

6061鋁基複合材料在NaCl溶液磨耗腐蝕之研究

The Study of Corrosion Wear of 6061 Al/Al₂O₃ Metal Matrix Composites in NaCl Solution

計畫編號：NSC 83-0405-E-002-015

執行期限：82/8/01-83/7/31

主持人：陳立業 臺灣大學材料所教授

一、中文摘要

(關鍵詞：磨耗腐蝕；鋁基複合材料)

本研究最主要目的在於探討氯離子對於Al/Al₂O₃複合材料磨耗行為之影響。本實驗乃利用塊環式(block-on-ring type)之磨耗試驗機於3.5 wt% NaCl溶液及去離子水環境下，針對垂直負荷3.95N及90rev/min轉速之Al/Al₂O₃試片進行磨耗試驗。而Al/Al₂O₃試片有下面各種不同熱處理：(1)underaged (530°C ; 2hrs)，(2)T₆ (aged at 160°C ; 18hrs)，(3)overaged (aged at 160°C ; 120hrs)。由實驗之結果可知，上述二者測試環境重量損失都非常小，但在3.5wt% NaCl溶液之損失量較去離子水為大。若以不同熱度條件處理在3.5wt% NaCl溶液下之磨耗腐蝕速率比較為：underaged > overaged > T₆ 處理。可見Al/Al₂O₃複合材料磨耗腐蝕機構，可視為Al/Al₂O₃在底材(Al)中剝落，因局部缺陷而造成腐蝕粒子堆積所致。

英文摘要

(keywords: corrosion wear; Aluminium metal matrix composite)

The main objective of this work is to study the effect of chloride ion on the wear behaviour of Al/Al₂O₃ composites. Corrosion-wear test of Al alloy 6061/Al₂O₃ metal matrix composites (MMCs) has been performed in a 3.5% NaCl solution at room temperature. The specimens were tested with a modified block-on-disc type machine, with a normal loading of 3.95 newtons and rotation speed of 90 rev/min. Three sets of specimens with different heat treatments were prepared. The heat treatments were: as-solutionized (530°C for 2 hours), T₆ (aged at 160°C for 18hours), and overaged (aged at 160°C for 120 hours). After different periods of wearing test, the weight loss of each specimens was measured. The weight loss caused by the action of corrosion alone was very small. The weight loss of all specimens tested in the 3.5% solution was greater than that in the distilled water. The order of increasing wear resistance in the distilled water was: as-solutionized, overaged, and T₆ condition. However, in the 3.5% NaCl solution the overaged specimen was

found to suffer severe corrosion wear damage, and the one after T_6 treatment was still the best amongst the three. It was found that the Al_2O_3/Al interface was corroded in the 3.5% NaCl solution, this caused the pull out of Al_2O_3 and obviously deteriorated the wear resistance of the MMCs.

二、計劃緣由與目的

金屬基複合材料(Metal Matrix Composites; MMCs)主要是以重量輕、富延展性之金屬，例如鋁、鎂、鈦、銅等為基材，添加高強度，高彈性模數之強化相，如碳化矽(SiC)，氧化鋁(Al_2O_3)，碳化硼(B_4C)等。金屬基複合材料的種類可依強化相依型態不同，而分為顆粒(particulates)、鬚晶(whiskers)、連續性纖維(continuous fibers)與不連續性纖維(discontinuous fibers)強化型金屬基複合材料。金屬基複合材料會因為強化相的添加而比原金屬材料具備更優異特性[1-8]，包括：高比強度(specific strength)，高比勁度(Specific stiffness)，耐磨耗性(Wear resistance)以及高溫強度。由於金屬基複合材料具備優異的機械性能，因此在高科技的航太、國防及低價位的汽車工業上都被廣泛使用。

雖然MMCs的機械性質比原金屬材料好，但是以腐蝕的觀點來看，添加的強化相會增加材料的不均勻度(heterogeneities)，對材料的耐蝕性會造成負面的影響，因此了解MMCs的腐蝕行為，進而尋求防蝕方法，以提高MMCs的實用性是相當重要的，本部份的研究是以浸泡實驗來探討6061鋁基複合材料(Aluminum Matrix Composites; AMC)在幾種腐蝕環境的腐蝕行為。

AMCs會因添加的強化相而大大提高原母材的耐磨特性，這是因為強化相在磨耗過程中提供了阻擋效果，因此AMCs被認為是相當有潛力的軸承材料(bearing materials)。一般來說，較硬的

