

A356.2 Al/Gr 顆粒型複合材料之磨潤性質研究

A study on process and tribological properties of A356.2 Al/Gr_(p) composites

計畫編號: NSC88-2216-E032-002

執行期限: 87年11月1日至88年10月31日

主持人: 林清彬 淡江大學機械工程學系

一、中文摘要：

本研究使用自行設計石墨顆粒無電解電鍍銅之反應盒，利用盒內之多層鋅板與流動電解液，進行密集碰撞及置換反應，在可量產化下將石墨顆粒表面均勻鍍上銅鍍層。將鋁熔湯包覆鍍銅後之石墨顆粒，使用熱鍛壓方式以形成複合材料，其中石墨顆粒可均勻分散於 A356.2 鋁合金基地中。

關鍵詞：A356.2 鋁合金；石墨；無電解電鍍；熱鍛壓

Abstract

A hot forging process and a mass production of copper-coated graphite particulates have been successfully used to manufacture A356.2 aluminum alloy/0~8wt% (15 μm) graphite particulate composite material. The graphite particulates are distributed uniformly within the Al alloy matrix. The surface of the graphite particulates was coated with copper could improve surface wettability and interface strength of A356.2 Al alloy and graphite particulates.

二、緣由與目的

將石墨第二相顆粒加入鋁合金基地，所形成之鋁基複合材料(Aluminum Matrix Composite; 簡稱 AMC)，對於鋁合金之耐磨耗性或潤滑性有顯著改善，在汽車工業方

面使用日漸廣泛，如汽缸套、活塞環等引擎零件[1]。Rohatgi 等人[2]研究發現，在鋁合金中添加層狀結構的石墨顆粒所形成之複合材料，在石墨顆粒作用下能在對磨面提供一持續性固態潤滑層，使滑動接觸面的摩擦係數及磨耗率降低，並提高鋁合金的抗黏著性。B. P. Krishnan 等人[3]指出鋁合金/石墨顆粒型複合材料在鑄造製程上所遭遇的困難，主要是由於鋁熔湯在 1080°C 以下與石墨顆粒間的接觸角達 160°。若以一般的熔煉方式將石墨顆粒直接自外界加入鋁熔湯，很難形成石墨顆粒型鋁基複合材料。

根據 Gibson 等人[4]指出鋁合金中添加 2wt% 石墨顆粒將使鋁合金的摩擦係數、磨耗率及接觸溫度下降；添加量 4wt% 時，磨潤性質將維持不變；當添加量 8wt% 時，機械性質反而變得很脆且磨耗量突然增加，得到相反的磨潤效果。根據 Biswas 等人[5]指出經磨耗測試後，磨耗量隨石墨顆粒含量增加而上升。根據 Liu 等人[6]研究指出鋁合金添加粒狀 (granular) 石墨顆粒可降低鋁合金材料的摩擦係數。Prasad 等人[7]認為石墨顆粒與鋁合金鍵結強度差，且界面有孔隙 (porosity) 存在，使得石墨顆粒會沿著磨耗方向剝離，並在摩擦表面留下孔洞 (void)。若在石墨顆粒表面鍍鎳或鍍銅有助於增加石墨顆粒與鋁合金的潤濕性[8]，並可減少鋁合金與石墨顆粒界面孔隙的存在。Prasad 等人[9]指出熔煉鋁合金/石墨顆粒型複合材料過程中，石墨顆粒在鋁合金，會造成聚集

(cluster)現象。並且會在石墨顆粒聚集內部形成孔隙。這些孔隙是造成材料破裂的起源，使基地材料的韌性降低造成磨耗量增加。

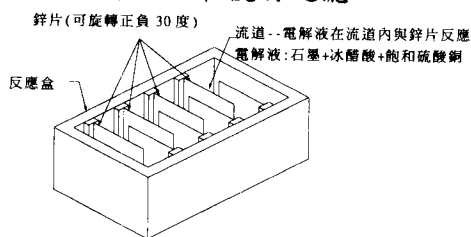
本研究係利用自行設計之無電解電鍍方法，將石墨顆粒表面給予形成均勻銅鍍層，再利用 A356.2 鋁湯與石墨顆粒包覆後，給予熱鍛壓成型。

