而鑄件孔洞率不會因經T6熱處理後而提升或下降，因此T6熱處理對鑄件孔洞率無影響。利用OM觀察，發現720 °C澆注溫度鑄件之孔洞會較700 °C澆注溫度者少。此外，0.6 mm塗層厚度之鑄件會產生大量的共晶堆積現象，因此導致鑄件的機械性質下降。利用SEM觀察發現700 °C及720 °C澆注溫度之試棒鑄件的破斷面上皆有微縮孔、圓氣孔及較大孔洞產生，經由EDS分析後發現兩者皆含有矽(Si)和氧(O)，研判為鋁液流動充模過程中包捲矽砂所致。另EDS分析亦發現破斷面上含有碳(C)，為燒失模型的熱分解產物之炭渣。

關鍵詞：消失模鑄造、A356鋁合金、機械性質、孔洞率、T6熱處理

## 目錄

封面內頁 簽名頁 中文摘要.....	iii	ABSTRACT.....	v	誌謝.....	vii
目錄.....	viii	圖目錄.....	xii	表目錄.....	xx
符號表.....	xxi	第一章 前言.....	1	第二章 文獻探討.....	2
2.1 A356鋁合金.....	2	2.2 模型製作.....	2	2.2.1 模型材料.....	2
2.2.2 保利龍成型作業.....	3	2.2.3 模型組樹.....	4	2.2.4 澆流道系統設計.....	5
2.3 模型塗層.....	6	2.3.1 塗層目的.....	6	2.3.2 塗層主要成分.....	7
2.3.3 塗層披覆方法.....	7	2.3.4 塗層乾燥方法.....	8	2.4 模型塗層.....	8
2.4.1 震砂目的.....	9	2.4.2 震砂注意事項.....	9	2.4.3 模砂選用原則.....	9
2.5 澆注與抽氣.....	10	2.5.1 澆注溫度.....	10	2.5.2 抽氣影響.....	11
2.6 保利龍模型熱分解.....	12	2.6.1 模型熱分解產物.....	12	2.7 鋁合金的析出硬化熱處理.....	13
2.7.1 固溶處理.....	14	2.7.2 淬火.....	14	2.7.3 時效處理.....	15
第三章 實驗方法及步驟.....	19	3.1 實驗目的.....	19	3.2 模型與造模.....	19
3.2.1 模型設計.....	19	3.2.2 塗層.....	20	3.2.3 震砂造模.....	21
3.3 熔煉與抽氣處理.....	21	3.4 熱處理.....	22	3.5 密度與孔洞率量測.....	23
3.5.1 鑄件密度.....	23	3.5.2 鑄件孔洞率.....	24	3.6 機械性質量測.....	24
3.6.1 拉伸試驗.....	24	3.6.2 硬度測試.....	25	3.6.3 衝擊試驗.....	25
3.7 金相顯微組織觀察.....	27	第四章 結果與討論.....	39	4.1 澆注溫度對鑄件機械性質的影響.....	39
4.1.1 澆注溫度對UTS、YS、 $\sigma_b$ 的影響.....	39	4.1.2 澆注溫度對硬度的影響.....	40	4.1.3 澆注溫度對衝擊韌性的影響.....	41
4.2 塗層厚度對鑄件機械性質的影響.....	42	4.2.1 塗層厚度對UTS、YS、 $\sigma_b$ 的影響.....	42	4.2.2 塗層厚度對硬度的影響.....	42
4.2.3 塗層厚度對衝擊韌性的影響.....	43	4.3 鑄件厚度對鑄件機械性質的影響.....	44	4.3.1 鑄件厚度對UTS、YS、 $\sigma_b$ 的影響.....	44
4.3.2 鑄件厚度對硬度的影響.....	45	4.3.3 鑄件厚度對衝擊韌性的影響.....	45	4.4 製程參數對鑄件孔洞率的影響.....	45
4.4.1 澆注溫度對孔洞率的影響.....	46	4.4.2 塗層厚度對孔洞率的影響.....	46	4.4.3 鑄件厚度對孔洞率的影響.....	47
4.5 金相顯微組織觀察.....	48	4.5.1 光學顯微鏡觀察.....	48	4.5.2 掃描式電子顯微鏡觀察.....	51
第五章 結論.....	96	參考文獻.....	99		

