

# 表面清淨度對7075鋁合金熱處理後之機械性質影響

曹啟彰、胡瑞峰

E-mail: 9314608@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本文採用航空零件常用的7075 鋁合金鍍材(alclad)和裸材 (nonclad)作為試片，模擬其在航空零件之生產過程中，在液壓成形時會沾塗液壓油，而研究清洗和未清洗之兩種狀況，在固溶及 T62 人工時效硬化熱處理後，對機械性質是否會造成異常。實驗方法採用硬度測試、抗拉強度試驗、導電值量測、沿晶腐蝕測試以及能量分散光譜儀(EDS)測試和金相顯微組織觀察。實驗結果顯示，對於電導測試值，清洗和未清洗鍍鋁與裸鋁材皆能符合品質管制文件之要求，而無明顯差異。而機械強度之實驗結果，裸 鋁與鍍鋁材之清洗和未清洗的降伏強度、抗拉強度及延伸率皆符合品質管制文件之要求。但在裸鋁材部分，清洗與未清洗會有較明顯的差異，未清洗的試片之降伏強度平均低於清洗試片約 1.5ksi，延伸率平均低於清洗試片約1%。HRE 硬度測試方面，裸鋁材清洗試片為HRE110.9 ~111.2 之間，未清洗試則為108.3~110.6 之間，未清洗者試片之硬度值平均低於清洗試片約1.1HRE。鍍鋁材清洗試片為HRE 108.6~ 109.2 之間，未清洗試片為HRE 108.2~109.1，未清洗試片之硬度值平均低於清洗試片約0.35HRE，四組試片之HRE 硬度值雖有差異，但均能符合品質管制文件要求。在沿晶腐蝕測試方面，經清洗之 裸鋁材試片腐蝕最淺為0.001"和腐蝕最深為0.002"，未清洗之裸 鋁材試片腐蝕最淺0.0013"和腐蝕最深0.0039"，而未清洗試片較 清洗試片之沿晶腐蝕深度多出0.003"~ 0.0019"。在拋光狀態下的金相，以200倍及1000倍觀察清洗或未清洗的 裸鋁材，發現內部並無高溫氧化或共晶溶解之產生。但在鍍鋁材之 外部鍍鋁層則產生氧化，以1000倍率觀察裸鋁材與鍍鋁材試片的表面，未清洗之鍍鋁材和裸鋁材的表面色澤灰暗，並產生小丘疤、起 泡、結晶粒內則出現共晶熔解相。而以EDS對熱處理後試片進行表面成份分析，結果顯示未清洗與清洗之裸鋁材和鍍鋁材表面並未發現氯和納成份之存在。綜合各實驗結果得知，未清洗液壓油之7075 鋁合金熱處理後會造成裸鋁材之機械性質降低，鍍鋁材則因外部 有7072鍍層被覆，較無明顯的差異。

關鍵詞：7075 鋁合金，固溶處理，人工時效，電導值，沿晶腐蝕

## 目錄

簽名頁 授權書.....	iii	中文摘要.....	.....
.....v 英文摘要.....	.....	vii 誌謝.....	.....
.....i 目錄.....	.....	ii 圖目錄.....	.....
..... v 表目錄.....	.....	ix 符號說明.....	.....
..... xi 第一章 前言.....	.....	1 第二章 文獻探討.....	.....
.....2.2.1 鋁合金熱處理前之清洗.....	.....	2.2.2 液壓油.....	3
2.3 鋁合金之熱處理.....	4	2.4 析出硬化熱處理的基本過程.....	6
及時效處理.....	7	2.5 固溶處理及析出硬化型鋁合金之加工及熱處理代號.....	11
2.6 析出硬化型鋁合金之加工及熱處理代號.....	11	2.7 商用析出硬化型鋁合金之特質比較.....	15
2.8 固溶處理.....	16	2.9 淬火.....	.....
2.10 自然時效.....	26	2.11 人工時效.....	.....
27 第三章 實驗方法與步驟.....	30	3.1 實驗設備.....	30
3.2 實驗方法.....	31	3.2.1 材料確認.....	31
3.2.2 試片加工與分類.....	33	3.2.3 液壓成形.....	35
3.2.4 清洗.....	35	3.2.5 熱處理.....	36
3.2.6 硬度測試.....	37	3.2.7 電導值測試.....	38
3.2.8 拉伸實驗.....	39	3.2.9 沿晶腐蝕測試.....	39
3.2.10 金相顯微觀察.....	41	3.2.11 能量散射光譜儀微成份測試.....	42
4.1 各組硬測試值.....	44	4.2 各組電導測試值.....	46
4.3 機械性質之分析.....	46	4.4 沿晶腐蝕之分析.....	61
4.5 金相顯微組織之觀察結果.....	65	4.5.1 橫斷面金相觀察.....	65
4.5.2 表面之金相觀察.....	70	4.6 EDS 成份分析.....	78
78 第五章 結論.....	83	參考文獻.....	84
84 圖目錄 圖2.1 Al-Cu合金之部份相圖.....	7	圖2.2 A1-5%Cu合金經545 1週處理後,水淬至室溫所得之顯微結構 ...	8
圖2.3 Al-5%Cu合金經545 1週處理並水淬後放置400 處理12小時所得之顯微結構.....	9	圖2.4 A1-5%Cu合金經545 處理水淬後,放置於300 處理12小時所得之顯微結構.....	9
圖2.5 GP(1), " , "及相之電子顯微鏡與明視野影像.....	10	圖2.6 A1-4%Cu合金兩種型態之時效硬化曲線,130 曲線為二段式,190 曲線為單段式,曲線變化與析出情形之關係.....	11
圖2.7 2024經過熱的固溶處理後水淬所得之結構.....	17	圖2.8 固溶之溫度對2014-T4及2014-T6薄板強度及伸長率之影響.....	.....

