

ICS 19.020

J 04

备案号:

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T 3017—2008

民用航空金属零件旋片喷丸强化工艺

The flap peening of metal parts of civil aviation

2008-12-02 发布

2009-04-01 实施

中国民用航空局 发布

中华人民共和国民用航空
行业标准
民用航空金属零件旋片喷丸强化工艺
MH/T 3017—2008

*

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街16号 邮政编码:100081
电话:010-62173865 传真:010-62179148
<http://www.kjpbooks.com.cn>
科学普及出版社发行部发行
北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本:880毫米×1230毫米 1/16 印张:1.25 字数:25千字
2009年3月第1版 2009年3月第1次印刷
印数:1—500册 定价:30.00元
统一书号:175046·1068/2027

目 次

前言

| | |
|--------------------------------|----|
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 喷丸强度符号 | 1 |
| 5 喷丸强化材料和工具 | 2 |
| 6 喷丸工艺参数的确定 | 3 |
| 7 喷丸步骤和操作要求 | 7 |
| 8 喷丸的质量控制 | 8 |
| 9 喷丸后零件的处理 | 9 |
| 附录 A(资料性附录) 喷丸操作人员的培训与考核 | 10 |
| 参考文献 | 11 |

前 言

本标准的附录 A 是资料性附录。

本标准由中国民用航空局飞行标准司提出。

本标准由中国民用航空总局航空安全技术中心归口。

本标准起草单位：北京飞机维修工程有限公司。

本标准主要起草人：冯冬云、王毅、仲红、吴振雷。

民用航空金属零件旋片喷丸强化工艺

1 范围

本标准规定了民用航空金属零件的表面较小区域内(包括孔)及现场局部的旋片喷丸强化工艺中旋片喷丸的(以下简称喷丸)强度符号、材料和工具、工艺参数的确定、步骤和操作要求、质量控制及喷丸后零件的处理等技术要求。

本标准适用于在交变应力和应力腐蚀条件下工作的民用航空金属(含结构钢、不锈钢、铸铁、铝合金、镁合金、铜合金、钛合金以及铁、镍基高温合金等)零件及部件的喷丸强化处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GSB A69001 喷丸弧高度试片

MIL-S-851D 钢制弹丸、切制钢丝弹丸、铁丸和弹丸清理的清洗和喷射

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

弧高度 arc height

试片在旋片的打击下表面层发生塑性流变,导致试片向喷丸面呈球面状弯曲,取一平面作为基准面切入变形球面内,由该基准面至球面最高点之间的距离。

3.2

表面覆盖率 surface coverage

被喷零件表面弹痕凹坑所占面积与被喷表面总面积的比值,通常以百分数表示。

注:通常难以用肉眼判断并恰好寻求到 100% 的表面覆盖率,而 98% 的试验比较易进行,因此以 98% 的数字定义为 100% 的表面覆盖率,而 2 倍于 100% 的表面覆盖率时间所达到的表面覆盖率定义为 200% 的表面覆盖率,并依次类推。

4 喷丸强度符号

使用 N、A、C 三种弧高度试片测定出的喷丸强度分别用字母 N、A、C 表示。

各强度值之间的关系为:

C 强度值乘以 3.5 等于 A 强度值;

A 强度值乘以 3.0 等于 N 强度值。

示例:

采用 A 试片测得的弧高度值为 0.304 8 mm(0.012 in) 时,则其喷丸强度应表示为 0.012 A;采用 N 试片测得的弧高度值若为 0.838 2 mm(0.033 in) 时,则其喷丸强度应表示为 0.033 N。

5 喷丸强化材料和工具

5.1 组成和组装

喷丸工具由喷枪、旋片、芯轴与套筒装配件和转速表等组成。芯轴、旋片、套筒的组装如图 1 所示。

5.2 喷枪

喷枪是提供动力的气动工具,其转速应保持在确定转速的 $\pm 5\%$ 范围内,并应能在操作时达到 $1\,000\text{ r/min}\sim 10\,000\text{ r/min}$ 。

