

利用模流分析評估不同進澆位置對鑄件成形品質的影響
Application of Mold Filling Analysis to Study the Effect of Different Gating
Locations on Casting Quality

莊水旺¹、黃翊寧²

Shueiwan H. Juang^{1*}, Yi-Ning Huang²

先進製造工程研究中心 國立臺灣海洋大學

Engineering Research Center for Advanced Manufacturing Processes

National Taiwan Ocean University

Corresponding author email: shjuang@mail.ntou.edu.tw

摘要

壓鑄製程主要包含熔解合金、注入模具及取出鑄件，而將熔湯注入模具的因素對鑄件品質的影響甚鉅，例如充填速度、流道設計、澆口大小等。本研究旨在利用商業專用軟體進行模流分析，探討不同進澆位置與鑄件成形品質的關係，研究的載具係以 ADC12 鋁合金製成之 U 型特徵鑄件，澆口分別置於 U 型開口緣處及 U 型轉彎處進行模流分析，進而比較兩者的模腔充填模式對鑄件成形品質之影響。模流分析結果顯示，進澆配置在 U 型轉彎處，模腔的氧化物濃度分布較低，表示鑄件的成形品質相對較佳；反觀，進澆配置在 U 型開口緣處，模腔之高濃度氧化物殘留較為嚴重，容易造成鑄件的缺陷，例如冷接、流孔等。另外，將澆口置於 U 型轉彎處，其熔湯充填模腔過程僅經過一次轉彎，能量消耗相對較少，且模腔充填完成時間較短，鑄件出現脫皮缺陷的可能性較低，故將澆口設於 U 型轉彎處為較佳的壓鑄方案選擇。因此，若有類似鑄件特徵，即可將進澆位置設於轉彎處，有助於減少模具修改甚至重製時間，或許模具製作成本微幅上升，但可降低生產成本及缺陷產生之可能性。

關鍵詞：U 型鑄件、進澆位置、模流分析、氧化物濃度

Abstract

The die-casting process is mainly composed of metal melting, cavity injecting and casting ejecting. Injection factors of molten metal injected into the cavity affect the casting quality significantly, such as filling speed, runner design, gate size, and so on. The aim of this paper is to study the influence of different gating locations on the casting quality by use of the commercial package with mold filling analysis. The casting made of ADC12 with U-shaped geometric features is used to run the comparison of the effect of filling patterns on casting quality with different gate locations at the opening edge and turning edge of U-shaped, respectively. The results apparently revealed that the case with gate located at the turning edge has less oxide concentration leading better casting quality. In contrast, the case where the gate is located at the opening edge has a higher oxide concentration, in which the defect is liable to residue inside the casting, such as cold shut, flow porosity, and so on. In addition, as the gate is located at the turning edge of the U-shaped casting, the energy consumption is relatively low since the melt fills the cavity through only one turn. This leads a short cavity filling time and the possibility of lamination defects is still low. Thus, the gate located at the turning edge is a better gating design for U-shaped castings. Therefore, if there is a similar casting feature, the gating location can be located at the turning edge, which helps to reduce the mold modification and even the remaking time. Perhaps the mold manufacturing cost rises slightly, but the production cost and the possibility of defects are reduced.

Keywords: U-shaped castings, gating locations, mold filling analysis, oxide concentration

壹、前言

隨著科技日益發達，產品的形狀更加複雜，且鑄件品質要求不斷提升，而部分鑄造企業仍採用傳統試誤法進行鑄件生產，依賴直覺經驗，通過反覆進行現場試模、修模確定最終鑄造方案，消耗大量的生產成本及時間。而透過專業模流分析軟體可模擬壓鑄製程，對壓鑄製程中的流場及溫度場等進行分析，並針對分析結果之流動情形及溫度分布等相關重要物理參數，以此為依據，判斷該壓鑄方案是否有流孔、氣孔、熱裂紋等缺陷出現，並加以調整壓鑄方案，以提高鑄件品質，縮短試製週期，降低生產成本。

