

化学铣切对6A02薄铝板性能的影响

周训伟 巢昂轩 黄向群 郭楠

(昌河飞机工业(集团)有限责任公司,景德镇 333002)

文 摘 6A02 铝合金薄板在直升机上应用较广泛,有时需进行化铣。通过采用尺寸测量、拉伸性能检测、金相分析等手段,研究了化铣对6A02 铝合金薄板厚度、表面质量、力学性能和显微组织影响。结果表明,化铣可将薄板厚度铣削变薄;溶液中的 Na_2S 与三乙醇胺共同作用,可降低合金元素与Al形成的电偶腐蚀作用,使薄板表面质量改善;合金析出相的电化学性质与基体无明显差异,不会引起合金晶间腐蚀缺陷,对薄板的力学性能和显微组织无明显影响。可采用化铣对6A02薄铝板进行加工。

关键词 化铣,铝合金,薄板,性能

中图分类号: TG175

DOI: 10.12044/j.issn.1007-2330.2021.01.017

Effect of Chemical Milling on the Properties of 6A02 Thin Aluminum Sheet

ZHOU Xunwei CHAO Bingxuan HUANG Xiangqun GUO Nan

(Changhe Aircraft Industry (Group) Co., Ltd., Jingdezhen 333002)

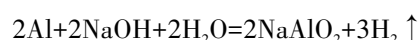
Abstract 6A02 aluminum alloy sheet was widely used in helicopter, sometimes milling need to be carried out. By means of dimension measurement, tensile property detection and metallographic analysis, the influence of chemical milling on the thickness, surface quality, mechanical properties and microstructure of 6A02 aluminum alloy sheet was studied. The results show that chemical milling can thin the thickness of aluminum sheet. The combined effect of Na_2S and triethanolamine in the solution can reduce the galvanic corrosion effect of alloy elements and Al, and the surface quality of the thin plate is improved. The electrochemical properties of the precipitated phase of the alloy are not significantly different from the matrix, and will not cause intergranular corrosion defects of the alloy, and have no obvious effect on the mechanical properties and microstructure of the sheet. 6A02 thin aluminum sheet can be processed by chemical milling.

Key words Chemical milling, Aluminum alloy, Sheet, Properties

0 引言

铝合金由于具有密度低、耐低温、较好导热性和耐腐蚀性等特性。同时,由于装备结构轻量化的要求,铝合金已经逐渐代替了传统的钢铁,被广泛应用于航空、航天、武器装备、汽车等行业^[1-4]。

化学铣切,简称化铣,也被称为化学加工、湿腐蚀等,指的是将金属材料需要加工的部位暴露于化学介质(铝合金化学铣切主要采用氢氧化钠溶液)中进行腐蚀,从而获得零件所需的形状和尺寸的一种加工方法,属于特种加工工艺^[5-7]。铝合金化学铣切已在航空航天工业的零件成形过程中广泛使用,尤其是在加工飞机蒙皮等成型的板材零件时,要比用传统的机械加工方法可靠、有效,且不会产生任何加工应力^[8]。其涉及的主要化学反应有:



6A02合金属于铝-镁-硅系合金,是可热处理强化铝合金,具有中等强度和良好的塑性,生产过程中常将其处理至T62态,也是耐腐蚀性较好的一种结构材料,常用于制造飞机蒙皮等^[9-10]。6A02的铝合金薄板在直升机上较广泛应用,在生产过程中有时需要用化铣对其进行加工。许多研究者对6A02铝合金开展了相关研究,其中部分研究者^[11-14]开展了热处理工艺对6A02铝合金性能影响的研究,李旭东、郝文魁等^[15-16]对6A02铝合金的腐蚀行为进行了研究,邢玮等^[17]对6A02铝合金疲劳微裂纹的扩展进行了研究。而对于6A02铝合金化学铣切相关的研究相对较少。本文开展化学铣切对6A02铝合金薄板

收稿日期:2020-03-17

第一作者简介:周训伟,1990年出生,工程师,主要从事航空有色金属材料的研究工作。E-mail: xunweizhou@163.com

厚度、表面质量、力学性能和显微组织影响的研究。

1 原材料性能及实验方法

1.1 原材料性能

选用6A02-O薄铝板进行化铣试验,其化学成分如表1所示。该板材试样的化学成分均符合标准要求,其余各项性能也均合格。板材试样无内应力,在化铣或后续成型过程中无应力释放。化铣试验用薄铝板试样的具体信息见表2。