.....19	圖2.9 7075鋁合金淬火溫度及時間對最高時效強度之影響.....22	圖2.10 平均淬火速率對 6 種鋁合金 T6 強度之影響.....22	圖2.11 在中心冷卻速率相同下不同直徑或邊長之圓棒或方棒，所對應之平板厚度.....24
.....24	圖3.1 本實驗流程.....30	圖3.2 試片尺寸.....30	.....30
.....33	圖3.3 高溫氧化.....42	圖3.4 共晶熔解相.....42	.....42
.....42	圖4.1 7075-T62鍍鋁材液壓成型後之未清洗之沿晶腐蝕金相...61	圖4.2 7075-T62鍍鋁材液壓成型後之清洗之沿晶腐蝕金相...61	圖4.3 7075-T62裸鋁材液壓成型後和未清洗之沿晶腐蝕金相...62
.....62	圖4.4 7075-T62裸鋁材液壓成型後和有清洗之沿晶腐蝕金相...62	圖4.5 7075-T62鍍鋁材和未清洗之沿晶腐蝕金相.....63	圖4.6 7075-T62鍍鋁材和有清洗之沿晶腐蝕金相.....63
.....63	圖4.7 7075-T62裸鋁材和未清洗之沿晶腐蝕金相.....64	圖4.8 7075-T62裸鋁材和清洗之沿晶腐蝕金相.....64	圖4.9 7075-0料鍍鋁材和無沾浸液壓油之拋光金相.....65
.....65	圖4.10 7075-0料鍍鋁材和沾浸液壓油之拋光金相.....65	圖4.11 7075-0料裸鋁材和無沾浸液壓油之拋光金相.....65	圖4.12 7075-0料裸鋁材和無沾浸液壓油之金相組織.....65
.....65	圖4.13 7075-T62鍍鋁材液壓成型後未清洗之拋光金相.....66	圖4.14 7075-T62鍍鋁材液壓成型後未清洗之金相組織.....66	圖4.15 7075-T62鍍鋁材液壓成型後清洗之拋光金相.....66
.....66	圖4.16 7075-T62鍍鋁材液壓成型後清洗之金相組織.....66	圖4.17 7075-T62裸鋁材液壓成型未清洗之拋光金相.....67	圖4.18 7075-T62裸鋁材液壓成型後未清洗之金相組織.....67
.....67	圖4.19 7075-T62裸鋁材液壓成型後和有清洗之拋光金相.....67	圖4.20 7075-T62裸鋁材液壓成型後和有清洗之金相組織.....67	圖4.21 7075-T62鍍鋁材和未清洗之拋光金相.....68
.....68	圖4.22 7075-T62鍍鋁材和未清洗之金相組織.....68	圖4.23 7075-T62鍍鋁材和有清洗之拋光金相.....68	圖4.24 7075-T62鍍鋁材和有清洗之金相組織.....68
.....68	圖4.25 7075-T62裸鋁材和未清洗之拋光金相.....69	圖4.26 7075-T62裸鋁材和未清洗之金相組織.....69	圖4.27 7075-T62裸鋁材和有清洗之拋光金相.....69
.....69	圖4.28 7075-T62裸鋁材和有清洗之金相組織.....69	圖4.29 7075-O鍍鋁材和沾浸液壓油之拋光金相.....70	圖4.30 7075-O鍍鋁材和未沾浸液壓油之拋光金相.....70
.....70	圖4.31 7075-O鍍鋁材和沾浸液壓油之拋光金相.....70	圖4.32 7075-O鍍鋁材和未沾浸液壓油之拋光金相.....70	圖4.33 7075-O裸鋁材和沾浸液壓油之拋光金相.....71
.....71	圖4.34 7075-O裸鋁材和未沾浸液壓油之拋光金相.....71	圖4.35 7075-O裸鋁材和沾浸液壓油之拋光金相.....71	圖4.36 7075-O 裸鋁材和未沾浸液壓油之拋光金相.....71
.....71	圖4.37 7075-T62鍍鋁材和未清洗之拋光金相.....72	圖4.38 7075-T62鍍鋁材和清洗之拋光金相.....72	圖4.39 7075-T62鍍鋁材和未清洗之金相組織.....72
.....72	圖4.40 7075-T62鍍鋁材和清洗之金相組織.....72	圖4.41 7075-T62裸鋁材和經液壓成型後未清洗之拋光金相...73	圖4.42 7075-T62料裸鋁材和經液壓成型後清洗之拋光金相...73