參考文獻

- [1] J. R. Davis, "Aluminum and Aluminum Alloys," ASM Specialty Handbook, Ohio, ASM, 1994.
- [2] 楊榮顯編著, "工程材料學", 全華科技圖書公司, 民國94年。
- [3] J. E. Gruzleski and B. M. Closset, "The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys," AFS, pp. 25-228, 1980.
- [4] 謝志浩, "A356鋁合金消失模鑄件之顯微組織分析", 國立臺灣大學機械工程學研究所, 民國87年。
- [5] 胡瑞峰, "藉由高壓凝固方式改善 A356 鋁合金消失模型鑄造車用鑄件的機械性質技術之開發", 應用型產學合作計畫結案報告, 民國99年。
- [6] 邱曜嘉, "消失模型A356鋁合金剎車泵外殼之研製", 國立臺灣大學機械工程學研究所, 民國88年。
- [7] R. Harsley, "Tooling Requirements for the Evaporative Pattern Casting Process," AFS Trans, vol. 96, pp. 787-792, 1988.
- [8] D. P. Kanicki, "New Technologies Shaping Foundries of the Future," Modern Casting, pp. 29-32, 1985.
- [9] "Expandable Polystyrene (EPS) for Shape Molding Process," Styrologic Sales Literature, 1987.
- [10] C. Coria, G. Del Gaudio, G. Gaironi, G. Silva, "Molding of Iron Casting with Evaporative Polystyrene Foam Patterns," Casting World, pp.41-51, 1986.
- [11] R. W. Monroe, "Expandable Pattern Casting," AFS Trans., vol. 101, pp. 11-70, 1993.
- [12] R. Immel, "Expandable Polystyrene and Its Processing into Patterns for the Evaporative Casting Process," AFS Trans., vol. 87, pp. 545-550, 1979.
- [13] S. Weiner and C. Piercchi, "Dimensional Behavior of Polystyrene Foam Shapes," AFS Trans, vol. 93, pp. 155-162, 1985.
- [14] L. Wang, S. Shivkumar, D. Apelian, "Effect of Polymer Degradation on the Quality of Lost Foam Casting," AFS Trans., vol.98, pp. 923-933, 1990.
- [15] H. L. Tsai and T. S. Chen, "Modeling of Evaporative Pattern Process, Part I: Metal Flow and Heat Transfer During the Filling Stage," AFS Trans., vol. 96, pp. 881-890, 1988.
- [16] A. Clegg, "The Full-Mold Process-A Review, Part II: Production of Castings," Foundry Trade Journal, pp. 383-398, 1978.
- [17] H. Lee, "Forming Conditions of Grey Iron Casting in the Full Mold Process with Unbonded Sand Molds," AFS Trans., vol.68, pp.559-570, 1976.
- [18] H. Lee, "Gating of Full Mold Castings With Unbonded Sand Molds," AFS International Cast Metal Journal, pp. 112-116, 1973.
- [19] L. Wang, S. Shivkumar, D. Apelian, "Effect of Polymer Degradation on the Quality of Lost Foam Casting," AFS Trans, vol. 98, pp. 923-933, 1990.
- [20] 施登士、張安欣, "消失模型鑄造法塗層透氣性之研究", 中華民國鑄造學會論文發表會, 民國86年。
- [21] 廖高宇, "消失模型鑄造法之模型熱分解現象及A356鋁合金流動充模特性之研究", 國立臺灣大學機械工程學研究所博士論文, 民國87年。
- [22] B. Matz, D. C. Kearney, "Microwave Drying of Refractory Coated Foam Patterns for the Evaporative Casting Process," AFS Trans., vol.95, pp. 417-422, 1987.
- [23] 黃道欣, "影響A356鋁合金照明上蓋消失模鑄件機械性質的研究", 大葉大學機械與自動化工程學系碩士班, 民國100年。
- [24] R. Rodgers, "Robinson Foundry Automates Lost Foam," Foundry M&T, p. 30 Mar., 1988.
- [25] R. Bailey, "Understanding the Evaporative Foam Casting Process (EPC)," Modern Casting, pp. 58-61, April 1982.
- [26] D. Hoyt, "Sand Technology for the Evaporative Foam Casting Process," Proceedings of AFS Conference on Evaporative Foam Casting Technology I, Jun 1986.
- [27] J. R. Brown, "The Metallurgical Integrity of Lost Foam Casting," Conference of the Institute of British Foundrymen Evaporative Casting for Designer and Castings User, 1988.
- [28] H. Dieter and A. Paoli, "Sand Without Binder Form Making Full Mold Castings," AFS Trans., vol. 75, pp. 147-160, 1967.
- [29] 林良清, "近代造模法", 中華民國鑄造會, pp. 160-131, 民國79年。
- [30] 楊榮顯, 谷中豫, 蕭錫謙, "消失模型鑄造法模型方位設計與澆流系統內熔液流動順多關係之研究," 鑄工季刊, pp. 29-37, 民國83年。
- [31] 楊榮顯, 谷中豫, 蕭錫謙, "澆流系統設計及一些製程參數對於 EPC 鋁合金鑄件充模現象影響之研究" 鑄工季刊, pp. 74- 87, 民國84年。
- [32] S. Katashima, S. Tashima and R. S. Yang, "Fluidity of Molten 5 Aluminum in the Evaporative Pattern Casting Process," AFS Trans., vol. 97, pp. 545-552, 1989.
- [33] Y.A. Stepanov, M.C. Anuchina and V.P. Kirpichnikov, "Casting Formation in the Gas Foam Pattern Process", Russian Castings Production, pp. 431-435, 1967.
- [34] M.R. Barone, D.A. Caulk, 'A Pattern Decomposition Model for Lost Foam Casting of Aluminum: Part I - Contact Mode', AFS Transactions, vol. 116, pp. 837-856, 2006.
- [35] D.A. Caulk, 'A Pattern Decomposition Model for Lost Foam Casting of Aluminum: Part II - Gap Mode', AFS Transactions, vol. 116, pp. 857-873, 2006.
- [36] D.A. Caulk, 'A Pattern Decomposition Model for Lost Foam Casting of Aluminum: Part III - Collapse Mode', AFS Transactions, vol.

