

# 麦道化铣工艺评审

成都飞机工业公司      李世杰    周国华

本文阐述了成都飞机工业公司为了满足生产麦道机头而进行化学铣切工艺评审的意义，技术要求和试验内容。经过反复的技术攻关试验，使得我们的化铣工艺水平达到了生产西方民用航空客机零件的要求，获得了麦道飞机公司正式授权批准。

## 一、前言

为了满足成都飞机工业公司转包生产 MD80/90 系列机头的需要，根据美国麦道飞机公司 (McDONNELL DOUGLAS CORPORATION) “转包生产” 共同质量保证条例 (CQAR-5) 规定，CAC 冶金特种工艺必须经过 DAC 的考核鉴定批准方可投产，而化铣工艺则是需要工艺评审的项目之一。众所周知，化学铣切是通过化学腐蚀的方法来达到制造零件的目的。因此该工艺不仅涉及冶金特种工艺技术，而且涉及加工制造技术，它的两个突出优点是能从那些很难加工的材料上非常容易地把零件上的材料切削下来。其次，这种工艺方法用以进行切削的“刀具”是一种液体，而与这种液体相接触的则是它要加工的所有表面。由此可见，零件材料内部组织结构、表面状态、尺寸、悬挂方式、腐蚀剂、腐蚀加工深度均要影响到其加工精度，麦道机头用化铣工艺是精密化铣工艺，按照我们的普通化铣工艺是根本无法达到要求的，因此我们正是围绕着如何达到 MD 化铣工艺技术要求而进行了大量的试验研究工作。

## 二、MD 工艺评审关键技术要求

MD 化学铣切工艺评审的技术依据是 DPS (DOUGLAS PROCESS SPECIFICATION) 9.481 和 PSR (PROCESS SURVEY REPORT) 3-19 和 PSR3-19-E。在这几个文件中规定了化学铣切工艺及工艺评审的详细技术要求，其具体内容如下：

### 1. 工艺评审配套工艺技术资料及设施

- (1) 化铣工艺所用烘箱应按要求写明设备型号、生产厂商、有效工作区间尺寸、加热方式和介质、气氛类型、有效工作温度和公差、高温测量仪器技术参数、制造厂商、型号、表盘刻度范围和分度。所有设备和仪表应按要求进行周期鉴定。
- (2) 要求按 DPS 编制详细的工艺流程，并按其顺序说明每一个工艺槽液的配方、浓度、温度、槽子尺寸及槽液名称，每个槽位上均需设置中英文对照的标牌。
- (3) 在化铣工艺过程中所用到的表面光度仪、槽液温度指示仪、测厚仪等必须经过计量部门校验并贴上合格证，注明鉴定周期、检定日期和鉴定人员方可使用。

材料工程

(4) 槽液控制、前清洗、保护胶粘度、工艺控制、针孔的检查和修理、样板制造与设计是否考虑了晶粒方向和热处理状态；搅拌方式、装夹方法、浸蚀速度、打磨和修理程序、表面光洁度和厚度测试，都必须满足 DPS 和有关工艺规范要求。

(5) 操作人员必须持证上岗，现场工艺资料必须动态跟踪，保持最新版本并随时可查。

### 2. MD 化学铣切工艺技术要求

- (1) 表面光洁度：用表面光度仪以 6 英寸/分的探头移动速度测量光洁度时，沿晶粒方向化铣表面的 RMS 不能大于 100 微英寸，垂直于晶粒方向不能大于 150 微英寸。
- (2) 线偏离：实际化铣线偏离理想线的距离不能大于 0.04 英寸。
- (3) 铣切深度：铣切深度的允许公差是  $\pm 0.005$  英寸。
- (4) 表面缺陷：化铣表面应无象沟槽、凹陷、圆角刻痕或切口、岛状物、脊梁、坑这些缺陷。