5.3 旋片

旋片为粘附有碳化钨弹丸的胶片。弹丸应为 330 号碳化钨钢球,其技术特性应符合 MIL-S-851D 的要求。旋片的规格如表 1 所示。

表 1 旋片

单位为毫米(英寸)

| 旋片规格 | 喷丸孔的最小直径 |
|--------------------|-----------|
| 26 × 52 (1×2) | 31 (1.25) |
| 15 × 32 (9/16×5/4) | 19 (0.75) |

5.4 芯轴与套筒装配件

芯轴与套筒装配件用于固定旋片,如图 1 所示。

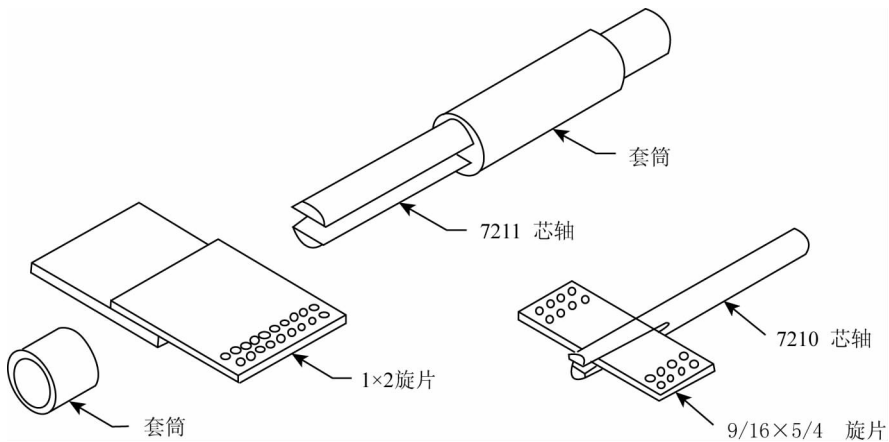


图 1 芯轴、旋片、套筒装配示意图

5.5 转速表

转速表用于测量喷枪的转速。其测量范围应不小于 $10\,000\text{ r/min}$,精度为 $\pm 1\%$ 。

5.6 320 号~400 号碳化硅或氧化铝砂纸

320 号~400 号碳化硅或氧化铝砂纸用于打磨弹丸表面胶膜。

5.7 弧高度试片

弧高度试片是一种度量喷丸强化工艺参数的专用量规,用 70 号冷轧弹簧钢制成,共有 N、A、C 三种型号。三种试片的主要技术要求见表 2,其他技术性能应符合 GSB A69001 的要求。

5.8 弧高度试片夹具

弧高度试片夹具是固定试片的工具,应采用磁力吸紧器。

5.9 测量规(仪)

测量规(仪)是一种测定试片经喷丸后在所规定长度范围内产生的弧高度值的专用测量工具,这种专用测量规(仪)的形状及尺寸应符合图2的要求。四个钢球的平面度为0.05 mm。

