

鎂合金系列報導之四

鎂合金鑄造技術之進展

文◎金屬中心產業資訊組／劉文海

從 1927 年推出高強度 $MgAl_9Zn_1$ 合金 (AZ91D) 開始，鎂合金的工業應用獲得了實質性的進展。世界鎂合金的工程結構件約有 98% 是採用壓鑄生產，而其中的 70% 以上又用於汽車工業，自 1990 年起，全球鎂合金汽車零組件產量年增率達 20%，原因之一乃鎂合金壓鑄技術的進展推動並擴大其應用領域。

熔煉保護氣體

鎂合金氣體保護熔煉技術是目前生產高品質鎂合金的主要關鍵，20 多年前，在熔煉鎂和鎂合金時採用 SF_6 做保護氣體，曾經是鎂工業界最大的進步。因為它消除了以前使用 SO_2 ，和熔劑熔煉的大多數問題。目前多數廠家使用乾燥的 SF_6 、 N_2 、 CO_2 、 SO_2 氣體中的 2-4 種組成混合氣體，在鎂合金熔池表面形成緻密的連續薄膜來阻止鎂合金液的氧化。 SF_6 不是毒性氣體，但它對地球的溫室效應比 CO_2 嚴重 22,000 倍，由於京都議定書已於 2005 年 2 月生效，將來必然會限制其用量乃至停止使用，迫使鎂工業用戶必須尋找更為經濟實用、高效、健康、環保的替代保護氣體。

以前使用硫磺和 SO_2 對熔化鎂保護的成功，證明 SF_6 的有效主要是由於 S 的存在。然而， SF_6 保護氣下表面形成的薄膜只含有 MgO 和 MgF_2 ，證明氟是保

護氣的有效成分，這反過來證明有另外一種含氟氣體能替代 SF_6 。當所形成的化合物為氟化鎂時，其緻密度為 1.32，具有良好的保護作用。經過多年的分析，Nigel Ricketts 等人找到了四氟乙烷。

四氟乙烷 (CF_3CH_2F ，簡稱為 HFC-134a)，分子量為 102，沸點為 $-26.5^\circ C$ ，不易燃，無毒性，大氣溫室效應值為 0.27，可作為二氟二氯甲烷 (CFC-12) 的理想替代物，不會破壞臭氧層，已廣泛用於汽車空調、電冰箱及商業冷凍系統。通過重要的環境測試，HFC-134a 的 ODP 幾乎為 0，且 GWP (溫室效應潛勢) 只有 CO_2 的 1,300 倍。四氟乙烷具有以下多種優點：

- (1) 使全球變暖的潛在作用小。
- (2) 臭氧的消耗量為零。
- (3) 室溫下安全，無毒性。
- (4) 在室溫和熔化狀態下無腐蝕性。
- (5) 不易燃，容易使用。
- (6) 熱分解產物具有最小的毒性。

但 HFC-134a 的缺點是在熔化鎂的保護過程中，隨著溫度的不斷升高將導致 HFC-134a 的分解，主要的產物是 HF。HF 氣體的存在將給安全控制帶來隱憂，而且可能加速設備的腐蝕。

近幾年澳洲鎂業公司 (AMC) 和鑄造金屬生產協作研究中心 (CAST)，進行了在壓鑄過程中使用 HFC-134a 代替 SF_6 的實驗室試驗，和歐洲與北美壓鑄

業進行的工業規模實驗，其使用的結果令人滿意。試驗中檢測了各種不同的參數，並與以前使用 SF_6 獲得的數據相比較。至少取得下列的結果：

(1) HFC-134a 保護效果優於 SF_6 ，因此減少有效氣體成分的消耗，其價格又比 SF_6 低，故大幅減少保護氣體費用。

(2) 溫室氣體效應降低了 99.6% 以上。

(3) 減少了金屬的損失和爐渣的形成，使得實驗的溫度和化學成分更易控制，更加節省費用。

(4) 可減少黏附在設備與爐內的爐渣，並降低爐渣的可燃性，同時也減少了燃燒所產生的鎂氧化物煙塵，可改善環境並提高效率。

(5) 減少合金銀含量的情況下，仍能保證防氧化性能。

(6) 改善了殘餘金屬液的品質，使其更易回收再利用，可進一步提高經濟效益。

隨著研究與實驗的深入，證明四氟乙烷與 CO_2 、 N_2 等乾燥的氣體混合，可以改善和加強保護效果。該混合氣體作用於合金液表面，會形成一種改性氧化鎂薄膜，並產生了少量的緻密度較大的 MgF_2 。這一層薄膜是有金屬色澤、緻密、連續的，可以阻止鎂合金液進一步氧化而獲得了保護能力，但它只能維持幾分鐘，故混合氣體要不間斷地供應。 HFC-134a 氣體相對於 SO_2 或 SF_6 具有更優良的保護特性，被認為是最可能替代 SF_6 氣體的物質。

