

# 高導熱馬達外殼製造技術

唐乃光

金屬工業研究發展中心 金屬製程研發處 熔鑄組

**前言：**電動車馬達的功率密度愈來愈高，因此散熱成為一個重要的問題。為了散熱，電動車馬達的外殼常會有特別設計的冷卻管路，因此使馬達外殼的結構變得複雜。對於製造馬達外殼常用的鑄造製程而言，這些複雜的結構增加了模具設計與製造的困難度。本文介紹以 3D 列印砂模來鑄造馬達外殼，以及鋁合金成分和熱處理對熱傳導率之影響，以製造出良好的高導熱馬達外殼。

電動車馬達的外殼常會有特別設計的冷卻管路，因此，使馬達外殼的結構變得複雜，加上尺寸通常較大，所以在製造上會較為困難。本文以一個電動車馬達殼體為例，說明以傳統砂模鑄造和 3D 砂模列印鑄造的差異。這個馬達殼有八角形的外觀，八角形對邊的距離為 360 mm，長為 334 mm，殼體上有 16 條冷卻通道。材料為 A356 鋁合金，並需經 T6 熱處理，零件重量約 20 公斤。

若使用傳統的砂模製程，為了要鑄出這些冷卻通道，必須另外開殼模砂心的鐵模來射出砂心與砂心座。但由於殼模砂心不易做出逃氣道，在實際鑄造時，因鋁液高溫使得砂模黏結劑汽化所產生的氣體不易排出，容易在鑄件生成氣孔，加工後表面會有很多孔洞。且由於冷卻水道有圓角，必須每一個水道作一個砂心，然後將砂心組合起來。一個殼體要組 16 根砂心，再加 4 個砂心座，十分耗費人工。而 3D 列印砂模則可將砂心與砂心座一起列印出來，將冷卻通道的砂心數由 20 個簡化成 4 個。

為了解決鑄件孔洞問題，必須解決鑄造排氣與金屬凝固時補縮的問題。使用 3D 列印砂模，可以在砂模中設計大量的排氣道，讓鑄造中產生

的氣體可以由逃氣道排出，這是傳統的砂模做不到的。本馬達殼的砂模排氣道示意圖如圖 1(a)。並且以電腦模擬鋁液充填模穴以及凝固的過程，以了解流動過程與溫度場的變化，以預測可能會發生縮孔的位置，作為修正流道設計和冒口位置與大小的依據。圖 1(b)是模擬的結果之一。根據模擬不同鑄造方案，金屬液充填模穴基本上問題不大，但溫度分佈與凝固的控制較困難。理想狀況是最後凝固的區域在冒口或流道，這樣鑄件較不會產生孔洞。若是在鑄件內有局部區域較周圍慢凝固，那這個區域就有可能產生孔洞。

在模擬完並確定鑄造方案後，將 3D 砂模列印好，並且將砂模組裝好，就可以進行澆鑄。澆鑄前以熱風加熱砂模，以除去砂模中的濕氣，並使模具溫度提高以幫助鋁液充填模穴。澆鑄前鋁液以惰性氣體旋轉除氣法除氣並靜置，以除去鋁液中的氣體與雜質，才能獲得良好的鑄件品質。待鋁液凝固後，就可以清砂取出鑄件，去除冒口流道後，就可進行 T6 熱處理，然後加工得到馬達殼體零件。加工後的馬達殼體如圖 1(c)。