5.10 放大镜

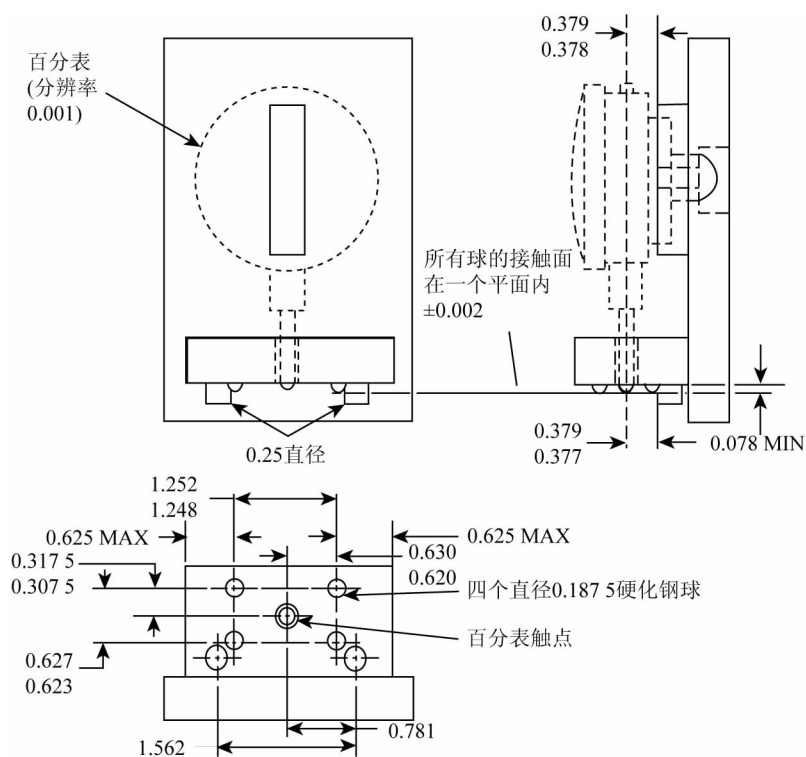
放大镜用于检查喷丸表面覆盖率。放大倍数应至少为30倍。

5.11 防护眼镜

防护眼镜用于防止弹丸飞出打伤眼睛。

表2 弧高度试片的技术要求

| 项目名称 | 试片型号 | | |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | N | A | C |
| 厚度 mm | 0.79 ± 0.025 | 1.29 ± 0.025 | 2.39 ± 0.025 |
| 宽(W)×长(L)mm | $19^{0}_{-0.1} \times 76 \pm 0.2$ | $19^{0}_{-0.1} \times 76 \pm 0.2$ | $19^{0}_{-0.1} \times 76 \pm 0.2$ |
| 平面度容差 mm | ± 0.025 | ± 0.025 | ± 0.025 |
| 粗糙度 μm | $R_a=0.63 \sim 1.25$ | $R_a=0.63 \sim 1.25$ | $R_a=0.63 \sim 1.25$ |
| 表面硬度(HRC) | 44~50 | 44~50 | 44~50 |



注:含百分表组装置示意图。所有尺寸的单位均为英寸。

图2 弧高度测量规(仪)的几何尺寸

6 喷丸工艺参数的确定

6.1 喷丸设备与试片(工件)表面之间的距离

喷丸过程中,喷丸与试片(工件)的距离应确保达到规定的表面覆盖率和喷丸强度。

6.2 喷丸强度

6.2.1 喷丸强度的确认

任何一组工艺参数下的弧高度曲线上均存在一个饱和点(确切地说为准饱和点),过此饱和点弧高度值随喷丸时间的增加而缓慢增高(见图3)。在一倍于饱和点对应的喷丸时间下,弧高度值的增量不超过饱和点处弧高度值的10%。饱和点处的弧高度值定义为该组工艺参数的喷丸强度。所以,一组工艺参数下的弧高度曲线上只有一个喷丸强度。