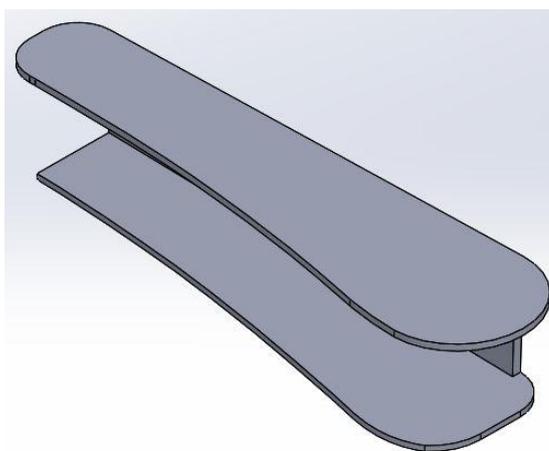
影響壓鑄品的品質及生產性的因素非常複雜，其中以壓鑄方案為最主要原因。壓鑄方案大致包含模具的分模面、射口、流道、澆口、溢流井、排氣道等配置及形狀設計，根據壓鑄品形狀特徵的不同，設計出熔湯流動與鑄件幾何形狀匹配的壓鑄方案。若沒有完善的壓鑄方案，製程中即會使壓鑄品產生缺陷，品質會大幅降低，產品良品率大幅下降影響生產效率。而壓鑄缺陷可分為外缺陷及內缺陷兩種，外缺陷顧名思義即是可經由肉眼看出之表面缺陷，內缺陷為肉眼無法辨識出之缺陷，需依靠檢測儀器或對產品進行剖面以辨別缺陷產生與否，倘若有缺陷將影響鑄件強度及機械性質，因此為壓鑄業者所需克服的難題之一。

改善壓鑄品質及模具壽命，除了適當的澆流道系統，亦可透過控制模具溫度系統設置[1]及增設真空製程，以取得更佳的鑄件品質。但控制模具溫度非本次研究目標，故不納入考量。另外，根據JJ Schirra[2]等人研究可知，利用真空製程亦可降低孔隙率及缺陷發生，甚至影響機械性能和微觀結構，但若壓鑄業者無真空設備，或不希望使用額外設備增加成本情況下，排除真空狀態下之壓鑄製程，進行本次研究。

Michail[3]等人研究提到，進料設計對凝固收縮之有效補縮至關重要，進料高度和直徑之最佳參數組合，可降低孔隙率且可提高壓鑄良品率。利用商業專用軟體進行模流分析，確定鑄件中的缺陷位置，並與現場實際壓鑄成品進行驗證，模擬結果與實際成品非常吻合，因此使用模流軟體對壓鑄製程進行模擬分析，協助模具設計者設計適宜的澆流道系統實有其必要性。

貳、實驗參數

圖(1)表示本研究使用之C型特徵鑄件，係以ADC12鋁合金製成，其化學成分及材料特性分別為表1及表2所示。



圖(1)本文使用之C型特徵鑄件

表1 鋁合金ADC12的化學成分[4]

合金元素	Al	Cu	Fe	Mg	Mn
wt%	77.3~86.5%	3.0~4.5%	≤1.3%	≤0.1%	≤0.5%
合金元素	Ni	Si	Sn	Zn	Other
wt%	≤0.5%	10.5~12%	≤0.35%	≤3.0%	≤0.5%

表2 鋁合金材料ADC12之物理與機械性質[4]

固態密度(g/cm ³)	2.823
熱容量(J/g-K)	0.963
熱傳導率(W/m-K)	92
熔點(°C)	515~582
抗拉極限(MPa)	331
屈服強度(MPa)	165
伸長率(%)	2.5

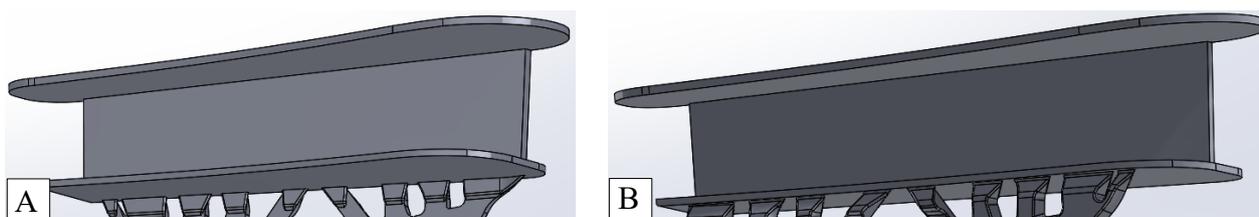
參、實驗方法

在壓鑄製程中，流道系統設計將決定壓鑄件成品缺陷多寡及不良率。以基本熔湯流動理論為主，經驗法則作為設計原則為輔，設計出該壓鑄品合適之流道系統設計[5]。利用商業專用軟體進行模流分析，針對分析結果做流道必要之修正，得到最佳之流道設計方案。