馬達殼的材料也會影響到散熱。鋁合金的熱傳導性約為鑄鐵的 2 倍以上，但不同的鋁合金有不同的熱傳導率而且差異甚大。一般來講，合金

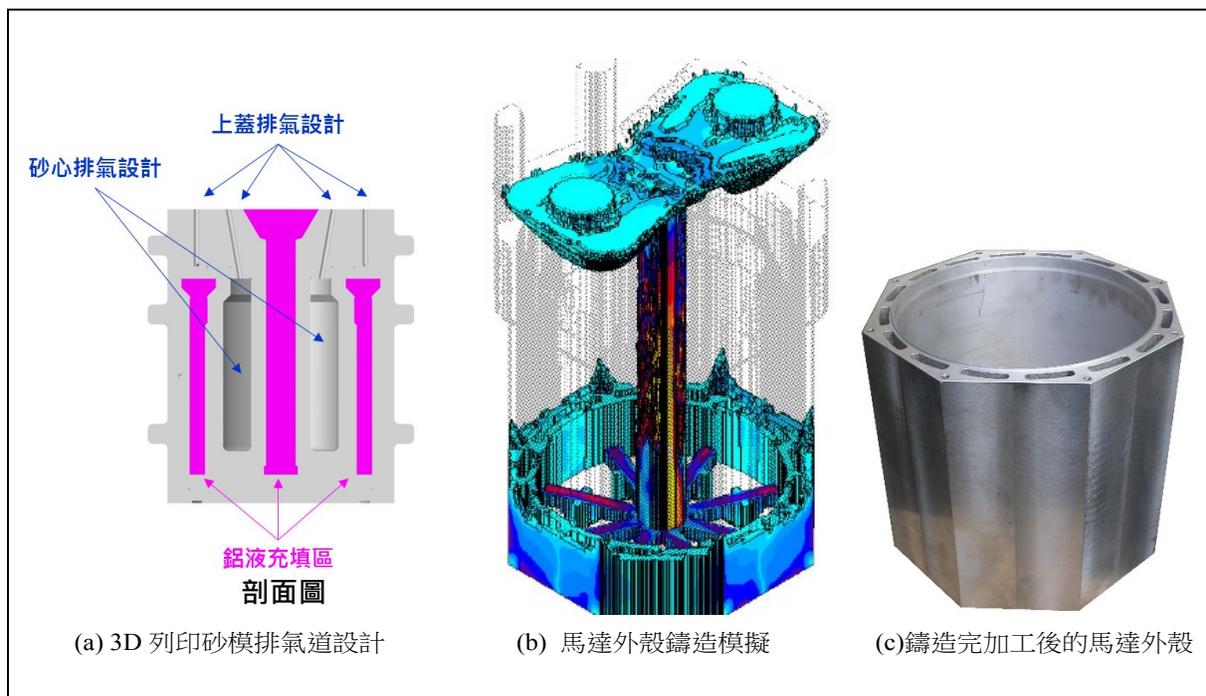


圖 1 高導熱馬達外殼製造技術

元素含量越低，熱傳導率越高，但不同的合金元素，對熱傳導率影響的程度不同。基本上越純的鋁熱傳導率越高，例如純度 99.99% 的鋁的熱傳導率是 243 W/m·K，但 99.5% 鋁的熱傳導率就只剩 234 W/m·K。即使添加進去的合金元素熱傳導率比鋁還要高，也被視為雜質，最終鋁合金的熱傳導率還是下降。例如，雖然純銅的熱傳導率達 400 W/m·K，遠高於鋁。但在 99.8% 的純鋁中加入 1~5% 的 99.9% 純度的銅，鋁合金的熱傳導率是隨著銅含量的增加而降低，由 200 W/m·K 左右(1%銅)降至約 164 W/m·K (5%銅)。以鑄造鋁合金最常添加的矽來講，矽含量由 0.5% 增加至 6% 時熱傳導率會急速下降，添加 0.5% 矽的鋁矽合金熱傳導率約 193 W/m·K，添加 6% 矽的鋁矽合金熱傳導率約 161 W/m·K。但由 6% 增加至 14% 時，熱傳導率變化不大，添加 14% 矽的鋁矽合金熱傳導率約 155 W/m·K。

除了材料成分會影響熱傳導率外，鑄件進行適當的熱處理不僅可以提高機械性質，而且也可以提高鑄件的熱傳導係數。這是因為熱處理改變

了材料的金相組織，因此影響了電子的移動，導致熱傳導係數的改變。以本文所提到的 A356 鋁合金為例，實測結果 T6 熱處理後的鋁合金熱傳導率會較鑄態提高 10~20 W/m·K，但最終的熱傳導率仍未達到 150 W/m·K，略低於文獻上的值。這是因為即使在規範內，合金元素的量還是有差異，就會造成性質的差異。而製程與熱處理也都會影響到熱傳導係數。所以文獻上的值只能作為設計時的參考，而不可認為實際數值會與文獻值相同。

要製造良好的高導熱馬達外殼，必須對材料與製程都有良好的掌控。在「全電化都會運輸系統基礎技術」計畫中，已經詳細研究了合金元素添加量對鋁合金熱傳導率的影響，並且可預估不同成分鋁合金的熱傳導率。對於馬達外殼的鑄造製程，對傳統的砂模鑄造製程與先進的 3D 列印砂模鑄造製程都進行了開發，發現 3D 列印砂模具有可以簡化模具設計，以及容易設計透氣孔的優點。新的產品通常需要新的技術，希望本文可以提供電動車相關業者開發新產品時的參考。