



## 三片式壓鑄模具流道設計對金屬熔湯充填模式之影響 Influence of Runner Design of Three-piece Die-casting Mold on Filling Mode of Metal Melt

莊水旺<sup>1\*</sup>、簡梓洋<sup>2</sup>

Shueiwan H. Juang<sup>1\*</sup>, Chien-Tzu Yang<sup>2</sup>

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

\*E-mail: shjuang@mail.ntou.edu.tw

### 摘要

壓鑄為一種利用模具對熔融金屬施加高壓，使熔湯以高速充填模腔後，接著冷卻與凝固過程，讓鑄件成形的一種金屬鑄造方法，壓鑄製程主要分為充填、增壓、冷卻、脫模等四個階段，其中，充填階段為最重要的部分之一，充填不良會使模腔內部殘留無法排出的氣體及氧化物，甚至使鑄件產生缺陷（例如：氣孔、脫皮），並嚴重影響後續的製程。

現今三片式壓鑄模具使用的是豎流道與橫流道來進行充填，豎流道與橫流道在銜接處為垂直的轉角，此時的熔湯會因為流動慣性作用，在充填時出現在轉彎處不順暢的問題，使熔湯在流動時集中於橫流道的上半部，當熔湯在進入模腔後無法均勻地充填，並將氧化物包覆於零件中，無法經由溢流槽排出，使零件產生脫皮、冷接紋...等缺陷，在生產製程上會增加多餘的成本。

本研究將設計一種新型的流道，在豎流道的上方增加一個圓餅狀的導流器，引導熔湯以輻射流的模式進行充填，提供熔湯更均勻、更良好的流動模式，從而提高壓鑄件的品質。使用了四種鑄件尺寸與不同的導流器直徑進行熔湯充填流動情形的分析，最終分析結果顯示，相較於傳統流道導流器的設計，每一種設計都可大幅降低了零件內的氧化物濃度，改善幅度最高可達到約 26.3% 至 49.7%，可有效減少殘留於零件內的氧化物，期望藉由本研究成果的推廣，取代傳統的流道設計，有效地獲得缺陷更少及精度更高的產品。

**關鍵詞：**三片式模具、豎流道設計、熔湯輻射流、氧化物缺陷。

### Abstract

Die-casting is a metal casting method that uses a mold to apply high pressure to molten metal, so that the molten soup fills the mold cavity at high speed, and then cools and solidifies to form a metal casting method. The die-casting process is mainly divided into filling, pressurization, cooling, and demoulding. Among them, the filling stage is one of the most important parts. Poor filling will leave gas and oxides that cannot be discharged inside the mold cavity, and even cause defects in the casting (such as: porosity, peeling), and seriously affect the follow-up process. process.

Today's three-piece die-casting molds use vertical runners and horizontal runners for filling. The joints between the vertical runners and the horizontal runners are vertical corners. At this time, the



molten soup will appear in the corner when filling due to the flow inertia. The problem of unsmooth makes the molten soup concentrate on the upper part of the cross channel when it flows. When the molten soup enters the cavity, it cannot be filled evenly, and the oxide is coated in the part, and it cannot be discharged through the overflow tank. , so that the parts have defects such as peeling and cold joints, etc., which will increase unnecessary costs in the production process.

This study will design a new type of flow channel, adding a round cake-shaped deflector above the vertical flow channel to guide the molten soup to fill in a radial flow mode, providing a more uniform and better flow pattern for the molten soup, thereby Improve the quality of die castings. Four casting sizes and different deflector diameters were used to analyze the melt filling flow situation. The final analysis results showed that each design can significantly reduce the internal pressure of the part compared with the traditional runner deflector design. The oxide concentration can be improved up to about 26.3% to 49.7%, which can effectively reduce the oxide remaining in the parts. It is expected that through the promotion of this research result, it can replace the traditional flow channel design and effectively obtain fewer defects and higher precision. higher product.

**Keywords:** three-piece mold, vertical runner, molten soup radiation flow, oxide defect.



## 1. 前言

隨著科技日新月異的進步，各國的工業技術不斷的成長，汽機車、航太等各個產業對產品的品質要求也越來越高，高品質、高強度也一直是製造業界所追求的目標，而壓鑄這項工藝，在金屬熔湯注入至熔湯凝固取出鑄件的過程中，流道的幾何形狀、澆口的尺寸與位置、熔湯時的流動情形、冷卻水路的配道、亦或是生產時的製程參數，每一個部分都會直接影響到鑄件的外觀、機械性質、強度及壽命，壓鑄設計方案不佳將會導致熔湯在充填時產生問題，鑄件會出現裂痕、氣孔等諸多嚴重缺陷。

鑄件在熔湯充填完成後，殘留於內部的氧化物是關係著鑄件品質的重要因素之一，氧化物的濃度過高、氧化物殘留的位置都會對鑄件造成不利的影響，各國學者對此也做了非常多的研究，Wang等人研究了鑄件在充填過程中氧化膜使鑄件內部產生了大量氣孔，對鑄件的孔隙率及疲勞強度造成了嚴重影響[1]。Schneiderbauer研究了澆口的幾何形狀對液態鋁在注射過程中的流動情形與充填特性的影響[2]。Tiryakioglu分析氧化物在鑄件凝固過程中造成了氣孔，並且受到澆口速度強烈的影響[3]。Dai研究不同截面的流道可生產出氧化物濃度更低、機械性能更可靠的鑄件[4]。Wang比較多種壓鑄工藝的氧化物及氣孔缺陷，並對其提出了建議[5]。

在生產尺寸較大且需要中心進澆的鑄件時，一般會使用三片式模具來進行生產，三片式模具因其特殊結構，流道需要設計成垂直的形狀，分為豎流道及橫流道，此種流道設計在充填過程中，熔湯會因流動慣性出現天側及地側充填不均的問題，充填完成後，零件內部會殘留大量的氧化物，並集中於零件的地側，且無法經由溢流槽排出，這將對鑄件造成極為嚴重的影響。