一、壓鑄方案設計

在模具設計過程中，首先須針對成品素材3D模型決定分模面、公母模側，評估壓鑄機各項參數，主要分為鑄造壓力、柱塞速度及特性(冷室或熱室)，並取得鑄件基本參數，包含素材體積、最大投影面積、材質甚至強調特徵位置，以作為模具方案設計基準。

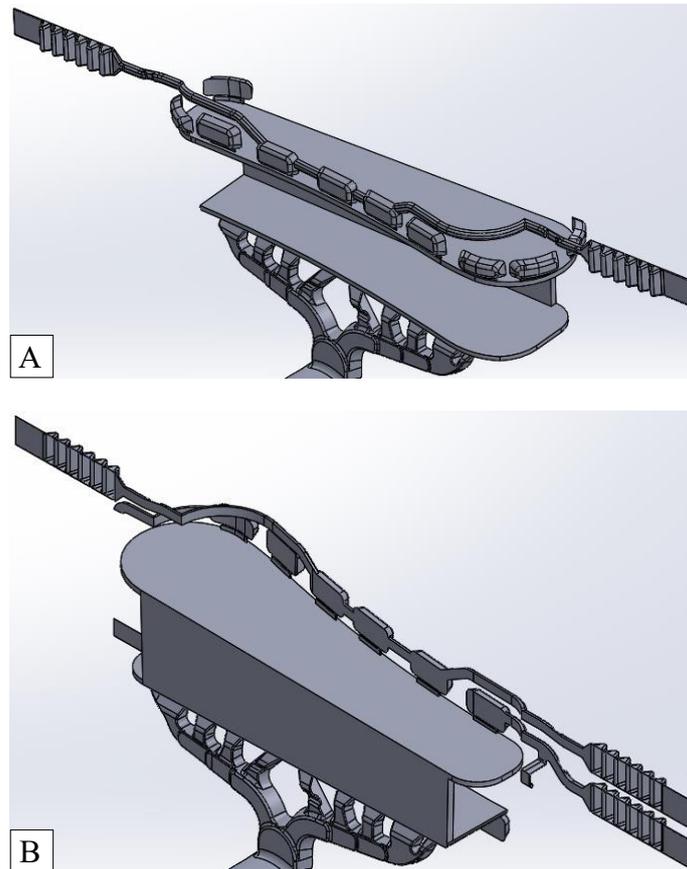
根據壓鑄機參數及PQ²圖決定澆口面積，並計算射口面積，依素材幾何形狀採用扇形給料方式，即可繪製流道系統。本次研究主要探討不同進澆位置對鑄件品質的影響，故分別選擇C型鑄件開口緣處及轉彎處為進澆位置，如圖(2)所示。特別注意的是，須避免澆口位置設於轉彎緣處，因其會造成鑄件成品外觀不佳。



圖(2) 本次鑄件進澆位置示意圖，(a)設於鑄件轉彎處；(b)設於鑄件開口緣處。

二、模流分析

壓鑄製程為將熔融金屬倒入料管中，柱塞推動料管內熔湯至模具內，熔湯完全充填模腔，待熔湯冷卻凝固後，模具開啟並頂出鑄件。而商業專用軟體即是模擬柱塞推動熔湯，至熔湯充填模腔後，待熔湯凝固之過程。本次研究係以ADC12製成之鑄件，因進澆位置不同，溢流井設計也有所差異，因此雖為相同素材但整體模腔體積卻有所差異，設定參數亦不相同，以F、B方案分別代表進澆位置設於C型鑄件開口緣處及轉彎處，圖(3)表示模擬用載具，相關設定參數列於表3所示。



