

# 標題：船艦鋁合金結構材料敏化問題

屬性：技術

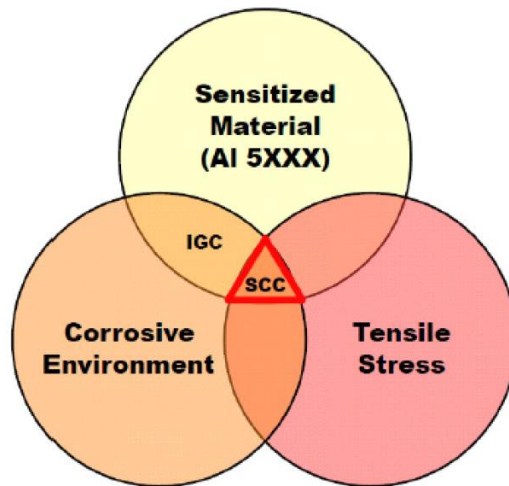
期別：第 313 期

資料來源：

<http://corrosionjournal.org/doi/abs/10.5006/1916?code=nace-prem-site>

美國海軍對於體型小而速度快的船艦之需求，導致使用鋁合金材料的需求持續增長，在某些等級船艦中鋁合金材料廣泛應用於整個艦隊，例如獨立級近岸戰鬥艦（LCS, littoral combat ship）使用鋁材作為主要結構材料，尼米茲級航空母艦（CVN）使用鋁材雖然數量有限，但用於如甲板電梯之重要設備，Ticonderoga 級導彈巡洋艦(guided missile cruiser)更採用鋁材甲板室結構。其中採用鎂(magnesium)作為主要合金元素之 5xxx 系列鋁材為造船工程上最主要系列的鋁材。5xxx 系列合金能將焊後強度(as-welded)與綜合耐腐蝕性組合成最佳化之組合，產生相當優異的解決方案。

使用鋁合金結構可減輕船體重量以提高航行速度為其材料之優點，但船艦服役中鋁材的敏化(sensitization)現象必須值得特別關注，敏化是指金屬晶界因長時間暴露在高溫下而形成之含鎂 $\beta$ 相析出物，這類 $\beta$ 相析出物對周圍的鋁母材而言屬於陽極，暴露在海水環境下腐蝕環境中時，敏化材料將發生晶間腐蝕（IGC, intergranular corrosion）。若有足夠負荷時，對發生 IGC 的材料施加外部拉伸應力，將造成應力腐蝕裂縫(SCC, Stress corrosion cracking)。如下圖所示。



美國海軍十多年來備受船艙結構鋁材 SCC 問題所困擾，其中又以 Ticonderoga 級巡洋艦(CG)所受影響最大。Ticonderoga 級巡洋艦是以 Spruance 級驅逐艦的船殼做「母體」，其上有一個很大之甲板室，以方便支撐 AEGIS 戰鬥系統，它在前 20 年的服役期，船艙鋁材結構出現裂縫的原因主要是金屬疲勞，這些船艦每年會於維修時執行多次裝修以減少問題發生。但 2003 年後新出現的裂縫，顯示敏化才是鋁材 SCC 的真正原因，而非金屬疲勞。2010 年當局對全體 Ticonderoga 級船艦進行一次檢查，結果總共發現超過 3,000 條裂縫。2015 年當局又對船艦進行檢查，此次更記錄到超過 6,000 條裂縫。

由於美國海軍備受鋁材結構 SCC 問題所困擾，因此竭力發展、調整和採行可用的鋁合金敏化防治技術以解決相關問題。鋁合金敏化防治技術包括敏化部位檢測、修補/舒緩應力腐蝕裂縫和更換已腐蝕材料。

其中檢測主要方法有三種：ASTM G67 測試方法、敏化度(DoS, degree of sensitization)探針(Probe)方法、現場金屬組織學(In-situ metallography)方法；第一種為破壞性檢測法，其餘為非破壞性檢測法。

修補/舒緩應力腐蝕裂縫亦有三種維修方法：超音波錘擊(ultrasonic peening)法、複材補片(Composite Patch)法、黏合式鋁材修理(BAR, Bonded Al Repair) 法。

最後一個防治技術為更換板材，可選用鋁合金抗敏化材料

(Sensitization Resistant Materials)，主要有二種，第一種為調質度 H128 的鋁合金新材料，可讓新生產的鋁板不僅出貨時無敏化狀況，且日後的敏化速率亦能有所抑制，第二種為 Novelis 熔融合金雙層鋁，其核心主體是 5456 鋁材，外層為由為低鎂含量之包覆層，其耐腐蝕性能遠高於傳統鋁材。

過去十多年，使用 5xxx 系列鋁材的軍艦船艙結構，有關 SCC 敏化問題日益普及，但近幾年隨著鋁合金敏化防治技術的提升，問題正逐漸獲得控制，尤其是敏化材料偵測、減緩及汰換技術的進步，提供船艦預判 SCC 是否產生降低裂縫成長至整個船體之範圍。然而需要更多研發努力以徹底解決這項問題，但現有工具已足以有效減緩甚至預防 SCC 的出現，提高整個軍艦之作戰備戰水準。