材料其磨耗性較佳，對於析出硬化型鋁合金複合材料，可藉由時效處理提高硬度以增加其耐磨耗性，許多學者[9-11]也指出尖端時效(peak-aged)以及過時效(over-aged) AMC的耐磨耗性比固溶處理(as-solutionized) AMC的耐磨耗性佳。然而對於軸承材料，其耐蝕性是一個相當重要的問題。Okorfor[12]指出時效過程中形成的析出物，雖然可增加硬度，但同時也會增加材料內部的不均勻度，而使材料耐蝕性變差。因此經過不同熱處理後的AMCs，在腐蝕環境下的腐蝕磨耗行為是一個值得探討的問題。

三、研究方法及成果

(1)實驗方法

整個實驗實流程如圖1所示，以下分別予以詳述。

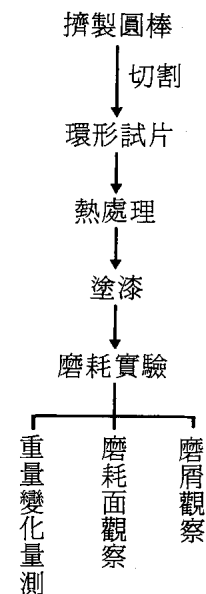


圖1 磨耗腐蝕試驗流程圖

(2)試片製作

本研究所使用的材料與浸泡實驗的材料相同。將擠製的圓柱棒加工成厚度為0.8cm的環形(ring shape)試片，其內徑為1.3cm、外徑為3cm，如圖2所示。為了探討時效熱處理腐蝕磨耗的影響。將環形試片分別施以固溶處理(530°C

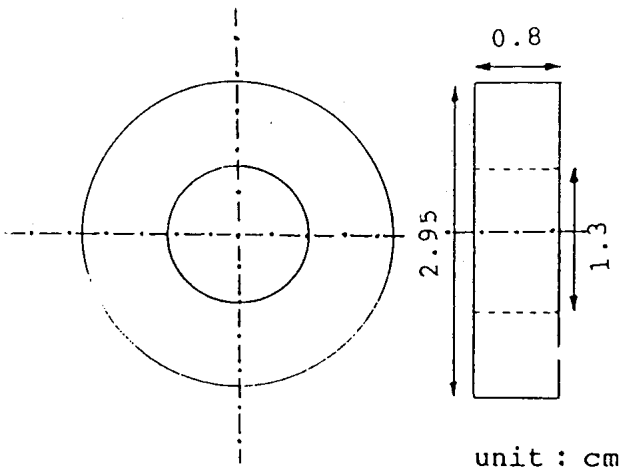


圖 2 磨耗試片之示意圖

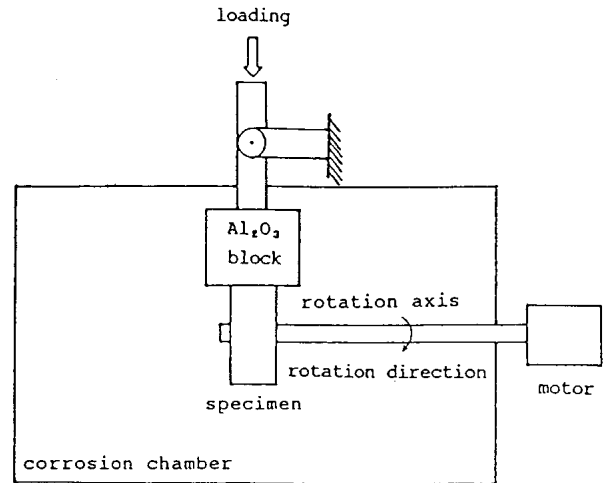


圖 3 磨耗測試機之示意圖

for 2 hrs)、尖端時效處理(aging at 160°C for 18 hrs)及過時效處理(aging at 160°C for 120 hrs)。在腐蝕磨耗實驗過程中，因為整個試片皆會浸入鹽水內，因此除了磨面外，試片其餘部份塗以透明漆隔絕腐蝕環境，以避免因腐蝕造成額外的重量損失。