圖(3) 本文模擬用載具3D圖，(a) F方案；(b) B方案

表3 模擬設定參數

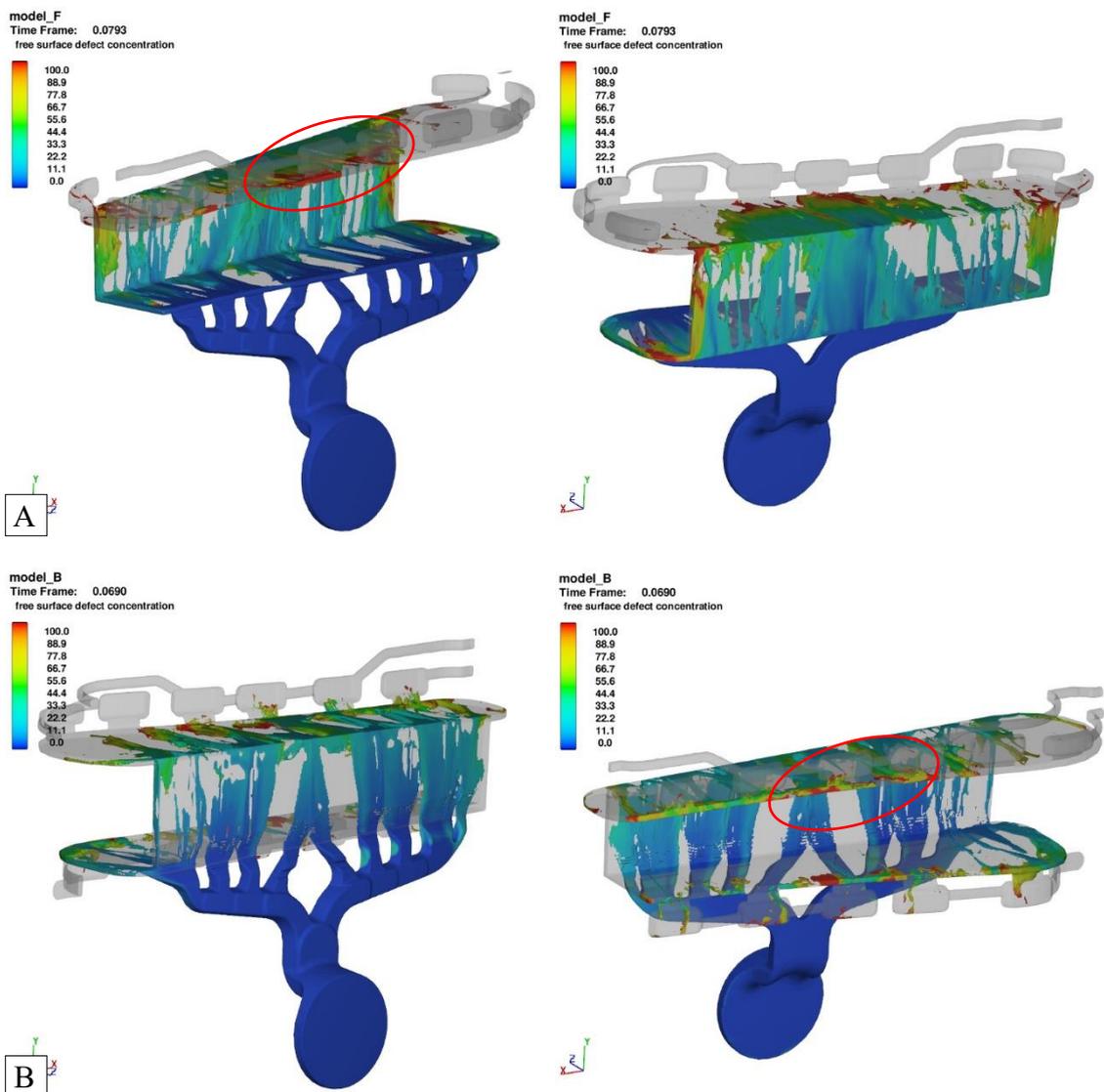
模擬參數	F方案	B方案
鑄件材料	ADC12	ADC12
模具材料	Steel H13	Steel H13
模具溫度 (°C)	150	150
熔湯溫度 (°C)	630	630
澆口速度 (m/s)	50	50
柱塞低速速度 (m/s)	0.3	0.3
柱塞高速速度(m/s)	2.752	3.009

肆、實驗結果

本研究之載具為以ADC12鋁合金製成之C型特徵鑄件，澆口分別置於C型開口緣處及C型轉彎處進行模流分析，以下為兩方案之分析結果，F、B方案分別代表進澆位置設於C型鑄件開口緣處及轉彎處。