因此，為了解決氧化物殘留過多導致鑄件產生缺陷的問題，本研究旨在設計新型的流道來改變熔湯的流動情形，使熔湯以輻射狀流動的方式充填，讓熔湯內的氧化物可順利進入溢流槽，減少殘留氧化物的濃度，且避免氧化物集中於零件的地側，進而解決三片式模具的流道垂直設計所引發的問題，找出最佳的設計參數，並可適用於各種尺寸大小的鑄件，減少高濃度氧化物帶來的缺陷，提高鑄件的良率。

本論文係利用3D繪圖軟體建模搭配模流分析軟體設計可使熔湯以輻射狀流動的流道，在豎流道上方增加一個圓餅狀的緩衝塊，並與傳統流道進行模腔充填時的模流分析結果比較，觀察金屬熔湯於模腔內的流動情形，以氧化物濃度與分布、熔湯位於澆口處的流速為基準，找出效果最佳、缺陷最少的設計，改善傳統流道的問題，為鑄件提供更好的品質、更高的強度。

## 2. 介紹

### 2.1 傳統流道

本研究在使用三片式模具的現有產品中，參考設計一個鑄件做為研究基礎，柱塞直徑為 80 mm，豎流道與橫流道為垂直連接的設計，零件為圓盤狀，零件的背面有四條肋的特徵，零件體積為  $91 \text{ cm}^3$ ，周圍有八個溢流槽，鑄件體積為  $246 \text{ cm}^3$ ，鑄件材料為 ADC12 鋁合金，如圖 1 與表 1 所示。

鑄件將以 SOLIDWORKS 建立 3D 模型，使用 FLOW-3D 模流分析軟體分析熔湯的充填情形，比較氧化物濃度、充填結束時的氧化物分布以及熔湯位於澆口處的流速，氧化物濃度為相對值，以 1~100 為基準，數字越高則表示氧化物的濃度越高。

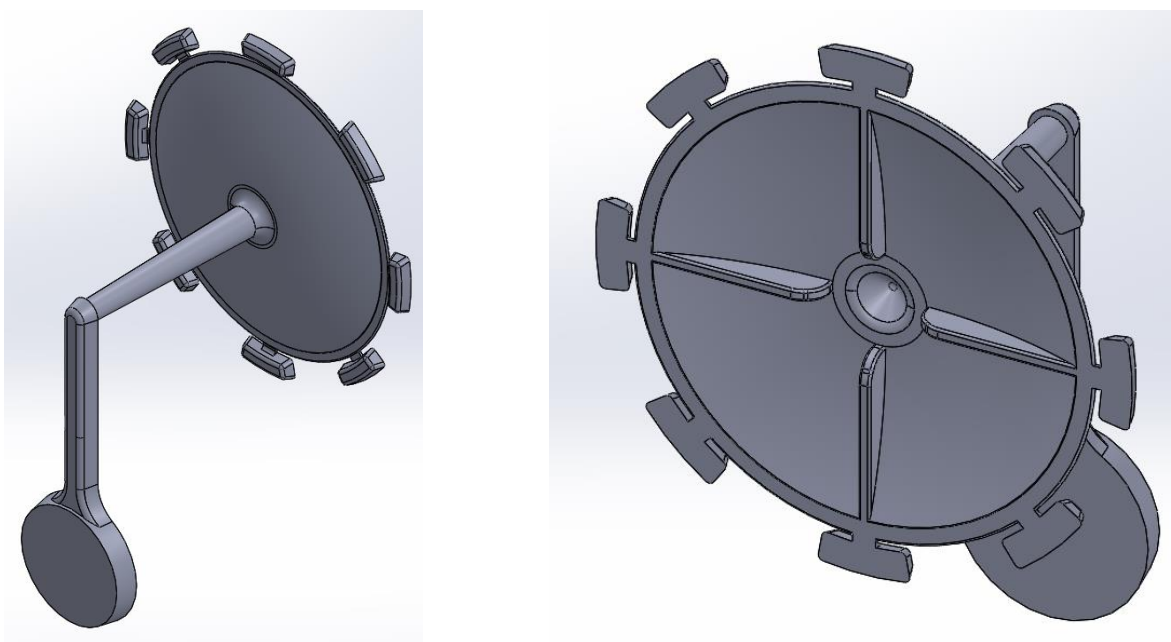


圖1 傳統流道的實驗鑄件。

表 1 傳統流道鑄件的尺寸參數

鑄件材料	ADC12
柱塞直徑 (mm)	80
澆口截面積 ( $\text{mm}^2$ )	295
鑄件體積 ( $\text{cm}^3$ )	246
鑄件表面積 ( $\text{cm}^2$ )	1029
模腔體積 ( $\text{cm}^3$ )	117
零件體積 ( $\text{cm}^3$ )	91
零件表面積 ( $\text{cm}^2$ )	701

## 2.2 傳統流道的熔湯流動情形

圖 2(a)~(i)表示熔湯在三片式模具內的流動情形，傳統流道在豎流道與橫流道的銜接處採用垂直的轉角設計，在壓鑄生產中，金屬熔湯以高壓高速進入豎流道並向上流動，因流動慣性導致熔湯在經過豎流道與橫流道的直角銜接處時轉彎不順暢，熔湯會貼合於橫流道的上半部流進澆口，如圖 2(a)~(e)所示，因此，在充填時大部分的熔湯會往模腔的天側流動，使模腔的下半部沒有熔湯充填而引發充填不均勻的問題，熔湯先充填天側後才往地側流動，容易造成氧化物堆積於模腔的地側，且無法經由溢流槽排出，如圖 2(f)~(i)所示，最終使高濃度的氧化物殘留於零件內並產成缺陷。