(3)腐蝕液配製

本實驗所使用的腐蝕液是由蒸餾水與試藥一級氯化鈉配製而成的3.5%鹽水。

(4)腐蝕磨耗實驗

本實驗採用改良的ring-on-block型磨耗測試機進行腐蝕磨耗實驗。圖 3 為磨耗測試機的示意圖，磨耗測試機主要是靠馬達驅動中心軸旋轉，並配置了腐蝕槽來裝腐蝕液。為了避免試片與磨塊在腐蝕液中接觸所造成的伽凡尼腐蝕，本實驗選用2.6×2.6×2.1(cm³) Al₂O₃塊當磨塊。本實驗是將試片用螺帽固定在中心軸，在荷重3.95N及轉速90 rev/min下進行，在實驗正式進行前，磨塊先在蒸餾水中磨試片大約30分鐘，以確定試片與磨塊完全接觸。當試片與磨塊完全接觸後，在3.5%鹽水及蒸餾水中進行磨耗實驗100小時，每

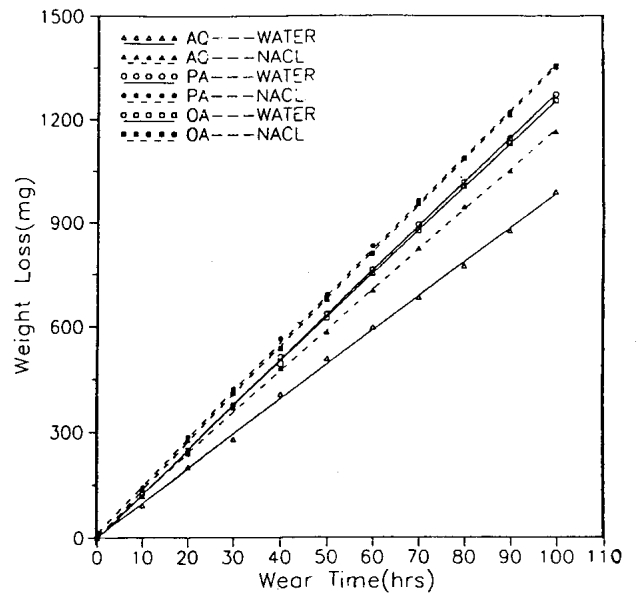


圖 4 鋁合金在蒸餾水及鹽水磨耗之重量變化

隔10個小時，將試片自中心軸取下，清洗乾淨、吹乾、量取重量變化。

(5)磨耗面觀察

為了了解磨耗機構，磨耗實驗進行100小時後，以SEM觀察磨耗面觀察。

圖 4 為AMCs在蒸餾水及3.5%鹽水磨耗的重量變化，在蒸餾水中的磨耗的重量損失與磨耗時

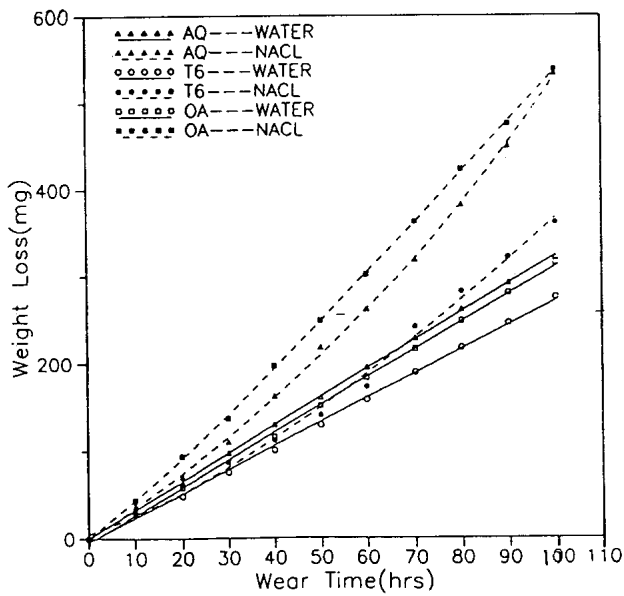


圖 5 SMCs在蒸餾水及鹽水磨耗之重量變化

間成正比，其中以尖端時效的試片重量損失最小，其次為過時效試片及固溶處理試片。和三者硬度的次序相反，尖端時效、過時效及固溶處理試片的硬度分別為Hv124、Hv102及Hv69，這種耐磨性和硬度的關係與許多學者的研究報告相同。三種不同熱處理的AMCs在蒸餾水中磨耗100小時後的磨耗面，與鋁合金的磨耗面相同，在磨耗面上有溝槽、塑性變形區及裂紋，但溝槽較鋁合金淺，且因強化相存在，使得其塑性變形區不會像鋁合金的塑性變形區被拉的那麼長。裂紋在AMCs的磨耗過程扮演了重要的角色。AMCs在鹽水中的重量損失比在蒸餾水多，且會隨磨耗時間而有加速的現象。以下提出兩個可能的機構。第一、強化相因為伽凡尼腐蝕而與基地失去鍵結，所以在磨耗過程中較容易被拉出(pull-out)，很明顯地，強化相的掉落會使得AMCs的耐磨耗性變差。第二、因為腐蝕及磨耗共同作用下，使得裂紋容易成長及互相連接而造成磨耗量會隨磨耗時間加速的現象。