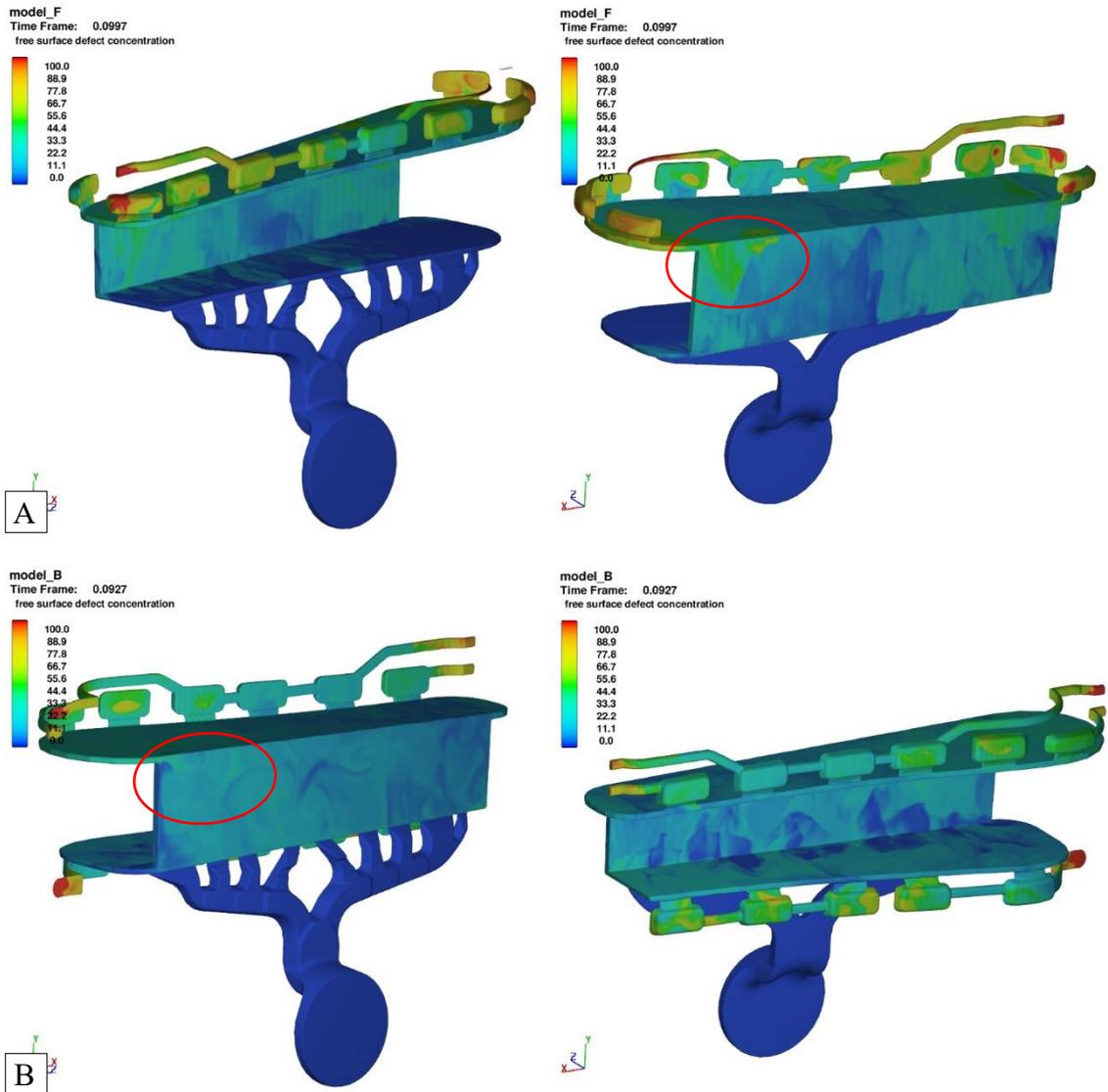
一、氧化物濃度分布

圖(4)為熔湯充填至模腔末端時的氧化物濃度分布，可看出於模腔末端處，進澆位置設於C型鑄件開口緣處之高濃度氧化物較多，如紅色圓圈所示。其可能原因為該方案充填過程需經過兩次轉彎，使壓力降低能量減少，充填時間較長導致產生較多的氧化物。