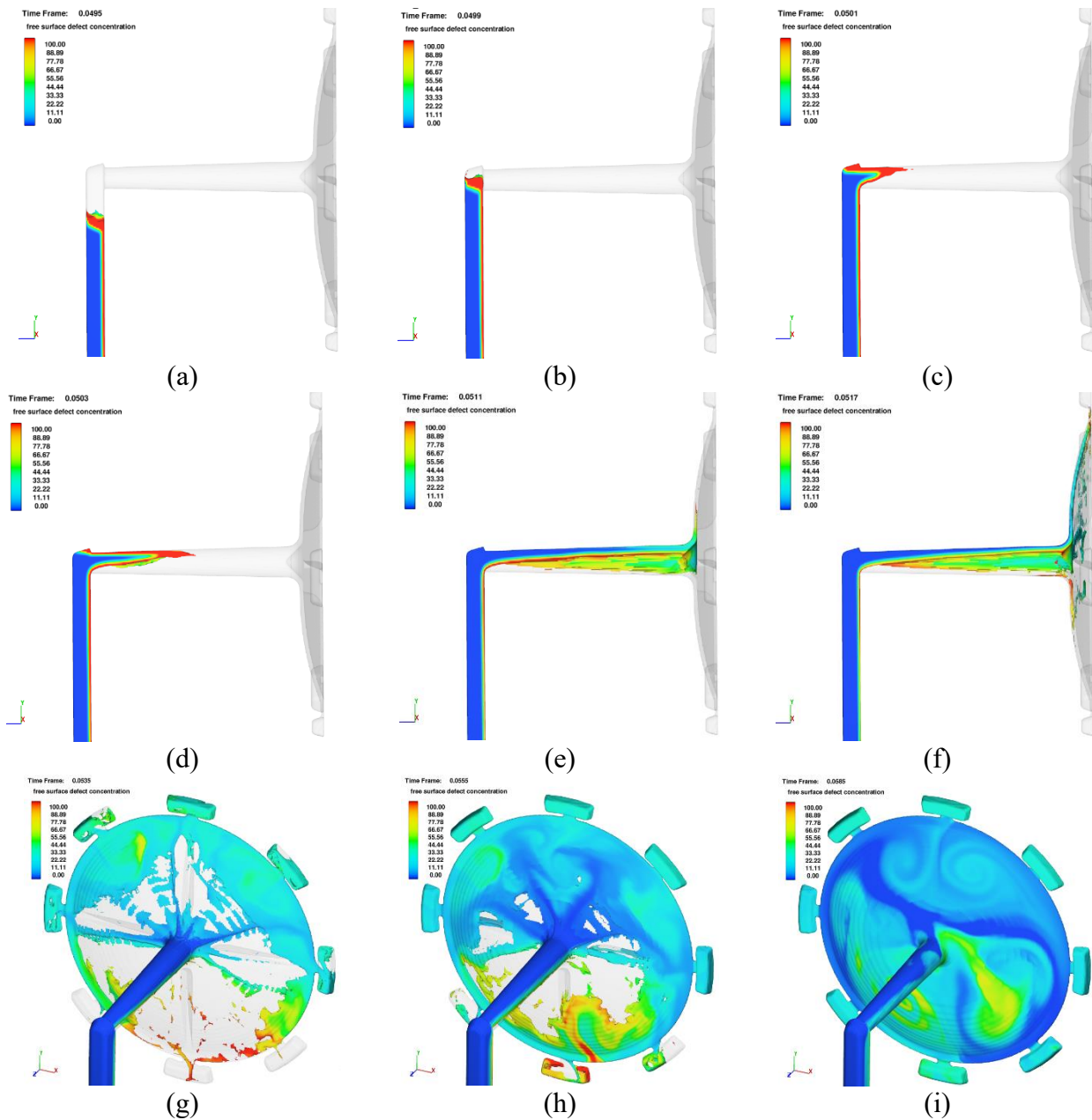


圖2 傳統流道的熔湯流動情形，流動順序為(a)~(i)。



### 2.3 傳統流道的模流分析結果

模流分析以 FLOW-3D 來進行，氧化物濃度為相對值，以 1~100 為基準，數字越高則表示氧化物的濃度越高。

由分析結果的表 2 可得知，使用傳統流道的鑄件最終零件內所殘留的最高氧化物濃度高達 72.7，熔湯的澆口流速為 156.3m/s，充填完成時熔湯的溫度為 597.6°C，從圖 3 可得知，氧化物均集中於零件的地側部分，溢流槽也被熔湯填滿，無法有效達到排除氧化物的效果，氧化物過度的集中也容易為鑄件帶來不利的影響，使鑄件產生缺陷。

表 2 傳統流道的模流分析結果

氧化物濃度	72.7
熔湯的澆口流速 (m/s)	156.3
熔湯最低溫度 (°C)	597.6

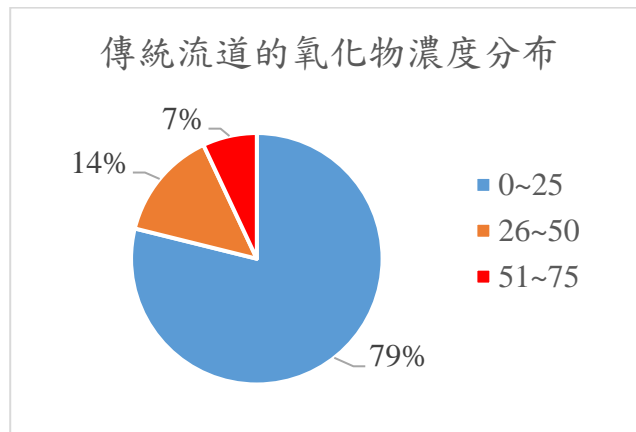


圖3 傳統流道的氧化物濃度分布。

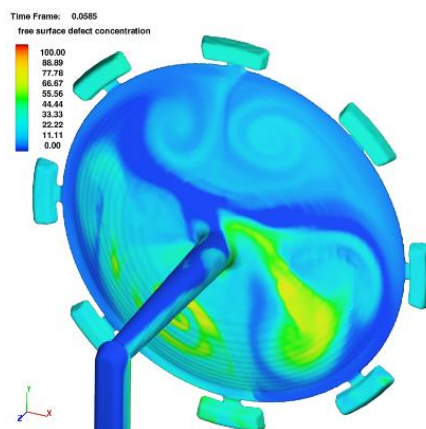


圖4 傳統流道的鑄件於充填完成時的氧化物分布。

### 3. 實驗方法

#### 3.1 圓餅型緩衝塊

本研究設計了新型的流道，在豎流道的上方增加了一個圓餅狀的緩衝塊，如圖 5 所示，由模流分析結果可得知修改豎流道的形狀對改變熔湯的流向起了非常明顯的效果，熔湯在衝擊至緩衝塊最上端時，熔湯會沿著緩衝塊地的圓周外圍向下流動，令熔湯在進入橫流道前形成一個環形，藉此引導熔湯以螺旋環繞的流動方式進入橫流道，可順利使熔湯在進入模腔時以輻射流進行充填，為模腔的充填帶來更好的流動模式，如圖 6 所示。