117, p. 833, 2007.

[37] D.A. Caulk, ' ' A Pattern Decomposition Model for Lost Foam Casting of Aluminum: Part IV - Engulf Mode ' ', AFS Transactions, vol. 117, p. 845, 2007.

[38] L. Bichler, C. Ravindran, ' ' Effect of Foam Quality and Metallostatic Pressure on the Mode of Filling in A356 LFC, ' ' AFS Trans., vol. 98, pp. 955-956, 2008.

[39] C. Wang, C. W. Ramsay and D. R. Askeland, " Processing Variable Significance on Filling Thin Plates in the LFC Process-The Staggered, Nested Factorial Experiment, " AFS Trans, vol. 102, pp. 921-930, 1994.

[40] L. Wang, Shivku.mar, D. Apelian, " Effect of Polymer Degradation on the Quality of Lost Foam Casting, " AFS Trans., vol. 98, pp. 923-933, 1990.

[41] E. Niemann, " Expandable Polystyrene pattern Material for the Lost Foam Process, " AFS Trans., vol. 96, pp. 793-498, 1988.

[42] F. Sonnenberg, ' ' Recent Innovations with EPS Lost Foam Beads ' ', AFS Transactions, vol. 113, pp. 1213-1229, 2003.

[43] D.R. Hess, " Comparison of Aluminum Alloys and EPS Foams for Use in the Lost Foam Casting Process " , AFS Transactions, vol. 114, pp. 1161-174, 2004.

[44] 呂仲欽, " 製程參數對消失性模鑄法生產石墨鑄鐵之影響 ", 國立台灣大學機械工程研究所碩士論文, 民國79年。

[45] 譚安宏、李勝隆、鄭榮瑞、林於隆, " Al-Si-Mg鑄造合金之熱處理 ", 鑄工季刊第86期, pp. 68-74, 民國84年。

[46] 許益得, " A390鋁基複合材料鑄件機械性質及腐蝕磨耗行為之研究 ", 國立臺灣師範大學工業教育研究所碩士論文, 民國88年。

[47] 黃天佑, 黃乃瑜, 呂志剛, " 消失模鑄造技術 ", 機械工業出版社, pp. 78-84, 民國93年。

[48] 志純實業股份有限公司, " <http://www.cci-silica.com/main.html> " [49] ASTM B557M, " Annual Book of ASTM Standards, " Part 10, p.135, 1989.

[50] ASTM B557M, " Annual Book of ASTM Standards, " Part 10, p.133, 1989.