圖(4) 熔湯充填模腔時的氧化物濃度分布，(a) F 方案 at 0.0793 sec；(b) B 方案 at 0.0690 sec。

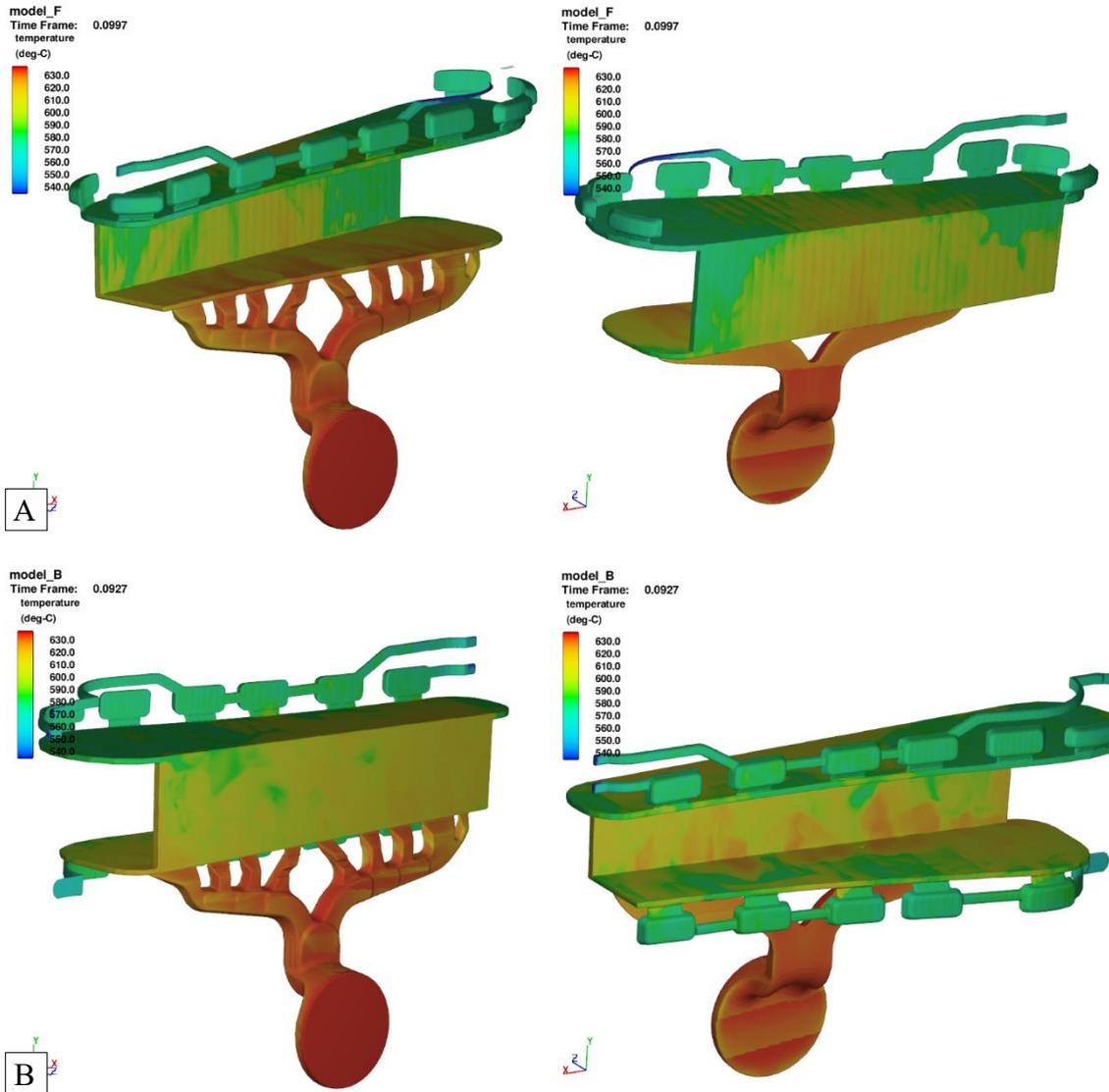
圖(5)為熔湯完成充填模腔時的氧化物濃度分布，可看出在相同位置，進澆位置設於C型鑄件轉彎處之氧化物濃度相對較少，無高濃度氧化物殘留，如紅色圓圈所示。表示其鑄件成形較佳，故將澆口設於C型鑄件轉彎處為較佳的壓鑄方案選擇。