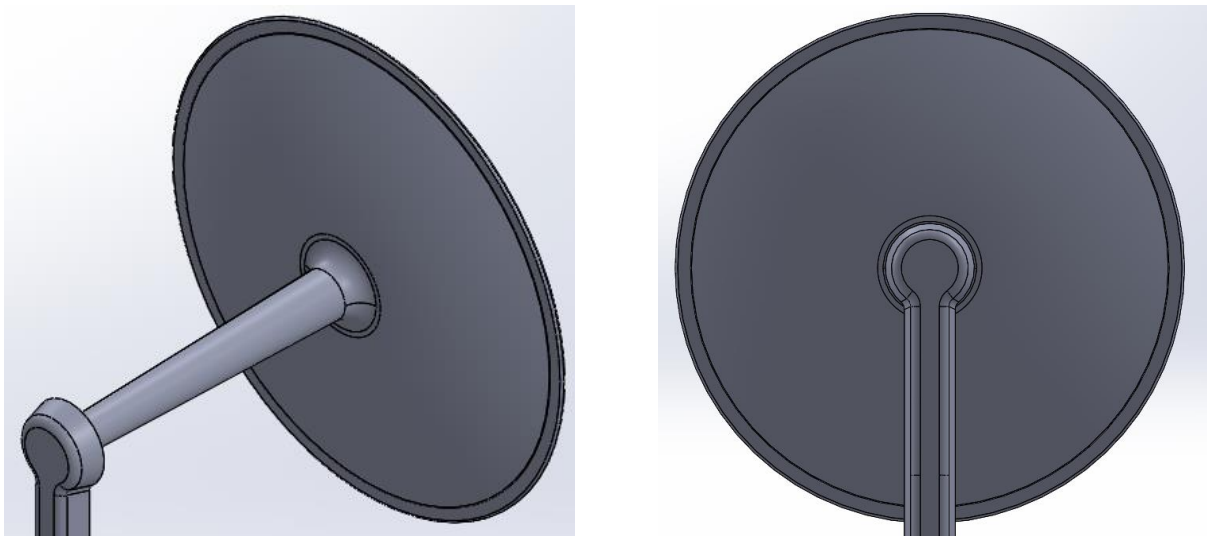
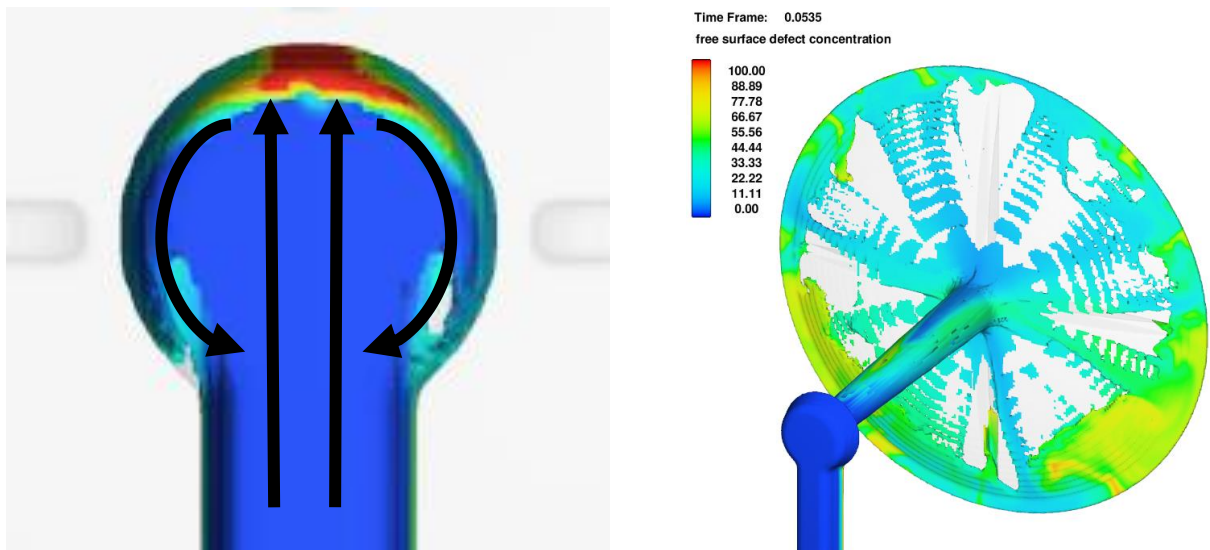


圖5 圓餅型緩衝塊的實驗鑄件。



(a) 熔湯於圓餅型緩衝塊內的流動情形

(b) 圓餅型緩衝塊的輻射流充填情形

圖6 圓餅型緩衝塊鑄件的充填情形。

### 3.2 實驗參數

在確認圓餅型緩衝塊的設計可帶來有效的幫助後，緩衝塊的尺寸也至關重要，每一個設計參數對熔湯的流動情形都有不一樣的影響，本次研究的實驗參數選擇了不同的緩衝塊直徑，且為了對應不同大小的鑄件，研究中以豎流道的寬度為基準，將鑄件等比例縮放，選擇了四種尺寸的鑄件，最終透過模流分析來觀察充填完成後熔湯的氧化物濃度與分布，評估何種組合才是最佳的緩衝塊設計。