## 三、工艺试验内容

### 1. MD 化铣工艺流程 (图 1)

### 2. 主要工艺配方

#### (1) 碱清洗

Turco 4215    37~43    磅/加仑  
Turco 4215    添加剂    3/4 加仑/100 磅 Turco 4215  
温度：    145~155 F (62~68 C)

#### (2) 轻脱氧

硝酸：9~12    加仑/100 加仑溶液  
氢氟酸：    1    加仑/100 加仑溶液  
铬酸：47~57    克/升  
温度：    室温

#### (3) 化学铣切

80% 氢氧化钠    24.2 加仑/100 加仑溶液  
3# TFE    3.3 加仑/100 加仑溶液  
三乙醇胺    2.0 加仑/100 加仑溶液  
温度：    215~230 F (102~110 C)

### 3. 试样

试样由 2024-T3 包铝板制备，打磨所有棱角，尺寸

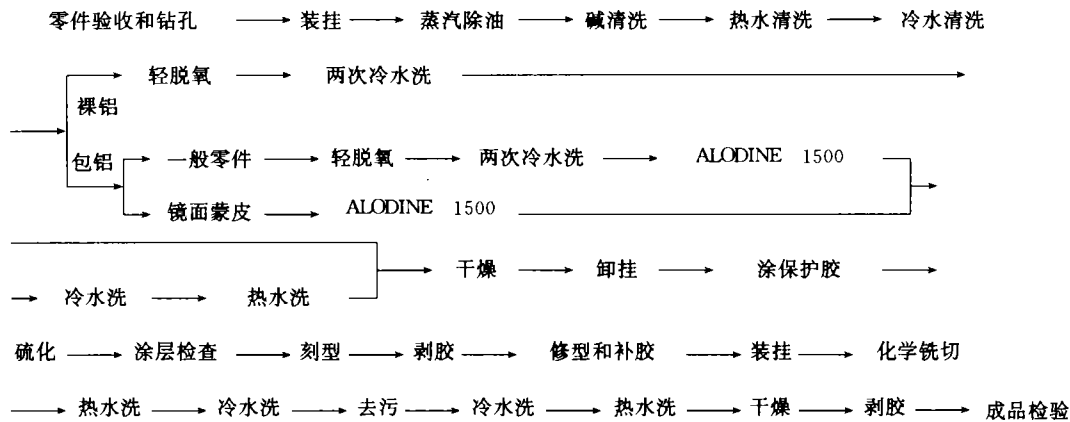


图1 工艺流程

为 12"×12"×0.250", 涂保护胶并化铣到图 2 所示的尺寸。

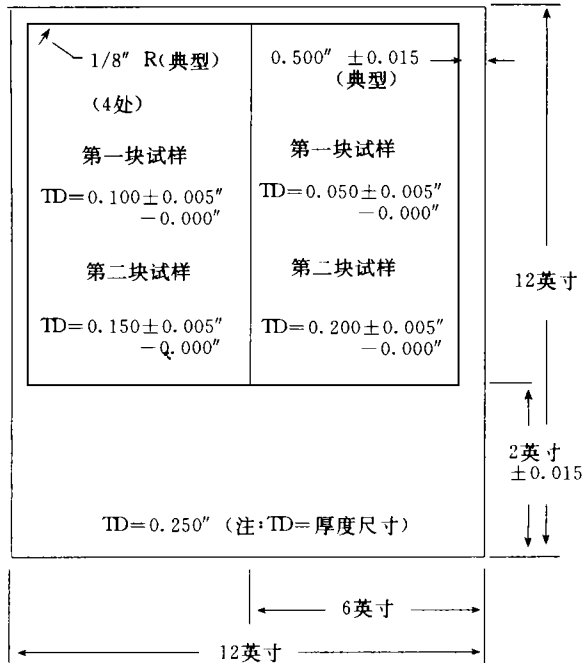


图2 试样尺寸

#### 4. 主要试验内容:

- (1) 确定碱清洗工序的温度, 时间, 浓度
- (2) 确定轻脱氧的时间, 浓度
- (3) 确定最佳化铣槽液的浓度, 温度, 搅拌方法
- (4) 确定最佳腐蚀速率
- (5) 确定最佳侵蚀比
- (6) 确定最佳硝酸出光的浓度, 时间