壓鑄技術

鎂合金壓鑄可用冷室或熱室壓鑄機，一般情況下小於 1kg 的鑄件需要採用熱

室壓鑄機，以保證薄壁件的完全充模，大件則多採用冷室壓鑄機。目前對熱室壓鑄機的改進主要包括：

※採用蓄壓器增壓，柱塞的壓射速度可達 6m/s。

※感應加熱鵝頸管和噴嘴，使之保持最適宜溫度。

※採用雙爐熔化保溫，並採用絕熱裝置和再迴圈管道，精確保持熔池溫度。當用普通冷室壓鑄機壓鑄鎂合金時，必須對壓鑄機的壓射系統和自動給料系統進行必要的改造，使之適用於鎂合金壓鑄的要求。改造的內容包括：

(1) 將壓射系統的快壓射速度由壓鑄鋁合金時的 4-5m/s 提高到 6-10m/s。

(2) 縮短增壓過程的建壓時間。

(3) 提高壓射力。

(4) 採用電磁自動定量給料裝置，防止鎂合金在澆鑄過程中氧化。

與其他壓鑄合金一樣，傳統的壓鑄技術使鎂合金液以高速的紊流和彌散狀態充填壓鑄模穴，氣體在高壓下將溶解在壓鑄合金內，或形成許多分散在壓鑄件內的高壓微氣孔。故傳統壓鑄方法生產的鎂合金鑄件不能進行熱處理強化及鉚接，也不能在較高溫度下使用。為了消除這種缺陷，提高壓鑄件的品質，擴大壓鑄件的應用範圍，近 20 年來研究開發了一些新的壓鑄方法，其中包括充氧壓鑄，生固態流變或觸變壓鑄和擠壓鑄造，以及幾經起伏的真空壓鑄等。

真空壓鑄藉由在壓鑄過程中抽除模穴內的氣體而消除或顯著減少壓鑄件內的氣孔和溶解氣體，提高壓鑄件的機械性能和表面品質。目前已成功地在冷室壓鑄機上用真空壓鑄法生產出 AM60B 鎂合金汽車輪圈，在鎖模力達 300 噸的熱

室壓鑄機上生產出 AM60B 鎂合金汽車方向盤零件，鑄件伸長率由 8% 提高至 16%。

充氧壓鑄又稱無氣孔壓鑄（Pore-Free Die Casting Process，PF 法），該法在金屬液充模前，將氧氣或其他活性氣體充入模穴，置換模穴內的空氣，金屬液充模時，活性氣體與金屬液反應生成金屬氧化物微粒彌散分佈在壓鑄件內，可消除壓鑄件內的氣體，使壓鑄件可熱處理強化。日本輕金屬（株）用充氧壓鑄法生產電腦的鎂合金（AZ91）整體磁頭支架，代替原先的多層疊合支架，不但減輕了支架重量，並且取得了很大的經濟效益。

該公司還用充氧壓鑄法成批生產了 AM60 鎂合金汽車輪圈和摩托車輪圈，與鋁輪圈相比，重量減輕 15%。

半固態觸變成形

鎂合金半固態觸變射出成形（Thixomolding®），採用類似塑膠射出成形機的設備，但射出速度比塑膠高 10 倍。所用的原料是鎂顆粒，鎂粒全部在機器裡面熔化和壓射，不需要外面的熔爐設備。鑄件可在 20 秒生產週期裡成形，不需要進行熱處理，在大多數情況下，也不需要進一步加工。因此只要有現成的模具，如果訂購 1,000 個或更多個同一種鑄件，可在一天內交貨。

觸變射出成形的優勢是作業環境佳，安全防火，工人勞動條件改善，不產生有害氣體和殘渣；所生產之淨形鑄件具有極少氣孔。這一技術可以把許多零件一體化鑄造成形，省去了裝配時間，且具有優異的機械和物理性能。