四種尺寸的鑄件的豎流道寬度：15、20、25、30 mm。

緩衝塊直徑倍數：豎流道寬度的 1.25、1.5、1.75、2、2.25 倍。

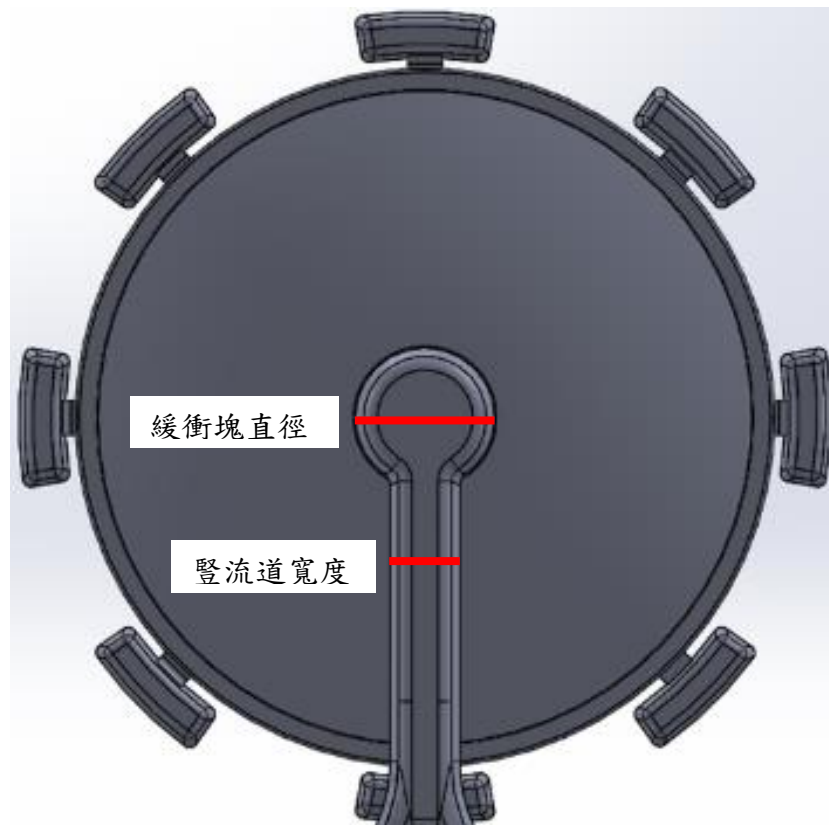


圖7 緩衝塊直徑與豎流道寬度。



## 4. 結果與討論

### 4.1 緩衝塊的直徑對氧化物濃度之影響

由四種鑄件尺寸各分析五種緩衝塊直徑的模流分析結果可觀察出，緩衝塊提供了良好的幫助，熔湯可順利以輻射流充填模腔，圖 8 表示在不同尺寸的鑄件中緩衝塊的直徑對於零件內的氧化物濃度趨勢影響，圓餅直徑倍數 1 代表沒有使用緩衝塊的傳統流道。

從圖 8 觀察出氧化物濃度的趨勢線呈現 V 型，與傳統流道相比，使用緩衝塊的零件內，氧化物濃度有明顯減少的現象，緩衝塊的設計可確實降低氧化物的濃度，但當緩衝塊的直徑大於豎流道寬度的兩倍時，會令熔湯旋轉的力道減弱，使充填時的氧化物全部集中於橫流道的上方，導致氧化物均往零件的天側流動，造成氧化物的濃度劇烈上升。

從不同尺寸的氧化物趨勢可發現部分設計的氧化物濃度有出現突然偏高的特例情形，判斷原因為受到溢流槽的位置所影響，並非緩衝塊無法發揮效果，由於溢流槽的位置設計不佳，氧化物流動的方向沒有設置溢流槽，導致氧化物無法經由溢流槽排出，最終殘留於零件內。