注:弧高度曲线为同一类型的试片在相同的喷丸速度和相同旋片的工艺条件下,弧高度值与喷丸时间的关系曲线。

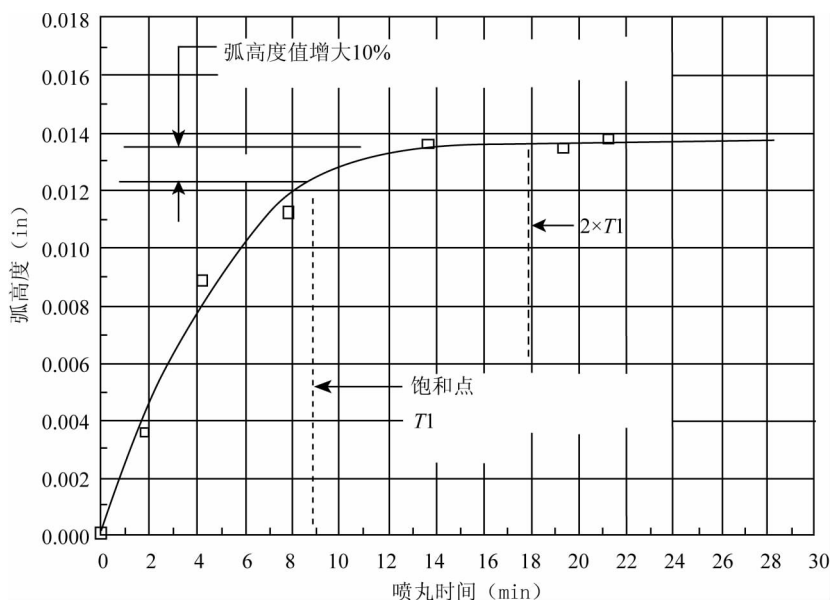


图3 弧高度曲线

6.2.2 喷丸强度试验

6.2.2.1 将弧高度试片放入弧高度试片夹具(磁力吸紧器)。

6.2.2.2 确定表1规定的旋片规格。

注1:用不同的转速、不同的喷丸时间获得不同的表面覆盖率。

注2:试片的修正强度为试片的测试强度的77%。

6.2.2.3 可参考表3的数据确定喷丸强度。

表3 推荐的喷丸强度

| 材料 | 被喷表面最小厚度 mm (in) | 喷丸强度 |
|---------------------|------------------|-------------------|
| 抗拉强度小于 1 500 MPa 的钢 | 1.3 (0.05) | 0.002 A~0.005 8 A |
| | 1.8 (0.07) | 0.003 A~0.006 A |
| | 2.0 (0.08) | 0.004 A~0.007 A |
| | 2.5 (0.10) | 0.005 A~0.010 A |
| | 3.0 (0.12) | 0.006 A~0.011 A |
| | 3.8 (0.15) | 0.008 A~0.013 A |
| | 4.3 (0.17) | 0.010 A~0.015 A |
| | 5.1 (0.20) | 0.012 A~0.017 A |
| | ≥6.0 (0.24) | 0.014 A~0.019 A |

表 3(续)

| 材料 | 被喷表面最小厚度 mm (in) | 喷丸强度 |
|------------------------------|------------------|-----------------|
| 抗拉强度为 1 500 MPa~2 400 MPa 的钢 | 1.3 (0.05) | 0.003 A~0.005 A |
| | 1.8 (0.07) | 0.003 A~0.006 A |
| | 2.0 (0.08) | 0.005 A~0.010 A |
| | 2.5 (0.10) | 0.006 A~0.011 A |
| | 3.0 (0.12) | 0.008 A~0.013 A |
| | 3.6 (0.14) | 0.010 A~0.015 A |
| | 4.0 (0.16) | 0.012 A~0.017 A |
| | ≥5.1 (0.20) | 0.014 A~0.019 A |
| 抗拉强度为 2 700 MPa~3 000 MPa 的钢 | 1.3 (0.05) | 0.005 A~0.010 A |
| | 1.5 (0.06) | 0.006 A~0.011 A |
| | 2.0 (0.08) | 0.008 A~0.013 A |
| | 2.5 (0.10) | 0.010 A~0.015 A |
| | 3.0 (0.12) | 0.012 A~0.017 A |
| | ≥3.8 (0.15) | 0.014 A~0.019 A |
| 铝合金 | 1.3 (0.05) | 0.002 A~0.004 A |
| | 1.5 (0.06) | 0.003 A~0.005 A |
| | 2.0 (0.08) | 0.004 A~0.007 A |
| | 2.5 (0.10) | 0.005 A~0.010 A |
| | 3.3 (0.13) | 0.006 A~0.011 A |
| | 4.0 (0.16) | 0.008 A~0.013 A |
| | 4.8 (0.19) | 0.010 A~0.015 A |
| | 5.8 (0.23) | 0.012 A~0.017 A |
| 钛合金 | 1.3 (0.05) | 0.003 A~0.005 A |
| | 1.8 (0.07) | 0.003 A~0.006 A |
| | 2.0 (0.08) | 0.004 A~0.007 A |
| | 2.5 (0.10) | 0.005 A~0.010 A |
| | 3.0 (0.12) | 0.006 A~0.011 A |
| | 3.8 (0.15) | 0.008 A~0.013 A |
| | 4.3 (0.17) | 0.010 A~0.015 A |
| | 5.1 (0.20) | 0.012 A~0.017 A |
| | 6.1 (0.24) | 0.014 A~0.019 A |