#### 5. 试验结果评定

- (1) 用 Taylor-Hobson Surtronic-3P 表面光度仪评定化铣表面光洁度
- (2) 用超声波测厚仪测定化铣试样的铣切厚度
- (3) 用显微镜评定化铣试样的线偏离值
- (4) 用目视法评定化铣后试样的表面缺陷

## 四、试验结果

根据 DPS9.481 和 PSR3-19-E 的要求, 经过我们几十次工艺攻关试验, 最后化铣工艺评审试样终于达到了麦道工艺技术要求, 其结果如下:

麦道化铣试样工艺试验结果

序号	项 目	麦道技术要求	实测结果
1	表面缺陷	表面无沟槽、凹陷、圆角刻痕或切口、岛状物、脊梁、坑等	无上述缺陷
2	线偏离	≤0.04 英寸	≤0.03 英寸
3	铣切深度	0.050"~0.055" 0.100"~0.105" 0.150"~0.155" 0.200"~0.205"	0.050"~0.052" 0.102"~0.104" 0.150"~0.154" 0.200"~0.202"
4	表面光洁度	垂直于晶粒方向 RMS≤150 微英寸 平行于晶粒方向 RMS≤100 微英寸	77~112 微英寸 16~86 微英寸

我们将上述两块试样提交给 DAC 材料与工艺工程部 (M&PE) 进行工艺评审鉴定, 于 1993 年 5 月 14 日收到了麦道公司的正式批准书。

## 五、结 语

1. 表面光洁度是化铣工艺技术攻关的关键。由于麦道公司的化铣工艺评审试样材料选用 2024-T3 包铝材料, 该材料晶粒组织结构粗大, 因此化铣后的表面光洁

(下转第 32 页)

$$\begin{cases} A \sim \frac{d}{x} f(\varphi) & x > d \\ E \sim \left(\frac{d}{x}\right)^{3/2} f'(\varphi) \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $d$ 、 $X$  意义与式 (4) 同;  $f(\varphi)$ 、 $f'(\varphi)$  是  $\varphi$  的函数;  $\varphi$  是裂纹表面法线与探头之间的夹角。其裂纹产生 AE 信号的传播方向花样如图 7 所示。

如果将磁化区作为一个声发射源, 则它也相当于一个裂纹源, 其裂面与磁化方向平行。由于磁化深度一般有 2~3mm 深, 因此, 声发射源不仅在试样表面, 也在试样内一定深度发出声波, 这说明探头接收的声波是表面波和体内波的合成。将图 5 与图 7 对照, 可以认为 MAE 波的组成主要是横波成分, 它表现出  $\theta=45^\circ$  方向的 MAE 强度最大, 对于图 5 中曲线  $\psi=45^\circ$  出现  $\theta=45^\circ$  方向 MAE 强度最大, 好象不符合横波花样方向分布规律。这可能是该方向应力最大使 MAE 强度变得最低, 造成强度最大值与最小值之间差别很小, 致使这个差别在测量误差范围内; 也可能由于表面波和纵波作用所造成。

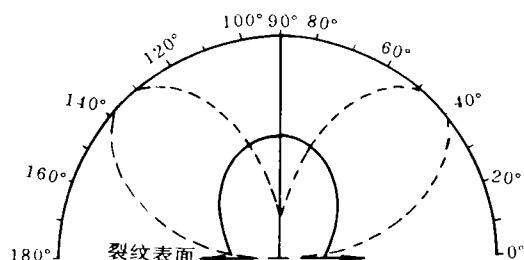


图 7 裂纹产生体内波信号传播的方向花样分布  
---横波, ——纵波

## 五、结 论

1. MAE 的振铃计数率随拉应力增加, 其总的趋势是下降, 但在整个过程中, 因附加畴出现而使强度一度出现上升趋势。

2. 磁化方向在  $\psi=45^\circ$  处强度最低, 此方向对应着最大应力值。根据式 (3) 和图 6 可推断出两个主应力方向分别在  $\psi=0^\circ$  和  $\psi=90^\circ$  的方向上。