.....73	圖4.43 7075-T62裸鋁材經液壓成型後未清洗之金相組織.....73	圖4.44 7075-T62料裸鋁材經液壓成型後清洗之金相組織.....73	圖4.45 7075-T62鍍鋁材和未清洗之拋光金相.....74
.....74	圖4.46 7075-T62鍍鋁材和有清洗之拋光金相.....74	圖4.47 7075-T62鍍鋁材和未清洗之金相組織.....74	圖4.48 7075-T62鍍鋁材和有清洗之金相組織.....74
.....74	圖4.49 7075-T62裸鋁材未清洗之拋光金相.....75	圖4.50 7075-T62料裸鋁材清洗之拋光金相.....75	圖4.51 7075-T62裸鋁材未清洗之金相組織.....75
.....75	圖4.52 7075-T62料裸鋁材清洗之金相組織.....75	圖4.53 鍍鋁材經液壓成型後和未清洗試片之微結構表面及分析區域.....79	圖4.54 鍍鋁材經液壓成型後和未清洗試片之微結構EDS分析...79
.....79	圖4.55 鍍鋁材和有清洗試片之微結構表面及分析區域.....80	圖4.56 鍍鋁材和有清洗試片之微結構EDS分析.....80	圖4.57 裸鋁材和未清洗試片之微結構表面及分析區域.....81
.....81	圖4.58 裸鋁材和未清洗試片之微結構EDS分析.....81	圖4.59 裸鋁材和有清洗試片之微結構表面及分析區域.....82	圖4.60 裸鋁材和有清洗試片之微結構EDS分析.....82
.....82	表目錄	表 2.1 液壓油物理化學性質.....4	表 2.2 2014、2017和2024之固溶溫度範圍及共晶溫度之比...17
.....17	表 2.3 固溶溫度對6061-T6及2024-T4強度的影響.....18	表 2.4 鍛造用鋁合金厚度與固溶處理時間之關係.....19	表 3.1 7075裸鋁成份規範.....32
.....32	表 3.2 7075鍍鋁成份規範.....32	表 3.3 7075鍍鋁材成份分析.....32	表 3.4 7075裸鋁材成份分析.....33
.....33	表 3.5 試片實驗組別與項目.....34	表 3.6 固溶化熱處理溫度.....37	表 3.7 7075鋁合金固溶化熱處理時間.....37
.....37	表 3.8 7075鋁合金T62析出硬化溫度.....37	表 3.9 7075鋁合金電導值和硬度值之規範.....38	表 3.10 7075鍍鋁材合金機械性質.....39
.....39	表 3.11 7075裸鋁材機械性質.....39	表 3.12 Keller's reagent.....42	表 4.1 鍍鋁沾油液壓成型後之未清洗和有清洗的硬度.....44
.....42	表 4.2 裸鋁材液壓成型後之未清洗和有清洗的硬度.....45	表 4.3 鍍鋁材沾油未液壓成型之未清洗和有清洗硬度.....45	表 4.4 裸鋁材沾油未液壓成型之未清洗和有清洗硬度.....46
.....46	表 4.5 鍍鋁沾油液壓成型後未清洗和有清洗電導值.....47	表 4.6 裸鋁材沾油液壓成型後之未清洗和有清洗電導值.....47	表 4.7 鍍鋁材沾油未液壓成型之未清洗和有清洗電導值.....48
.....48	表 4.8 裸鋁材沾油未液壓成型之未清洗和有清洗電導值.....49	表 4.9 鍍鋁材沾油液壓成型後有清洗和未清洗之機械性質.....50	表 4.10 裸鋁材沾油液壓成型後有清洗和未清洗之機械性質.....51
.....51	表 4.11 鍍鋁材沾油未液壓成型有清洗和未清洗之機械性質.....51	表 4.12 裸鋁材沾油未液壓成型有清洗和未清洗之機械性質.....52	表 4.13 固溶化爐之校溫報告.....55
.....55	表 4.14 人工時效爐之校溫報告.....56	表 4.15 固溶化爐之爐溫校驗佈線點.....57	表 4.16 人工時效爐之爐溫校驗佈線.....58
.....58	表 4.17 固溶溫度和時間紀錄.....58		