6.2.2.4 喷枪转速与喷丸强度的关系曲线如图 4 所示。可根据不同的喷丸强度,在曲线上确定相应的喷枪转速。

6.2.2.5 如果喷丸强度不在规定的强度值范围内,应调整喷枪转速,用新的弧高度试片按 6.2.2.1~6.2.2.4 的要求重新进行喷丸强度试验。

如果喷丸强度是一个定值,除非另有规定,其强度的允差范围应为 -0.002 A 和 $+0.003\text{ A}$ 。如果喷丸强度给的是一个范围,则其喷丸强度应在此范围内。

示例:当给定的喷丸强度为 0.005 A 时,实际强度为 $0.003\text{ A}\sim 0.008\text{ A}$ 。

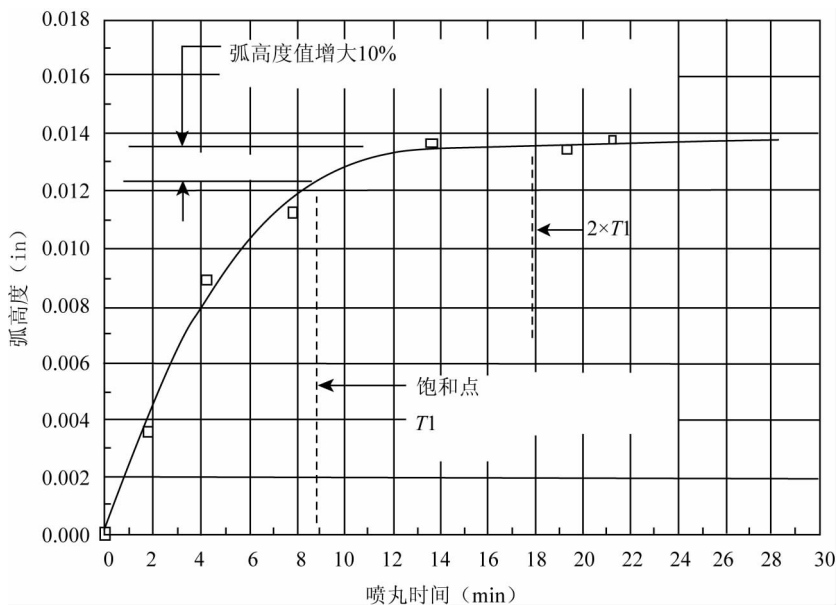


图4 喷枪转速与喷丸强度的关系曲线(平面)

6.3 弧高度试片

根据喷丸强度范围,参考表4选择弧高度试片。

表4 推荐的弧高度试片与喷丸强度范围

| 弧高度试片 | N | N或A(N优先) | A | C或A(C优先) | C |
|-------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 喷丸强度 | $<0.003\text{ A}$ | $0.003\text{ A}\sim 0.004\text{ A}$ | $0.005\text{ A}\sim 0.024\text{ A}$ | $0.025\text{ A}\sim 0.032\text{ A}$ | $>0.032\text{ A}$ |

6.4 表面覆盖率

弧高度试片上的表面覆盖率应至少为200%。在被喷零件在达到规定的喷丸强度条件后,如果其硬度低于或等于试片的硬度时,则零件的表面覆盖率能够达到100%;如果零件的硬度高于试片的硬度时,则零件的表面覆盖率会低于100%。

注:用两倍于获得100%表面覆盖率的时间进行喷丸即可得到200%表面覆盖率。

零件达到100%表面覆盖率所需时间,并不等于达到50%表面覆盖率所需时间的两倍(见示例1和示例2)。应用公式(1)计算经 n 次喷丸后的表面覆盖率。在操作中,可用30倍放大镜目视检查表面覆盖率。

$$C_n = 1 - (1 - C_1)^n \quad (1)$$

式中: C_n ——经 n 次喷丸后的表面覆盖率;