三、研究方法及結果與討論

研究方法

3.1 石墨顆粒表面之鍍銅製程

石墨表面鍍銅方法是先將適量石墨顆粒浸入丙酮(Acetone)溶液中，利用超音波振盪機(Branson2210, 頻率 47kHz)洗浸兩次後，置於 $200 \pm 3^\circ\text{C}$ 空氣爐中給予烘乾，將蒸餾水和 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 均勻混合成一硫酸銅溶液，再添加冰醋酸(glacial acetic acid)作為潤濕劑，使之均勻混合後得到電解液，接著將石墨顆粒加入電解液，並給予輕微攪拌使石墨顆粒均勻分佈於電解液中，接著將電解液導入圖一之無電解電鍍銅反應盒內，旋轉反應盒使電解液在反應盒內之流道流動，當電解液流到鋅板會即時與石墨顆粒產生碰撞及產生置換反應，使銅鍍在石墨表面，由於反應盒之鋅板與石墨顆粒碰撞機率增加，可使銅均勻鍍在石墨顆粒表面直到反應結束為止，結束後將電解液置於過濾系統中，以蒸餾水加以過濾數次，使 SO_4^{2-} 與 Zn^{+2} 等離子能隨著蒸餾水過濾排出，最後將過濾



圖一 無電解電鍍銅之反應盒示意圖

的石墨置於 $400 \pm 3^\circ\text{C}$ 空氣爐中烘乾。另外，為了確定 SO_4^{2-} 與 Zn^{+2} 離子是否已完全除去，可於過濾排出的水溶液滴入 Ba^{+2} ，若產生白色 BaSO_4 之沈降，表示有 SO_4^{2-} 離子存在，須再次清洗乾淨，直到沒有白色沈降析出。如此表面處理目的係要增加石墨顆粒與鋁合金基材之界面鍵結，實驗中指出若 SO_4^{2-} 不消除乾淨則會有黃色的反應物產生於基材中。

3.2 A356.2 Al/Gr_(p) 複合材料之熔煉鑄造

首先將 A356.2 鋁合金置於熔煉設備中之石墨坩堝內，加熱至 700°C 給予完全熔融，再加入除渣劑給予除渣，在氬氣保護下移入攪拌及加料系統於坩堝之適當位置，坩堝內之乾燥氬氣將爐內空氣趨出以形成保護氣氛，將爐溫降至 560°C ，使鋁熔湯呈半固液態，此時將預熱 500°C 之 $15 \mu\text{m}$ 石墨顆粒加入熔湯中，並啟動攪拌軸旋轉使其混煉均勻，待混煉之複合材料形成泥漿狀態後。移出攪拌及加料系統，立即將鋁泥漿置於預熱至 500°C 之金屬模中給予熱鍛壓鑄造。所得 A356.2 鋁合金母材及 A356.2 鋁合金/2wt%、4wt%、6wt%、8wt% 石墨顆粒型複合材料鑄件放入 380°C 空氣爐中作 4 小時之均質化處理，以減少材料在凝固過程中所產生之偏析組織。

3.3 顯微結構觀察

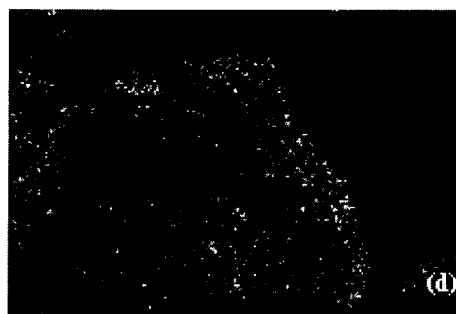
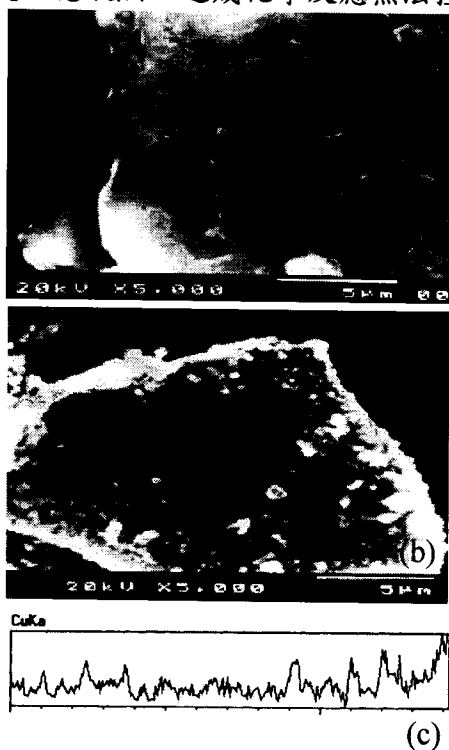
使用 JEOL-JSM-5400 SEM 觀察石墨顆粒未鍍銅前及鍍銅後之表面型態，並用 EDS 分析石墨顆粒表面之銅元素 Line-profile 及 mapping。