在三種熱處理的試片中，以尖端時效試片在鹽水中耐磨耗性最好，這可能是因為在三種熱處

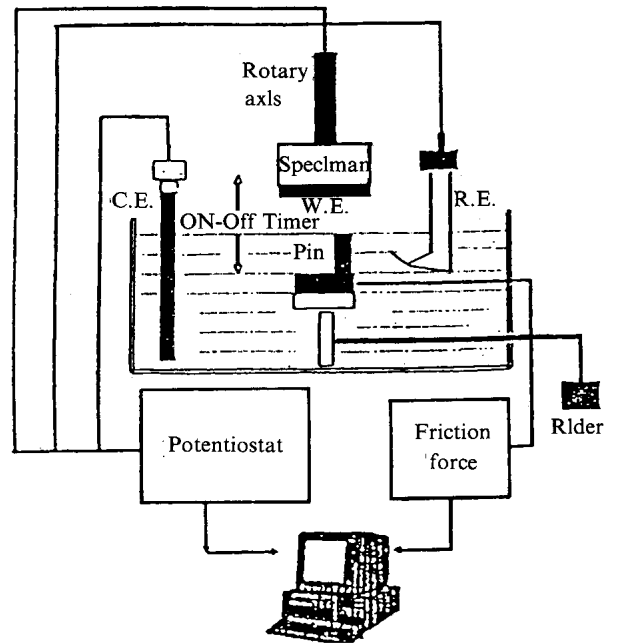


圖 6 改良型磨耗腐蝕試驗機

理的試片中，尖端時效試片的硬度最高及其不差的耐蝕性所致。圖 5 是三種不同熱處理的鋁合金及AMCs在蒸餾水及鹽水磨耗100小時的重量損失。

四、結論與討論

針對6061鋁合金及其複合材料在蒸餾水及3.5%鹽水中磨耗100小時的實驗中可得到以下結論：

1. AMCs試片在蒸餾水的耐磨耗性與試片的硬度有關，尖端時效試片的硬度最高且耐磨耗性也最好，其次為過時效試片及固溶處理試片。
2. AMCs試片在鹽水的耐磨耗性亦是以尖端時效的試片最好。而過時效試片因其耐蝕性最差，所以即使硬度比固溶處理試片高，其耐腐蝕磨耗性還是比固溶處理試片差。

五、未來研究計劃

依據上述實驗結果，乃針對腐蝕磨試驗機作修正（如圖 6 所示）。希望藉由電化學量測技

術，探討不同參數下（例如：負荷，轉速，pH值及 Al_2O_3 含量…）電位—電流變化情形以進一步推測鋁基複合材料之破壞機構。

參考資料

1. Y. Flom and R.J. Arseault, J. of Metal, 7(1987)45.
2. A.P. Devicha, S.G. Fishman and S.D. Karmarkar, J. of Metal, 9(1981)12.
3. D.L. McDanel, Met. Trans. A, 16A(1985)1005.
4. V.C. Nardone and K.M. Prewo, ScriptaMet., 20(1986)45.
5. R.J. Lederrich and S.M.L. Sastry, Mat. Sci. and Eng., 55(1982)143.
6. Y.M. Pan, M.E. Fine and H.S. Cheng, Scripta Met., 24(1990)1341.
7. S.V. Prasad and P.K. Rohatgi, J. Met., 39(1987)22.
8. A.K. Jha, S.V. Prasad and G.S. Vpadhyaya, Wear, 133(1989)163.
9. H.L. Lee, W.H. Lu and S.L.I. Chan, Wear, 159(1992)223.
10. S.J. Lin and K.S. Liu, Wear, 129(1988)1.
11. Ma Zongyi, Bi Jing, Lu Yuxiong, Shen Hongwei and Gao Yinxuan, Wear, 148(1991)287.
12. O.E. Okorafor, Corrosion Prevention & Control, December 1991, p.141.