表1 原料实测化学成分

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
1.18	0.18	0.26	0.23	0.68	0.05	0.03	余量

表2 化铣试验用薄铝板的要求

编号	供货状态	试样状态	规格/mm	厚度/mm	数量
B	O	O	200×100×2.5	2.5	5件
C	O	T62	200×100×2.5	2.5	5件

1.2 实验方法

1.2.1 化学铣切工艺

化铣在表面处理生产线上进行,其工艺流程为:预除油→化学除油→水洗→硝酸出光→水洗→碱清洗→水洗→硝酸出光→水洗→干燥→涂保护胶→刻型→化学铣切→水洗→硝酸出光→水洗→去保护胶。

铝合金化铣槽液及工艺参数:①槽液组成:NaOH 120~195 g/L, NaS₂ 11~26 g/L, 三乙醇胺 30~60 g/L, Al³⁺ 19~75 g/L, 水(C类:Cl⁻≤1.5×10⁻⁴);②腐蚀速度0.03~0.05 mm/min;③铣切温度:温度99~104℃。

1.2.2 化铣实验方案

化学铣切前,将6A02-O(C1~C5)送去进行热处理至T62态,之后分别选取6A02(B1~B3)和6A02(C1~C3)进行双面化学铣削试验,化学铣切后的厚度要求均为2.0 mm。化学铣切结束后,将经化铣的薄铝板材料6A02(B1~B3)、6A02(C1~C3)及未化铣的6A02(B4~B5)、6A02(C4~C5)薄铝板材料进行理化检测,具体检测项目分别为:B1、C1检测显微组织,B2~B5、C2~C5检测抗拉强度和伸长率。

1.2.3 性能分析

拉伸性能采用Instron1342电液伺服万能试验机,测试方法按照GB/T228.1—2010《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》进行。试样经切割、研磨抛光及腐蚀处理后,采用XJP-4XB显微镜观察

其金相组织,测试方法依据GB/T3246.1—2012《变形铝及铝合金制品显微组织检验方法》进行。

2 结果与讨论

2.1 化铣对6A02薄板厚度尺寸的影响

选取薄铝板材料6A02-B-δ2.5 mm、6A02-C-δ2.5 mm进行化学铣切,化铣后的厚度要求为2.0 mm。化铣前后,在每块铝板的四周边缘分别选取两点进行厚度检测,具体情况见图1。由其可知,6A02-B、6A02-C铝板化铣前的厚度均为负偏差,且均在对应公差范围内,符合GJB2053—1994要求。经化铣后,材料厚度均为(2.0±0.08) mm,厚度偏差符合HB7786—2005中的公差要求。因此,化铣可将6A02-O、6A02-T62厚度减薄至规定尺寸。

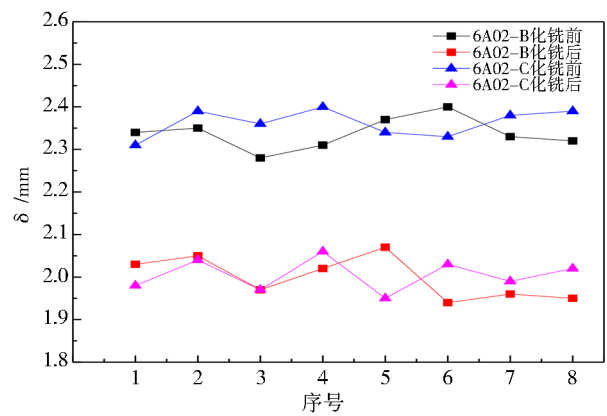


图1 6A02-B-δ2.5 mm、6A02-C-δ2.5 mm化铣前后厚度
Fig. 1 The thickness of 6A02-B-δ2.5 mm, 6A02-C-δ2.5 mm before and after milling

2.2 化铣对6A02薄板表面质量的影响

铝合金材料6A02-B、6A02-C化铣前后的表面质量见图2。



图2 6A02-B、6A02-C化铣前后表面质量
Fig. 2 The surface quality of 6A02-B, 6A02-C before and after chemical milling