3. 探头接收方位改变, MAE 振铃计数率也发生变化, 当磁化方向  $\psi=90^\circ$  时, 探头在  $\theta=45^\circ$  方向计数率最大, 似乎证明 MAE 波主要以横波的形式传播。 $\psi=45^\circ$  方向磁化时, 因应力很大和其它类型波型的作用, 振铃计数率变化不很明显。

## 参考文献

1. 马咸尧等, 拉应力对磁畴运动及磁声发射行为的影响, 华中理工大学学报, 1992, 20 (6): 25~29
2. 马咸尧等, 16Mn 钢中残余应力的磁声发射效应, 华中理工大学学报, 1992, 20 (3): 51~56
3. Ono K, Shibata M., Magnetomechanical Acoustic Emission for Residual Stress and Prior Strain Determination, Magneto-mechanical A-

coustic Emission, Anaheim, California: Dunhart, Publishers, 1981, 154~174

4. 罗阳, 王振琴, 晶粒取向 3% Si-Fe 畴结构的应力效应, 金属学报, 1983, 19 (2): A125~133
5. 罗阳, 王振琴, 晶粒取向 3% Si-Fe 畴结构的应力效应, 金属学报, 1983, 19 (3): A183~189
6. Waschkaes E., Holler P. Interpretation of Acoustic Emission Signals, Int. J. Pres. Ves & Piping, 15 (1984) 151~157

\* \* \* \* \*

(上接第 26 页)

2. 对于包铝材料, 在涂保护胶之前, 通过阿洛丁 1500 处理可以改善化铣试样的线偏离。这主要是因为通过氧化处理增强了基体与保护胶的结合力和提高了试样在涂保护胶前的清洁度。

3. 通过我们的工艺试验攻关表明: 只要我们按 DPS 和 PSR 的各项要求从原材料、人员资格、工艺流程、工艺流程、槽液温控等各个方面进行全面准备, 严格按照工艺规范进行试验, 则化铣工艺技术就一定能够达到麦道的要求。

4. 铣切前, 表面缺陷的修整也是影响化铣后表面光洁度的主要因素之一。

5. 在化铣工艺过程中, 增加出光工序, 可以改善化铣表面的光洁度。

\* \* \* \* \*

(上接第 33 页)

内, 在本实验的高应力水平下所产生的残余压应力很快“消失”, 对疲劳裂纹萌生寿命无明显影响。这与实验所得结果相吻合。

从残余应力测试结果看, 随缺口根部的半径减小, 残余应力值增大。1600kg 预压的残余应力值比 1200kg 预压的大, 但累积损伤也大。喷丸试样在表面产生一平均残余应力层, 所以测试值一样。

## 四、结 论

1. 经过喷丸、预压, 材料在同一交变载荷下, 其缺口半径  $\rho$  与疲劳裂纹萌生寿命  $N_i$  存在如下关系:

$$\lg N_i = a + b \cdot \rho$$

2. 经过预压的试样, 对其疲劳性能的影响存在着双重因素: 残余压应力和累积损伤程度。当前者作用大时, 对提高疲劳裂纹萌生寿命有利, 反之则不利, 且作用大小与  $\sigma_s/\Delta\sigma_n$  有关。

3. 残余压应力在高应力水平下“消失”快。

4. 预压产生残余应力值的大小与缺口根部半径的大小有关, 半径大, 应力值小。

## 参考文献 (略)