C_1 ——第1次喷丸获得的表面覆盖率。

示例1:若表面覆盖率在1min内达到50%,则下一个1min只能使剩下的50%面积获得50%的表面覆盖率,达到的总表面覆盖率为 $50\% + 25\% = 75\%$ 。

示例2:若 $C_1 = 50\%$,将 $n = 2, 3, 4, 5, 6$ 时所计算出的 C_n 列入表5。每次喷丸时间应与第一次喷丸时间相同。由表中的数据可见,由50%增加到98%的表面覆盖率,其喷丸时间需延长5倍。

表 5 喷丸次数与表面覆盖率之间的关系

| | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| 接受喷丸的次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 表面覆盖率 % | 50 | 75 | 87 | 94 | 97 | 98 |

7 喷丸步骤和操作要求

- 7.1 从事喷丸工作的人员应经过专门的培训和考核,其培训和考核内容参见附录 A。
- 7.2 应佩带防护眼镜,以免弹丸飞出,打伤眼睛。
- 7.3 进行喷丸处理前应对被喷零件表面进行目视检查,确保其上没有油漆、镀层、涂层、腐蚀物、油脂等,否则应进行清洗或清除。
- 7.4 应用胶带或胶布遮盖非喷丸区或禁止喷丸区。
- 7.5 除另有规定,零件应在不受外力的自由状态下接受喷丸强化。
- 7.6 一般应在进行喷丸处理前完成零件的无损检测,包括做其他处理,例如镀铬或镀镍后的无损检测。
- 7.7 如果是表面阳极化处理的铝及铝合金,应在喷丸处理前祛除阳极化处理层。祛除溶液采用 133 mL(4.5 fld. oz)磷酸和 76.5 g(2.7 oz)铬酸以及 4.5 L[1 gal(UK)]的水的混和溶液。
- 7.8 钛及钛合金应使用粘有碳化钨球的喷丸;除钛及钛合金外的其他材料则可用粘有钢球或粘有碳化钨球的喷丸。
- 7.9 应按第 6 章确定喷丸的转速以及旋片与被喷表面间的距离,并保持这一距离。喷丸作业时应握紧工具使芯轴平行于受喷试片(工件)表面,移动喷丸工具,对零件进行喷丸。
- 7.10 除非另有规定,在要求限制喷丸区域内其界限偏差应不大于 3.2 mm(1/8 in)。
- 7.11 除非另有规定,所有被喷零件的表面覆盖率不应低于 100%。
- 7.12 渐弱喷丸区的表面覆盖率应均匀地减小。
注:渐弱喷丸区是指规定的喷丸区到渐弱喷丸表面中最小表面覆盖率 25%处。
- 7.13 如果被喷丸零件的表面比弧高度试片硬,则应延长喷丸时间,以达到 100%的表面覆盖率。
- 7.14 零件的喷丸区内不应做硬度试验。
- 7.15 对孔进行喷丸时,应按表 6 修正喷枪转速。

表 6 用 9/16~5/4 旋片喷小孔时喷枪转速的修正关系

| 喷枪转速 r/min(平面) | 孔直径 mm(in) | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| | 19.0~20.1 (0.75~0.79) | 20.3~21.6 (0.80~0.85) | 21.8~23.1 (0.86~0.91) | 23.4~24.6 (0.92~0.97) | 24.9~27.2 (0.98~1.07) | 27.4~30.2 (1.08~1.19) | 20.5 (1.20)以上 |
| | 对孔喷丸的喷枪速度 r/min | | | | | | |
| 1 500 | 2 700 | 2 500 | 2 300 | 2 100 | 1 900 | 1 600 | 1 500 |
| 2 000 | 3 600 | 3 300 | 3 000 | 2 800 | 2 600 | 2 300 | 2 000 |
| 2 500 | 4 500 | 4 100 | 3 700 | 3 400 | 3 200 | 2 800 | 2 500 |
| 3 000 | 5 300 | 4 900 | 4 500 | 4 100 | 3 800 | 3 400 | 3 000 |
| 3 500 | 6 200 | 5 700 | 5 200 | 4 700 | 4 400 | 3 900 | 3 500 |
| 4 000 | 7 100 | 6 500 | 5 900 | 5 500 | 5 100 | 4 500 | 4 000 |
| 4 500 | — | — | 6 600 | 6 100 | 5 700 | 5 000 | 4 500 |
| 5 000 | — | — | — | 6 800 | 6 300 | 5 600 | 5 000 |