圖(5) 熔湯充填模腔完成時的氧化物濃度分佈，(a) F方案 at 0.0997 sec；(b) B方案 at 0.0927 sec。

二、溫度分布

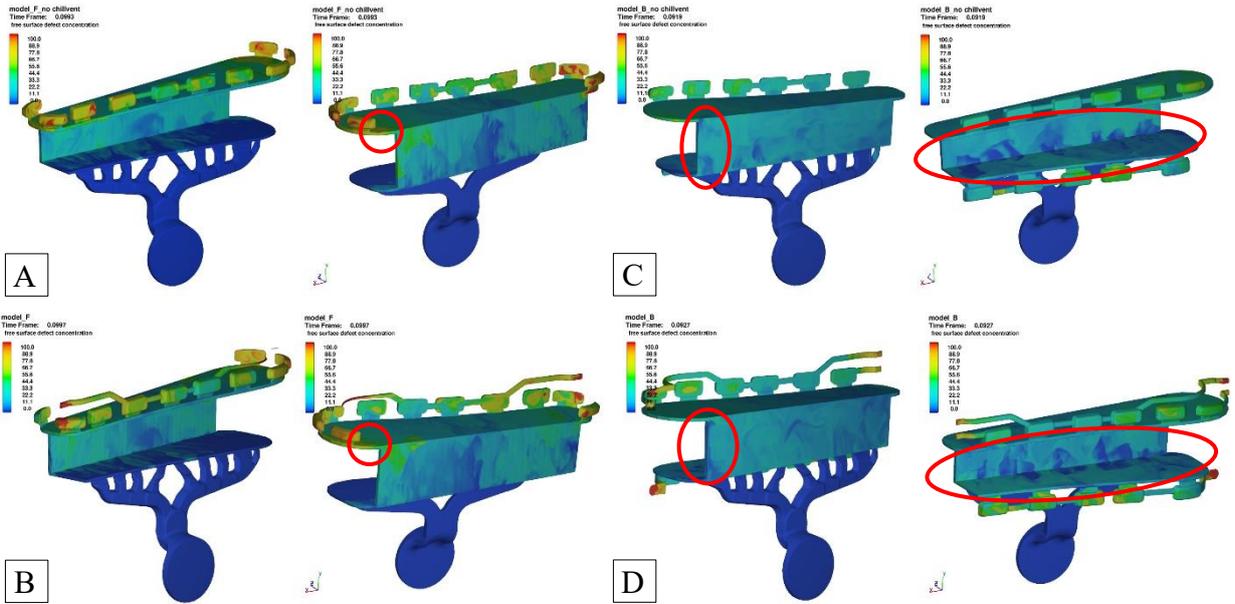
圖(6)為熔湯完成充填模腔時的溫度分布，可看出進澆位置設於C型鑄件開口緣處之鑄件末端溫度較低，反觀設於C型鑄件轉彎處之鑄件溫度分布較均勻，僅少部分有溫度較低的狀況，故進澆位置設於C型鑄件轉彎處之充填方式較佳。



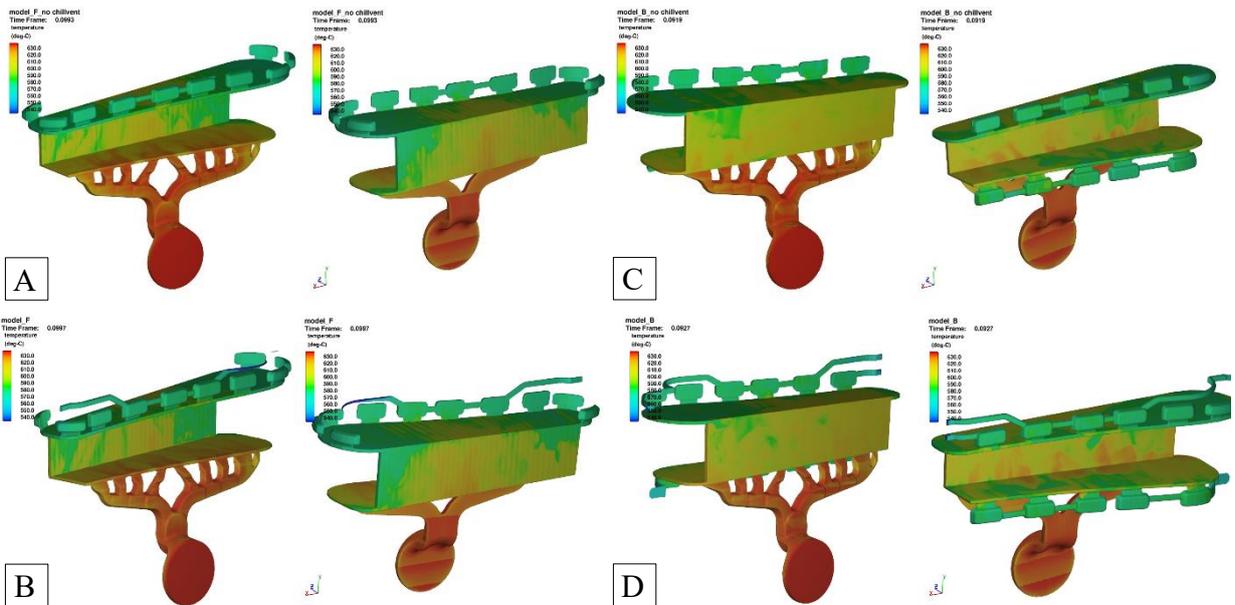
圖(6) 熔湯充填模腔完成時的溫度分佈，(a) F方案 at 0.0997 sec；(b) B方案 at 0.0927 sec。