由图2可知,6A02-B、6A02-C表面化铣前均存在较小划伤、凹坑等,而经化铣后,6A02-B、6A02-C表面呈金属光泽,表面粗糙度明显降低。这是因为化铣溶液中加入添加剂NaS₂和三乙醇胺。NaS₂中的S易于与合金元素Zn、Cu等元素结合,可降低Zn、Cu等合金元素与Al形成的电偶腐蚀作用,铝的腐蚀起到主导作用,从而降低表面粗糙度;而三乙醇胺是

一种高效的螯合剂和表面活性剂。作为螯合剂,可螯合重金属 Zn、Cu 等合金元素,降低 S 的消耗。而作为表面活性剂,可以使附着在化铣试样表面上的沉淀迅速脱离,从而增大 S 与试样表面接触面积,进而降低电偶腐蚀作用,提升试样表面质量。因此,化铣能使 6A02-B、6A02-C 表面质量得到改善。

2.3 化铣对 6A02 薄板力学性能的影响

铝合金材料 6A02 的铝含量达到 90% 以上,材料退火态(O 态)抗拉强度低、伸长率高。化铣前后,对 6A02-B、6A02-C 的铝板进行抗拉强度和伸长率检测,结果如表 3 所示。

表 3 6A02-O-B、6A02-T62-C 化铣前后的力学性能
Tab. 3 The mechanical properties of 6A02-O-B, 6A02-T62-C before and after chemical milling

编号	6A02-O		编号	6A02-T62	
	抗拉强度/MPa	伸长率/%		抗拉强度/MPa	伸长率/%
B-2	114	34.3	C-2	329	18.6
B-3	113	37.4	C-3	332	17.4
B-4	114	39.2	C-4	330	17.8
B-5	113	39.2	C-5	332	18.5
GJB 2053-1994	≤145	≥20	GJB 2053-1994	≥295	≥10

由表 3 可知,6A02-O 化铣后 B-2、B-3 与未化铣 B-4、B-5 相比,抗拉强度基本无变化,延伸率稍有下降,但仍明显高于材料技术标准 GJB2053-1994 的要求;对于 6A02-T62 C-2~C-5,对比经过化铣的 C-2、C-3 与未化铣 C-4、C-5 力学性能,显示化铣前后其抗拉强度和延伸率基本无变化,且均满足标准要求,这是因为化铣没有导致 6A02-B、6A02-C 铝板的晶间腐蚀产生。晶间腐蚀的发生会破坏晶粒和晶界间的结合力,引起力学性能大幅度下降。因此,化铣过程对 6A02-O、6A02-T62 的材料力学性能均不会产生影响。

2.4 化铣对 6A02 薄板显微组织的影响

6A02-O-B、6A02-T62-C 化铣后的显微组织分别见图 3~图 4。由图 3~图 4 可知,6A02-O-B 的显微组织均匀分布,而 6A02-O-C 经 520 °C 固溶、160 °C 时效热处理至 T62 态后,有明显的晶界产生,且有增强相析出,从而使其抗拉强度大幅度提高。这是因为合金析出的总体过程为:过饱和固溶体(SSSS)→球状 GP 区→亚稳针状 β' 相(共格)→亚稳棒状 β' 相(半共格)→稳定平衡 β 相(Mg₂Si)(非共格)^[18]。当时效温度为 150~160 °C 时,由于过渡相 β' 的界面能小,大于临界尺寸的亚稳针状 β' 相区长形成过渡相 β',

β' 相与基体保持共格关系^[19],与稳定相 β(Mg₂Si)化学成分相同,从而有效地阻碍了晶体的变形,致使合金经固溶时效后强度明显提高^[12]。

另外,6A02-O-B 与 6A02-T62-C 显微组织均未见化铣引起的晶间腐蚀等缺陷。根据文献[20]研究,一方面是因为 6A02 合金析出相的电化学性质与基体无明显差异,一般不具备晶间腐蚀的倾向;另一方面是因为 Mg 和 Si 主要形成强化相 Mg₂Si,当 $m(\text{Mg})/m(\text{Si}) \geq 1.73$ 时,6A02 合金只能在晶界处形成不连续分布的 Mg₂Si 粒子,从而不能形成连续的腐蚀通道,致使合金无晶间腐蚀倾向。因此,结合试样力学性能分析结果,可以得出化铣过程对 6A02-O-B、6A02-T62-C 的显微组织无明显影响。