綜上所述，緩衝塊的直徑應屆於豎流道寬度的 1.25~2 倍之間，且四種尺寸的鑄件皆有相同的趨勢，證明緩衝塊的設計可適用於不同尺寸的鑄件。

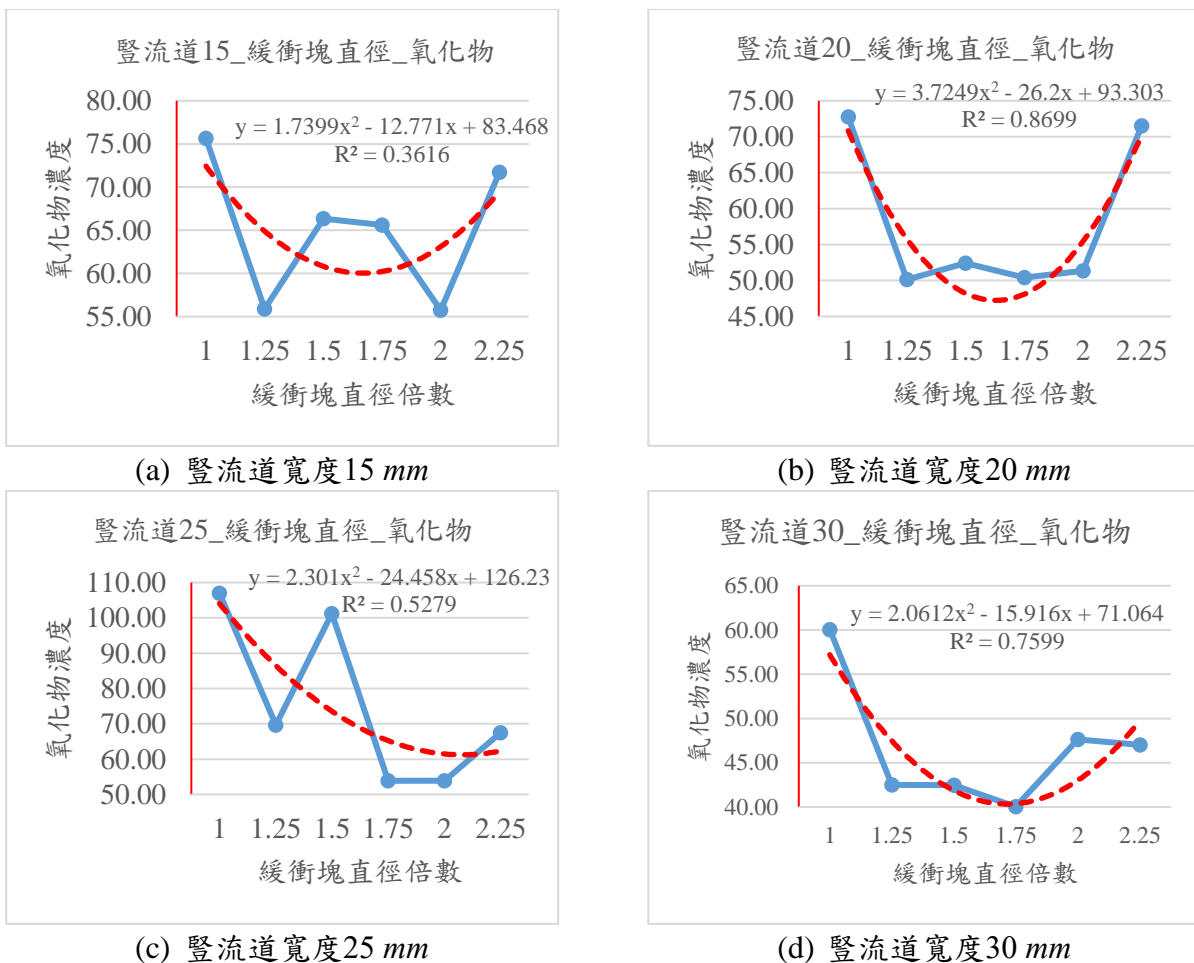


圖 8 不同緩衝塊直徑的氧化物濃度趨勢圖。

由圖 9 與表 3 得知圓餅型緩衝塊的設計為鑄件帶來了明顯的效果，在四種尺寸的鑄件中，每一種設計都可大幅降低氧化物的濃度，改善幅度最高可達到約 26.3% 至 49.7%，可有效減少殘留於零件內的氧化物。

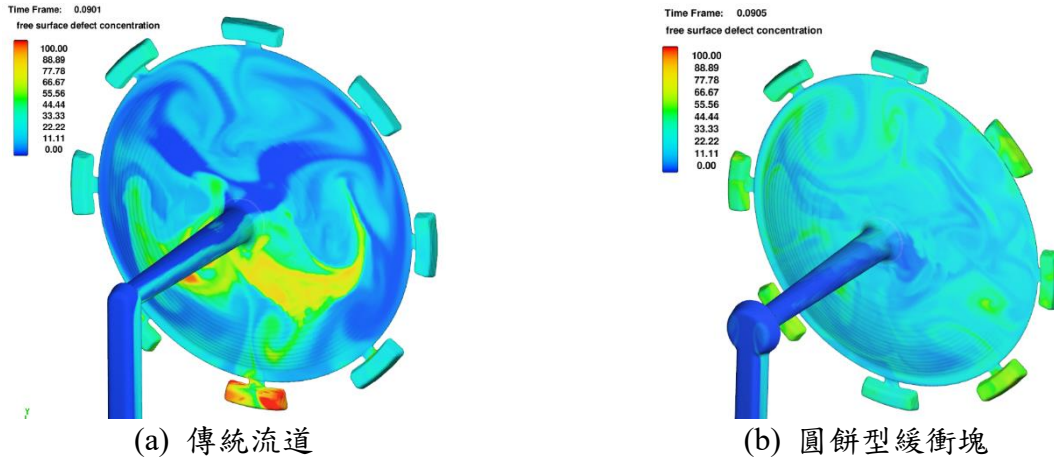


圖10 傳統流道與圓餅型緩衝塊鑄件的氧化物分布。

表 3 四種尺寸的鑄件中六種緩衝塊直徑對氧化物濃度的分析結果。

豎流道寬度 (mm)	緩衝塊直徑倍數	氧化物濃度	改善百分比 (%)
15	1	75.64	0.00
	1.25	55.88	26.12
	1.5	66.34	12.29
	1.75	65.61	13.26
	2	<b>55.73</b>	<b>26.32</b>
	2.25	71.73	5.17
20	1	72.74	0.00
	1.25	<b>50.12</b>	<b>31.10</b>
	1.5	52.42	27.94
	1.75	50.42	30.68
	2	51.32	29.45
	2.25	71.54	1.66
25	1	107.02	0.00
	1.25	69.67	34.90
	1.5	101.18	5.46
	1.75	<b>53.87</b>	<b>49.67</b>
	2	53.88	49.65
	2.25	67.50	36.93
30	1	60.06	0.00
	1.25	42.50	29.24
	1.5	42.45	29.32
	1.75	<b>40.03</b>	<b>33.35</b>
	2	47.65	20.66
	2.25	47.04	21.68



## 4.2 緩衝塊的直徑對氧化物分布之影響

表 4 表示在不同尺寸的鑄件中緩衝塊直徑的變化對氧化物百分比分布表，可觀察出傳統流道的鑄件內仍有約 10% 熔湯的氧化物濃度高於 50，而使用緩衝塊後的鑄件可有效降低整體零件的氧化物濃度，氧化物濃度高於 50 的熔湯普遍可降低至約 3% 以下，甚至可使零件所有的熔湯氧化物濃度低於 50，整體的氧化物分布更平均。