三、排氣道對進澆口位置之影響

針對相同進澆位置有無排氣道系統的設置，依據氧化物及溫度場分布判斷壓鑄成品是否有缺陷，並進行不同進澆位置的比較。圖(7)為熔湯完成充填模腔時的氧化物濃度分布，可看出F及B方案之有排氣道系統氧化物殘留較少，而B方案切有排氣道系統氧化物殘留最少；圖(8)為熔湯完成充填模腔時的溫度分布，可看出F及B方案有排氣道系統之溫度分布較均勻，但仍有部分溫度較低的狀況，而B方案且有排氣道之溫度分布最為均勻。總結分析結果顯示，B方案澆口設於C型鑄件轉彎處具排氣系統為最佳壓鑄方案選擇。排氣系統可能會影響進澆位置之設置，但根據本次研究結果，排氣系統之有無不影響本次進澆位置之設置。



圖(7)熔湯充填模腔完成時的氧化物濃度分佈，(a) F方案無排氣系統 at 0.0993 sec；(b) F方案有排氣系統 at 0.0997 sec；(c) B方案無排氣系統 at 0.0919 sec；(d) B方案有排氣系統 at 0.0927 sec。



圖(8)熔湯充填模腔完成時的溫度分佈，(a) F方案無排氣系統 at 0.0993 sec；(b) F方案有排氣系統 at 0.0997 sec；(c) B方案無排氣系統 at 0.0919 sec；(d) B方案有排氣系統 at 0.0927 sec。

伍、結論

由上述分析及模擬結果可得到以下結論：

1. 以氧化物濃度分布結果來看，進澆位置設於C型鑄件開口緣處時，其C型鑄件底部氧化物濃度極低，但仍有部分氧化物殘留於鑄件內，而進澆位置設於C型鑄件轉彎處之鑄件整體氧化物濃度較低，無高濃度氧化物殘留，表示其鑄件成形較佳，缺陷較少。
2. 以溫度分布結果來看，不同進澆位置充填模腔對溫度分布有顯著影響，可看出澆口設於鑄件轉彎處，鑄件整體溫度分布較平均，僅部分有溫度偏低的情形。
3. 根據以上氧化物濃度及溫度分布可知，對鑄件成形品質而言，進澆位置設於C型鑄件轉彎處為較佳選擇。
4. 排氣系統可能會影響進澆位置之設置，但根據本次載具之研究結果，排氣系統之有無不影響本次進澆位置之設置，故進澆位置設於C型鑄件轉彎處為較佳選擇。。

陸、誌謝

本次投稿文章使用的模型係使用某公司委託分析之案例予以做幾何之修改，分享不同進澆位置與鑄件成形品質關係之研究，特此向該公司表示誠摯感謝之意。

柒、參考文獻

1. X.P. Hu, J. Zhang, D.W. Lu, W.J. Min, 2012. Studies on the Cooling Effects of Water Cooling Channels in Die Casting Die in Finite Element Method, Scientific Net.
2. J.J. Schirra, C.A. Borg and R.W. Hatala, 2004. Mechanical Property And Microstructural Characterization of Vacuum Die Cast Superalloy Materials, TMS (The Mineral, Metals & Materials Society).
3. M. Papanikolaou, E. Pagone, K. Georgarakis, K. Rogers, M. Jolly and K. Salonitis, 2018. Design Optimisation of the Feeding System of a Novel Counter-Gravity Casting Process, Metals.
4. <http://www.matweb.com>
5. 莊水旺，2013. 智慧型壓鑄模具生產技術，五南圖書出版股份有限公司，台北，台灣。