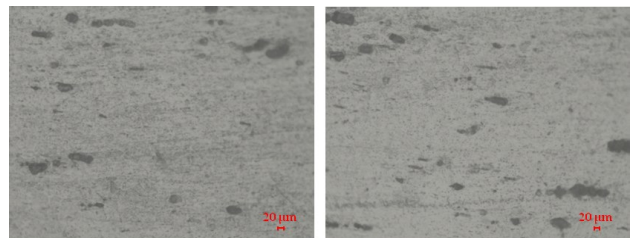


图 3 6A02-O 铝合金材料化铣后的显微组织

Fig. 3 Microstructure of 6A02-O aluminum alloy material after milling 500×

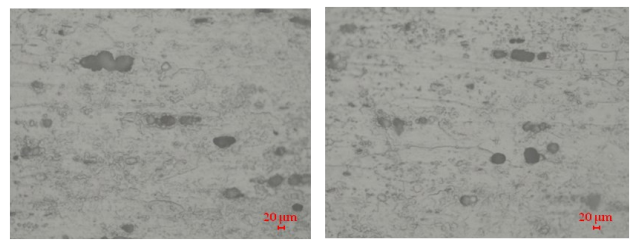


图 4 6A02-T62 铝合金材料化铣后的显微组织

Fig. 4 Microstructure of 6A02-T62 aluminum alloy material after milling 500×

3 结论

通过对 6A02-O 和 6A02-T62 铝合金薄板化铣前后的厚度尺寸、表面质量、力学性能及显微组织的研究,可得出如下结论:

(1) 化学铣切可将铝合金薄板厚度铣削至所需规格,可较明显的改善铝合金薄板表面质量,且对铝合金薄板的力学性能和显微组织无明显影响;

(2) 6A02-O、6A02-T62 铝合金薄板在成形零件的过程中,可以采用化铣工艺对其进行加工,其是一种可靠、有效的加工方法。

参考文献

[1] 张南南. 变形与热处理组合工艺对 6061 铝合金组织和性能的影响[D]. 江苏大学, 2017.

ZHANG N N. Effect of combined process of deformation and heat treatment on microstructure and properties of 6061

aluminum alloy [D]. Jiangsu University, 2017.

[2] 林翠, 蔡剑, 曾丰光, 等. LY12 铝合金化铣工艺及加工质量影响因素[J]. 失效分析与预防, 2010, 5(1): 8-12.

LIN C, CAI J, ZENG F G, et al. Chemical milling technology and influencing factors of processing quality of LY12 aluminum alloy [J]. Failure Analysis and Prevention, 2010, 5(1): 8-12.

[3] DORWARD R C, Pritchett T R. Advanced aluminum alloys for aircraft and aerospace applications [J]. Materials and Design, 1988, 9(2):63-69.

[4] 王雷, 李玉龙, 索涛, 等. 航空常用铝合金动态拉伸力学性能探究[J]. 航空材料学报, 2013, 33(4):71-77.

WANG L, LI Y L, SUO T, et al. Mechanical behavior of commonly used aeronautical aluminum alloys under dynamic tension [J]. Journal of Aeronautical Materials, 2013, 33(4): 71-77.

[5] 于芝兰. 铝合金化学铣切的现代技术[J]. 轻合金加工技术, 1995(9): 28-29.

YU Z L. Modern technology of chemical milling of aluminum alloy [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 1995(9):28-29.

[6] 廖广其, 尹茂生, 朱晓英. 化学铣切对铝合金基体粗糙度的影响[J]. 涂料涂装与电镀, 2005(6):39-40.

LIAO G Q, YIN M S, ZHU X Y. The effect on the roughness of the Al alloys body surface by chemical milling [J]. Coatings Painting and Electroplating, 2005(6): 39-40.

[7] 金晓伟. 铝合金状态对化学铣切粗糙度的影响[J]. 涂装与电镀, 2010(3): 53-54.