1. 第二代觸變成形機特性

JSW 和 Husky 兩家公司已於 2003 年開發出第二代觸變成形機（見圖一），鎖模力在 75-850 分噸之間。Husky 公司最新設計的 1,000 公噸觸變成形機用於汽車零件，樣機已經於 2004 年春投入運行。目前，全世界約有 264 台觸變成形機在生產，其中日本製鋼所從 1994 年第一台出廠，到現在已售出 250 台以上，最大機種為 1,600 噸。在日本和台灣的 3C 產品殼體上，及歐美的汽車零組件上皆有大量應用。第二代觸變成形機提高了成形安定性、尺寸精度及良品率，可更容易地生產薄壁筆記型電腦外殼等。設備的特點是：

（1）射出裝置：射出速度增至 5.4-6m/sec，藉由提高射出反應性及制動性能，達到高速反應，比第一代成形機速度提高 30%。

（2）螺桿、套筒：採用 JSW 自我開發的耐高熱、高傳導性合金，提高鎂合金的熔解能力，節省熔解能源。更新螺桿構造的設計，實現滿載計量。

（3）鎖模機構：與舊機型相比，鎖模機構的剛性增加 40%，有效地抑制飛邊，減少後加工的時間。

（4）鎖模速度：提高了模具的關閉速度 1.8 倍，縮短成形週期。

（5）電力消耗：與舊機型相比，節省約 10% 的電力。

（6）感應加熱：採用低頻（60Hz）感應加熱具有優勢，有 30% 能量可以進入鎂粒和螺旋給料裝置，在美國 Thixomat 公司的 220 公噸 JSW 觸變成形機的試驗證明：鎂粒通過量可以增一倍，生產週期可以減少一半，對於 325g 的鎂合金鑄件，生產週期為 18 秒。

(7) 供料器加熱：作為加速鑄造的一種手段，鎂粒在供料器裡加熱到 280℃，可以把生產週期減少 10%，同時加熱源線路也經濟實惠。

(8) 熱澆口／熱澆道 (Hot Sprues/Hot Runners)：熱流道系統普遍地用於塑料射出成形法，JSW 將此技術用於鎂合金觸變成形法，研發了一種極度耐熱新材料，另外在熱噴嘴週邊需有一個快速反應的感應生熱系統。由於半固態的漿料在模具內離開機器噴嘴，所以熱流道的鎂合金成形流動距離較傳統的冷流道為長，這種系統適用於大模穴和多模穴（例如可採一模 4 穴成形手機機殼），可提高產品品質的穩定性，使用小型機台亦可生產較大鑄件。

(9) 長噴嘴：由於熱流道成形法增加了模具的費用，故日本製鋼所開發了長噴嘴技術，其優點是在不增加模具費用的狀態下，免去主流道，減少廢料，適用各種模具。

(10) 鎂合金配料：採用觸變配料 (Thixoblending) 的鎂粒混合技術，不同之鎂合金可在供料器內混合，加強了生產靈活性，可以使庫存需求減少到幾種母合金，縮短生產之前置時間。

(11) 合金設計：在過去 30 年裡，許多組織都在努力尋求合金設計，改進強度、延展性、抗潛變和抗疲勞性能，

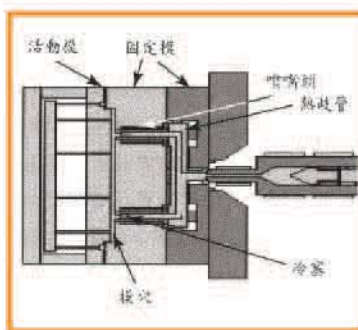
同時還要保持最普通鎂合金 AZ91D 的抗腐蝕性能。為達到上述



▲圖三鑄鍛合一之鎂合金／鋁合金複合材質輪圈。



▲圖一 JSW 之第二代觸變成形機 (JLM650-MG II)。



◀圖二為熱澆道系統結構與模具／噴嘴外觀，噴嘴快速加熱可以熔化噴嘴中之冷塞 (Cold-plug)，可根據產品設計最佳之噴嘴位置，利用這個熱流道系統，可以不用主流道及分流道，廢料可減少達 58%，成本也同時降低，產量明顯增加，和冷澆口相比，生產週期可減少 42%。