使用 Nikon OM 觀察石墨顆粒在鋁合金之基地分佈情形。

結果與討論

3.4 石墨顆粒

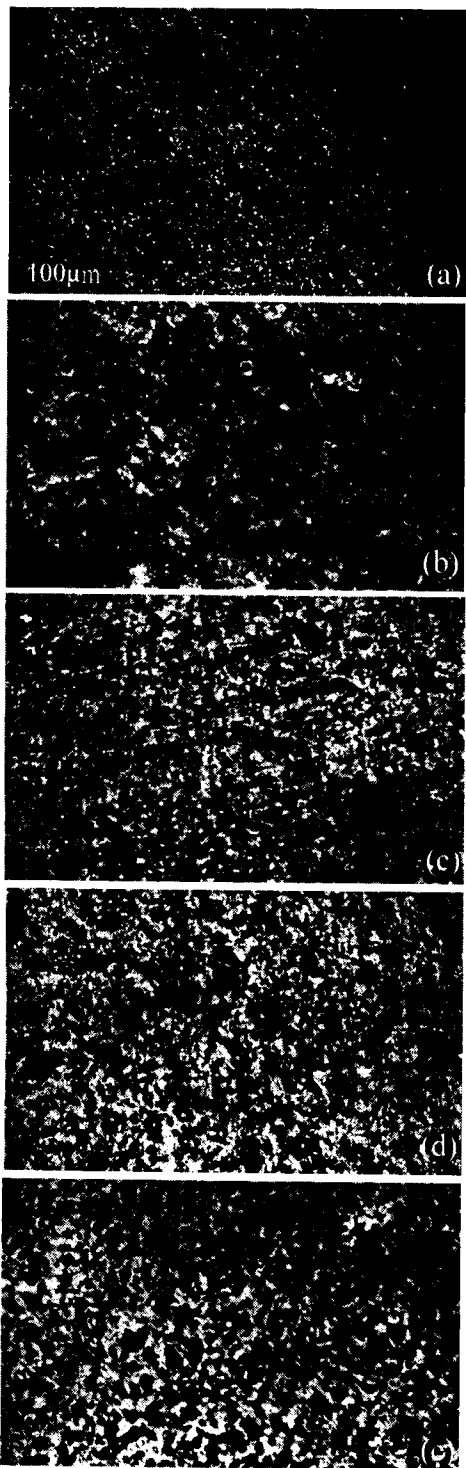
圖二(a)及(b)分別為石墨顆粒表面鍍銅前後之 SEM 照片，由圖中發現未鍍銅前之石墨顆粒表面為較平整之結晶面，經水合過程後石墨顆粒表面則披覆一層反應生成物。圖二(c)為鍍銅後石墨顆粒表面的 EDS 分析，圖二(d)則為 Mapping 分析，經由這兩種分析發現，此反應生成物為銅元素且均勻分佈在石墨顆粒表面。銅分佈在石墨顆粒表面之均勻性較先前製程[10]佳，其原因係先前之製程將石墨持續攪拌來促使反應，且是利用鋅粉來參與反應；然而攪拌過程會使石墨發生層狀剝離，使石墨不易平均鍍上銅，且攪拌所產生離心力會使石墨分佈在溶液外緣，而導致石墨表面鍍銅反應的碰撞機率降低，加上鋅粉的反應速率太快而使銅析出的置換反應在與石墨接觸前即產生。而本研究之石墨鍍銅製程則針對以上缺點加以改良，係利用反應盒內的鋅板流道來增加石墨和鋅板的碰撞機率，使石墨有較多機會鍍上銅，且可避免持續攪拌使石墨發生層狀剝離和離心力問題，另外鋅板可使置換反應較和緩且穩定持續的狀態進行，而不似於鋅粉加入後反應激烈，造成化學反應無法控制。