.....59 表 4.18 人工時效溫度和時間紀錄.....60 表 4.19 鍍鋁材經液壓  
 後未清洗和有清洗之沿晶腐蝕深度值.....61 表 4.20 裸鋁材經液壓後未清洗和有清洗之沿晶腐蝕深度值.....62 表 4.21 鍍鋁材  
 未清洗和清洗之沿晶腐蝕深度值.....63 表 4.22 裸鋁材未清洗和清洗之沿晶腐蝕深度值.....64

## 參考文獻

- [1] 楊智超, "鋁及鋁合金熱處理", 工業材料研究所, pp. 1-45, (1991) [2] 林西音, "金屬電鍍學", 五洲出版社, p. 56, (1997) [3] 業務推廣部, "潤滑油脂採購指南", 中國石油公司, p. 17, (2003) [4] 劉國雄, 葉均蔚, "高強力鋁合金之熱處理-析出硬化", 工業技術研究院工業材料研究所, pp. 1-21, (1994) [5] John E. Hatch, "Aluminum Properties and Physical Metallurgy", American Society for Metals, pp. 97-82 and pp. 90-94, (1984) [6] 劉增豐、林樹均、葉均蔚、李勝隆, "材料工程實驗與原理", 先登出版社, pp. 121-137, (1983) [7] Planning Committee, AMS-QQ-A-250/12, "Aluminum Alloy 7075 Plate and Sheet", Aerospace Material Specification, -p. 2, (2001) [8] Planning Committee, AMS-QQ-A-250/13, "Aluminum Alloy -Alclad 7075 Plate and Sheet", Aerospace Material Specification, P. 2, (2001) [9] Planning Committee, Boeing DPS7.00-1, "Aluminum Heat -Treatment", Boeing Aerospace, pp. 7-15, (1998) [10] C.P. Yuan, Boeing Dps1.05-3, "Hardness Value for Aluminum -Alloy", Boeing Aerospace, p. 9, (2004) [11] Planning Committee, Bombardier Bats2525, "Susceptibility to Intergranular Corrosion of Aluminum Alloys -Evaluation by Microexamination", Bombardier Aerospace, p.7, (2001) [12] Planning Committee, Bombardier BATS2520, "Hydrogen -Porosity of Heat Treated Aluminum Alloys Evaluation by -Microexamination BATS", Bombardier Aerospace, p.8, (2002) [13] Planning Committee, Bombardier BATS 2521, "Eutectic -Melting of Heat Treated Aluminum Alloys Evaluation -by Microexamination", Bombardier Aerospace, p. 7, (2002) [14] Planning Committee, Metals Handbook, Volume 9, "Metallography -and Microstructures", American Society for Metals, -pp. 354 and pp. 368- 372, (1985) [15] Planning Committee, Metals Handbook, Volume 4, "Heat -Treatment", American Society for Metals, pp. 681-716, (1982) [16] 總編委員會, 航空製造工程手冊, "熱處理", 北京航空工業出版社, pp. 225-228, (1993) [17] Planning Committee, Boeing DPS9.341, "Vapor Degreasing", -Boeing Aerospace, pp. 1-7, (2001) [18] Planning Committee, Boeing DPS7.00-4, "Aluminum Heat -Treatment Test", Boeing Aerospace, pp. 1-6, (1998) [19] 內部訓練教材編輯委員會, "Theory and Methods of Color -Metallography", 羽田機械公司, pp. 32-33 和 PP. 94, (1992) [20] 楊智超, "鋁合金相組織分析", 工業材料研究所, pp. 17-18, (1991) [21] 林金鑫, "鋁合金熱處理探討", 航空工業發展中心, pp. 28-30, (1994) [22] 彭如清、洮良均, "鋁及鋁合金材料手冊", 北京科學出版社, pp. 256-261, (1994) [23] 編輯委員會, "金屬熱處理技術便覽", 日刊工業新聞社, pp.699, (1994) [24] Planning Committee, "Source Book on Materials Selection", -Volume , American Society for Metals, pp. 121, (1977) [25] 陳力俊, "材料電子顯微鏡學", 國科會精儀中心, pp.310-318, (1994)