表 4 四種尺寸的鑄件中六種緩衝塊直徑對氧化物分布的分析結果。

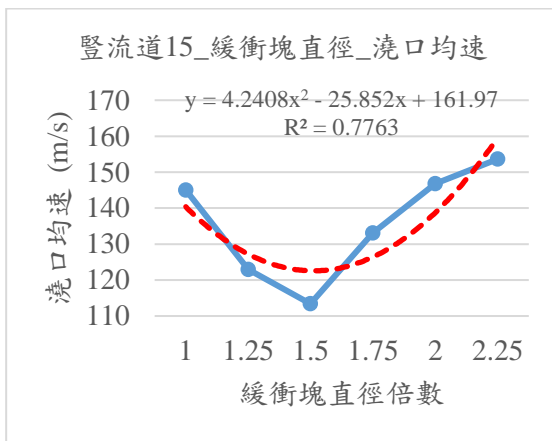
豎流道 寬度 (mm)	緩衝塊 直徑 倍數	氧化物分布百分比 (%)			
		0~25	26~50	51~75	76~100
15	1	71.97	18.42	9.58	0.03
	1.25	54.71	44.15	1.15	0.00
	1.5	54.40	44.22	1.39	0.00
	1.75	51.08	46.90	2.02	0.00
	2	57.53	39.14	3.32	0.00
	2.25	64.83	27.62	7.86	0.00
20	1	78.87	14.15	6.98	0.00
	1.25	68.81	31.19	0.00	0.00
	1.5	79.88	20.07	0.06	0.00
	1.75	78.80	21.16	0.04	0.00
	2	74.33	25.64	0.03	0.00
	2.25	72.43	24.41	3.16	0.00
25	1	73.77	13.55	10.44	1.85
	1.25	56.39	42.48	1.14	0.00
	1.5	63.79	32.70	3.05	0.37
	1.75	69.72	30.18	0.09	0.00
	2	74.48	25.23	0.29	0.00
	2.25	66.57	31.21	2.22	0.00
30	1	81.41	16.93	1.65	0.00
	1.25	87.17	12.83	0.00	0.00
	1.5	86.36	13.64	0.00	0.00
	1.75	89.80	10.20	0.00	0.00
	2	84.11	15.89	0.00	0.00
	2.25	88.96	11.04	0.00	0.00

### 4.3 緩衝塊的直徑對熔湯位於澆口處的流速之影響

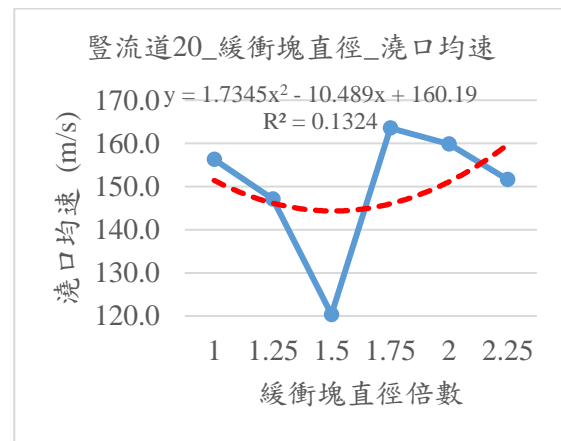
圖 10 表示在不同尺寸的鑄件中緩衝塊的直徑對於熔湯位於澆口處的流速趨勢，緩衝塊直徑倍數 1 代表沒有使用緩衝塊的傳統流道。

由模流分析結果可觀察出直徑影響的趨勢與氧化物濃度相同，皆呈現 V 型，在使用緩衝塊之後，熔湯於澆口處的流速皆有下降的情形，每種尺寸的鑄件都是 1.5 倍的流速最低，但是當緩衝塊的直徑超過 1.5 倍時，熔湯的流速會開始增加，甚至會超過傳統流道的流速，熔湯的流速過快可能會對模具造成沖蝕的問題，進而減少模具的壽命。

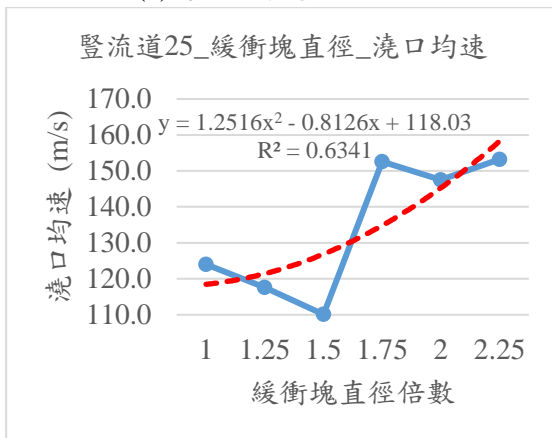
其原因為緩衝塊的直徑增加使得緩衝塊內的熔湯匯集的位置與橫流道的距離增加，熔湯匯集後並非直接進入橫流道，而是經由被上游的熔湯推擠向上方流動才會進入橫流道，使緩衝塊緩衝的功能失效，在向上推擠的過程中，熔湯經過上游熔湯的加速，以及進入豎流道與橫流道的直角轉彎處時所帶來的壓力，最終導致熔湯在澆口處的流動速度增加，故可判斷緩衝塊直徑為豎流道寬度的 1.5 倍對熔湯流速的效果最佳。



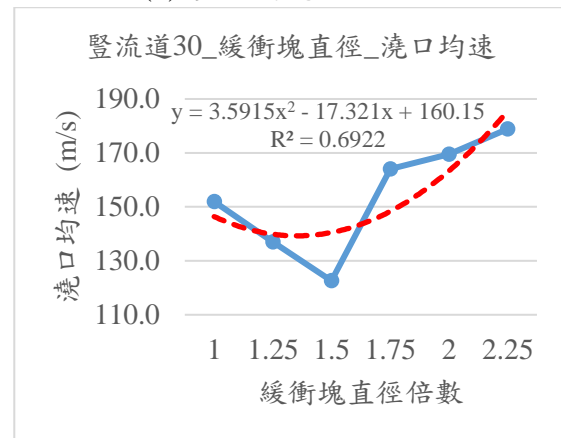
(a) 豎流道寬度 15 mm



(b) 豎流道寬度 20 mm



(c) 豎流道寬度 25 mm



(d) 豎流道寬度 30 mm

圖 10 不同緩衝塊直徑的澆口處熔湯流速趨勢圖。

## 5. 結論

總結上述緩衝塊的直徑對氧化物濃度與充填結束時的氧化物分布，可得知使用四種尺寸的鑄件進行模流分析後，每種圓餅直徑的分析結果與趨勢影響都非常相近，實驗證實了圓餅型的緩衝塊可適用於不同尺寸的鑄件。