圖二(a)及(b)為石墨顆粒表面鍍銅前後之 SEM 照片，鍍銅後石墨顆粒表面的(C)EDS 分析及 (d)Mapping 分析。

3.5 石墨顆粒在基地分佈情形

由圖三可發現，利用本實驗的熔煉方法，可有效地將石墨顆粒均勻分佈在 A356.2 鋁合金基地。本研究利用自行設計之熔煉設備及製程已成功地將 $15\mu\text{m}$ 之鍍銅石墨顆粒直接加入鋁熔湯中。由於鍍過銅的石墨接觸角降低，相較於未鍍銅的狀況下更容易與鋁熔湯鍵結，形成鋁熔湯與石墨相互混合之半固液態狀，在熱鍛壓過程，存在的鋁熔湯會因為受壓應力，以毛細現象滲透到石墨顆粒間。但是在相同熔煉條件下使用本製程設備，無法將未進行表面鍍銅處理之石墨顆粒直接加入鋁熔湯中，這是由於石墨顆粒比重較鋁合金輕且與鋁熔湯之間的潤濕性不良，接觸角較大，造成加入的石墨顆粒浮至熔湯表面。由此可知，本實驗對石墨顆粒表面作鍍銅處理可增加其界面之潤濕性，並改善石墨顆粒表面與鋁熔湯之間潤濕不良的問題。由於本實驗添加的石墨顆粒其平均粒度 $15\mu\text{m}$ ，在加料過程中容易產生聚集(cluster)現象；同時，在高黏滯性的半固液態鋁熔湯(slurry)的工作環境下，不易使已結團的石墨顆粒均勻分散。因此，利用本研究自行設計的熔煉設備及製程可將 $15\mu\text{m}$ 石墨顆粒直接加入鋁熔湯中，並均勻分散在鋁合金基地中。



圖三添加不同石墨顆粒含量之 356.2 鋁合金/石墨顆粒型複合材料之顯微結構照片 (a) 0wt% (b) 2wt% (c) 4wt% (d) 6wt% (e) 8wt%

四、計畫成果自評

本計畫已完成利用自行設計無電解電

鍍反應盒，在可量產下將 $15\mu\text{m}$ 石墨顆粒表面均勻形成銅鍍層，並利用鋁熔湯包覆方法，將鍍銅石墨顆粒均勻分佈於 A356.2 鋁合金基地。因本研究致力於石墨鍍銅之量產技術，從原先量產率 10g/hr ，發展到現在之產率為 1000g/hr ，以致使其計畫進度落後，目前磨耗試片（上試片 200 片，下試片 600 片）已完成線切割及車床加工，正準備到成大林仁輝教授實驗室做動態磨耗測試及進一步作磨耗性質分析。於後將加速完成剩餘項目。

五、參考文獻

- [1] H. M. Macklin, Automotive Industries, May (1971) pp.42-48
- [2] S. Das, S. V. Prasad and T. R. Ramachandran, Wear, Vol.133 (1989) pp.173-187
- [3] B. F. Krishnan, M. K. Surappa and P. K. Rohatgi, Journal of Materials Science, Vol.16 (1981) pp.1209-1216
- [4] P. R. Gibson, A. Jclegg and A. A. Das, Wear, Vol.95 (1984) pp.193-198
- [5] S. K. Biswas and B. N. Pramila Bai, Wear, Vol.168 (1981) pp.347-358
- [6] Y. Liu, P. K. Rohatgi and S. Ray, Metallurgical Transactions A, Vol.24A (1993) pp.151-159
- [7] P. K. Rohatgi and S. V. Prasad, Journal of Metals, Nov. (1987) pp.22-26
- [8] B. C. Pai and P. K. Rohatgi, Materials Science and Engineering, Vol.21 (1975) pp.161-167
- [9] A. K. Jha, S. V. Prasad and G. S. Upadhyaya, Wear, Vol.133 (1989) pp.163-172
- [10] C. B. Lin, R. J. Chang and W. P. Weng, Wear, Vol.217 (1998) pp.167-174
Vol.30 (1995) pp.1903-1911