JIN X W. The influence of aluminum status on roughness of chemical milling [J]. Coatings Painting and Electroplating, 2010(3):53-54.

[8] 王煜, 王建光. 热处理状态 LD10 铝合金化铣表面质量的影响[J]. 宇航材料工艺, 2014, 44(2):75-77.

WANG Y, WANG J G. Influence of heat treatment state on chemical milling surface quality for LD10 aluminum alloy [J]. Aerospace Materials & Technology, 2014, 44(2): 75-77.

[9] 李旭东, 穆志韬, 刘治国, 等. 基于分形理论的 6A02 铝合金腐蚀损伤评估[J]. 装备环境工程, 2012, 9(4):27-30.

LI X D, MU Z T, LIU Z G, et al. Evaluation of corrosion damage for 6A02 aluminum alloy based on fractal theory [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(4):27-30.

[10] 郑小刚, 程琢, 兰国林, 等. 6A02 铝合金挤压管材生产工艺研究[J]. 轻合金加工技术, 2009, 37(12):34-35.

ZHENG X G, CHENG Z, LAN G L, et al. Investigation and discussion on production technology of 6A02 aluminum alloy extruded tube [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2009, 37(12):34-35.

[11] FAN X, HE Z, YUAN S, et al. Investigation on strengthening of 6A02 aluminum alloy sheet in hot forming-quenching integrated process with warm forming-dies [J].

Materials Science and Engineering, 2013, 587:221-227.

[12] 陈佳, 闫晓东, 沈健, 等. 热处理工艺对 6A02 合金管材组织性能的影响[J]. 稀有金属, 2016, 40(3):193-200.

CHEN J, YAN X D, SHEN J, et al. Microstructure and properties of 6A02 aluminum alloy extruded tube with heat treatment [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2016, 40(3): 193-200.

[13] 刘科研, 姚泽, 姜德俊, 等. 6A02 铝合金薄壁管材退火工艺试验研究[J]. 轻合金加工技术, 2014, 42(8): 8-40.

LIU K Y, YAO Z, JIANG D J, et al. Research on the annealing test of thin-wall tubes of 6A02 aluminum alloy [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2014, 42(8):38-40.

[14] 刘文静, 钟利萍. 6xxx 铝合金热处理工艺的研究概况[J]. 材料导报, 2012, 26:137-140.

LIU W J, ZHONG L P. Status of heat treatment process for 6xxx series aluminum alloys [J]. Materials Reports, 2012, 26: 137-140.

[15] 李旭东, 朱武峰, 穆志韬, 等. LD2 铝合金腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(1):8-12.

LI X D, ZHU W F, MU Z T, et al. Corrosion behavior investigation of LD2 aluminum alloy [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(1): 8-12.

[16] 郝文魁, 杨丙坤, 马光, 等. 沿海工业环境下 6A02 铝合金接线板的腐蚀行为[J]. 机械工程材料, 2017, 41(12): 59-63.

HAO W K, YANG B K, MA G, et al. Corrosion behavior of 6A02 aluminum alloy wiring board in coastal industrial environment [J]. Materials for Mechanical Engineering, 2017, 41(12):59-63.

[17] 邢玮, 孔光明, 李旭东. 6A02 铝合金材料的疲劳微裂纹扩展研究[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2012, 26(2):75-79.

XING W, KONG G M, LI X D. Study on the fatigue small cracking behaviour of 6A02 aluminum alloy [J]. Journal of Nanchang Hangkong University (Natural Sciences), 2012, 26(2):75-79.

[18] EDWARDS G A, STILLER K, DUNLOP G L, et al. The precipitation sequence in Al-Mg-Si alloys [J]. Acta Materialia, 1998, 46(11):3893-3904.

[19] BUHA J, LUMLEY R N, CROSKY A G, et al. Secondary precipitation in an Al-Mg-Si-Cu alloy [J]. Acta Materialia, 2007, 55(9):3015-3024.

[20] 贺春林, 孟小丹, 马国峰, 等. 6000 系铝合金晶间腐蚀研究进展[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2014, 26(1): 18-23.

HE C L, MENG X D, MA G F, et al. Research development in intergranular corrosion of 6000-Series aluminum alloys [J]. Journal of Shenyang University (Natural Science), 2014, 26(1): 18-23.