緩衝塊的設計也為熔湯的流動情形帶來非常好的效果，每種直徑皆可使熔湯以輻射流進行充填，扣除溢流槽的位置不佳所影響的案例，氧化物都能大幅減少零件內的氧化物的濃度，但當圓餅的直徑高於豎流道寬度的兩倍時，緩衝塊的效果則會降低，氧化物的濃度會開始上升，故緩衝塊的直徑應屆於豎流道寬度的 1.25~2 倍之間。

為避免模具因熔湯的流速過快而產生沖蝕，緩衝塊的設計也可降低澆口處的熔湯流動速度，但當緩衝塊設計的直徑高於豎流道寬度的 1.5 倍時，熔湯的流速可能會高於傳統流道的流速，必須將緩衝塊的直徑控制於豎流道寬度的 1.5 倍以下。

最後觀察緩衝塊直徑 1.25 倍的零件內的氧化物分布，可得知在緩衝塊直徑 1.25 倍的零件出現充填模腔時，氧化物集中往天側流動的現象，且有出現充填時氣體被熔湯包覆的情形，證明直徑 1.25 倍的緩衝塊無法穩定的提供零件輻射流的充填模式，如圖 11(a)所示，而緩衝塊直徑 1.5 倍的鑄件可穩定使高濃度氧化物均勻的流向零件的外圍，如圖 11(b)所示，故選擇緩衝塊直徑 1.5 倍的緩衝塊設計為最佳的尺寸。

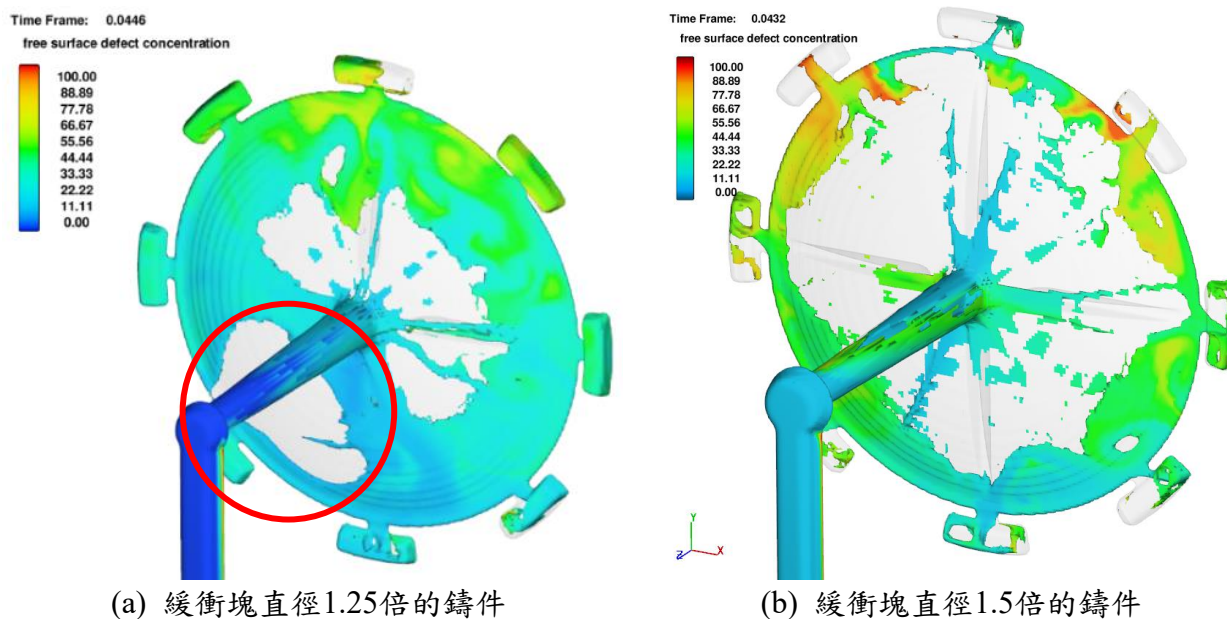


圖11 豎流道寬度15 mm的氧化物濃度分布。





## 6. 誌謝

本論文為國科會計畫編號NSC-000-0000-E-000-MY3之計畫，由於科技部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 7. 參考文獻

1. Liang Wang, Hongjoo Rhee<sup>1</sup>, Sergio D. Felicelli<sup>1</sup>, Adrian S. Saba and John T. Berry, 2009, “Oxide Film and Porosity Defects in Magnesium Alloy AZ91”, Center for Advanced Vehicular Systems, Mississippi State University, Mississippi State, MS 39762, USA.
2. S Schneiderbauer, S Pirker, C Chimani and R Kret, 2012, “Studies on Flow Characteristics at High-Pressure Die-Casting”, Christian Doppler Laboratory on Particulate Flow Modelling, Johannes Kepler University, Altenbergerstr. 69, 4040 Linz, Austria.
3. Murat Tiryakioglu, 2007, “Pore size distributions in AM50 Mg alloy die castings”, Robert Morris University, 6001 University Boulevard, Department of Engineering, Moon Township, PA 15108, USA.
4. X. Dai, X. Yang, J. Campbell and J. Wood , 2002, “Effects of runner system design on the mechanical strength of Al-7Si-Mg alloy castings”, Division of Mechanical and Manufacturing Engineering and the Quality Centre, School of Engineering and Science, University of Paisley, Paisley PA1 2BE, UK.
5. Q.G. Wang, C.J. Davidson, J.R. Griffiths, and P.N. Crepeau, 2006, “Oxide Films, Pores and the Fatigue Lives of Cast Aluminum Alloys”, Metallurgical and Materials Transactions B.