性能，合金設計者們追求降低氣孔率，減少共晶相百分比，努力開發出具有韌性、抗潛變性能的新型鎂合金。所用合金化元素包括鋁、鋅、鈣、鋇和稀土元素。目前鋁含量傾向於在 9% 以下，同時採用其他合金化元素，如鋇和鈣。

(12) 半固態固相率之控制：固相率是由料筒及噴嘴之溫度來控制，對於薄壁複雜零件如晶片散熱器（壁厚在 0.3mm）和機殼（0.6-0.7mm），量產時固相率控制在 5% 為佳，鑄件延展性優異。對於中等厚度 1-4mm 具有良好性能鑄件而言，最佳固相率為 15%。厚度在 12-25mm 時，固相率可高於 25%，鑄件機械性能仍優異；例如成形厚度 15mm 之軍用零件，固相率可達 42.5%。Husky 公司最近示範成形 4×190mm 鑄件，固相率可達 70%。

(13) 利用粉體脫模劑：用以改善操作環境，提高模具壽命。



▲ 鎂合金太陽眼鏡：採200噸觸變射出成形機，成形溫度600℃，售價\$110-240。

▲ Daiwa Seiko Surf Z45C釣魚捲線器一減重15%，最薄可達0.7mm。

▲ 滑臺板固定器（脫離器）

▲ 圖四 鎂合金觸變成形的應用產品。

資料來源：金屬中心ITIS計畫

港泰興光學生產）等領域，參見圖四及表一。隨著鎂合金半固態觸變射出成形技術的不斷發展，其應用會越來越廣泛。

電子／通訊類	筆記型電腦、數位投影機、數位相機、VCR、PDA、隨身聽、手機、晶片散熱器、條碼／支票讀取器、虛擬顯示設備、影印齒輪
汽車零件	座椅背架、傳動零件、托架、啓動馬達外殼、閥蓋、電子裝置盒、汽油泵外殼、噴射油道、門鎖、照視鏡托架、敞蓬蓋零件
運動器材	滑雪板鞋座、釣魚線捲軸、自行車煞車手把、摩托車流線型外殼
手工具	鉗子、鋸子、鑽手、鏈鋸、吹葉機、樹剪、剪髮刀
其他	太陽眼鏡、顯微鏡、風扇、雷射顯微鏡

▲ 表一 國外鎂合金觸變成形的應用產品。

結語

鎂合金觸變成形法在電子產品的精密成形方面逐步取代塑料射出成形法，尤其在亞洲；歐美則已廣泛應用於汽車、運動器材、手工具、眼鏡等，亞洲廠家正嘗試以觸變成形法製造一些鎂汽車零組件，如鎖鑰殼、制動踏板、油泵體、轉向盤及座椅靠背等，以擴大應用領域。而利用觸變成形與鍛造相結合的方法，製造厚壁鑄件，可簡化鍛造製程，並製造出形狀複雜的零件。預期不久將可商業化。



轉載自鎂合金產業通訊 29 期

2. 觸變成形／鍛造之複合成形法

JSW 與日本汽車輪圈廠合作已開發出鎂合金／鋁合金複合材質之汽車輪圈樣品（見圖三），此種二片式輪圈採用鑄鍛合一法，首先用 850 噸觸變射出成形機製造鎂合金預成形輪盤（固相率 30%），切除流道及澆口後，把輪盤再加熱後進行溫鍛，以提高機械性能，再與鋁製輪緣結合（採鍍鉻螺栓）。整個製程只需一次射出成形，一次鍛造，再經 T6 熱處理後，經極少量的機加工就可完成產品。

3. 觸變成形之應用

鎂合金半固態觸變成形的應用廣泛，除了台灣熟悉之 3C 產品殼件，國外已應用於汽車、運動器材、手工具、眼鏡（香

參考資料

1. ADVANCED MATERIALS & PROCESSES, April 2004, P41-42
2. 工業材料（日），2002/01, P56-57
3. <http://www.jsw.co.jp>
4. <http://www.nikkeikin.co.jp>
5. <http://www.mw35.com>
6. <http://www.husky.ca>
7. <http://www.hotrunners.com>
8. <http://www.thixomat.com>
9. <http://www.sae.org>
10. <http://www.daiwa-seiko.co.jp>