表 6(续)

| 喷枪转速 r/min(平面) | 孔直径 mm(in) | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| | 19.0~20.1 (0.75~0.79) | 20.3~21.6 (0.80~0.85) | 21.8~23.1 (0.86~0.91) | 23.4~24.6 (0.92~0.97) | 24.9~27.2 (0.98~1.07) | 27.4~30.2 (1.08~1.19) | 20.5 (1.20)以上 |
| | 对孔喷丸的喷枪速度 r/min | | | | | | |
| 5 500 | — | — | — | — | 6 900 | 6 100 | 5 500 |
| 6 000 | — | — | — | — | — | 6 700 | 6 000 |
| 6 500 | — | — | — | — | — | — | 6 500 |
| 7 000 | — | — | — | — | — | — | 7 000 |

7.16 喷丸后如需对被喷零件加热处理,除特殊规定外,各种材料的最高加热温度应符合表 7 的要求。

表 7 喷丸零件的允许加热温度

| 材料 | 最高加热温度 ℃ |
|-----------------|-------------|
| 铝合金 | 93.3 |
| 低合金钢(246℃以下回火) | 148.9 |
| 低合金钢(246℃或以上回火) | 204.4 |
| 钛合金 | 246.1 |
| 镍基和钴基合金钢 | 537.8 |
| 冷加工 300 系列不锈钢 | 246.1 |
| 沉淀硬化不锈钢 | 246.1 |
| 其他的不锈钢 | 398.9 |

7.17 当旋片上的弹丸损失 20%以上时,应更换旋片。更换旋片后可不必再作喷丸强度试验。

8 喷丸的质量控制

8.1 检查

保留确定喷丸强度的弧高度试片,并用放大镜检查零件被喷表面的喷丸强度和表面覆盖率是否达到规定的要求。如果被喷零件的喷丸强度或表面覆盖率低于规定要求,应按 8.3 进行再次喷丸处理;如果被喷零件的喷丸强度或表面覆盖率高于规定要求时,应按不合格品处理。

8.2 记录

对零件进行旋片喷丸后,应如实记录:

- 零件名称、件号、序号、数量;
- 喷丸日期;
- 所用喷丸芯轴及旋片;
- 喷丸强度(测试强度和修正强度);
- 表面覆盖率达到 100%的时间;
- 喷枪的转速及喷丸表面覆盖率。

8.3 再次喷丸处理

8.3.1 经检验如发现零件的实际喷丸强度或表面覆盖率低于规定要求时,应进行再次喷丸处理。

- 8.3.2 再次喷丸所采用的强化工艺参数应符合规定的要求,而喷丸强度应取规定强度的下限进行喷丸。
- 8.3.3 再次喷丸处理后的强化质量应得到相关部门的认可。
- 8.3.4 再次喷丸后的表面覆盖率不应超过 600%。

9 喷丸后零件的处理

- 9.1 撤去零件表面的保护物。
- 9.2 清除喷丸使用过的旋片,并清除零件表面的弹丸及粉尘。
- 9.3 需要时,可用溶剂清洗零件表面。
- 9.4 无特殊要求时,不应以任何切削方式对喷丸后的零件表面进行表面去层加工。
- 9.5 当喷丸后的零件表面需进行表面切削加工时,应采用珩磨或研磨加工去层。对于铝合金和钛合金及抗拉强度超过 1 400 MPa 的结构钢,去层深度不应超过 A 试片喷丸强度值的 1/10。对于高温合金,因其表面粗糙度要求高,喷丸强度低,不应对喷丸面进行去层加工。
- 9.6 零件喷丸后,在其喷丸区内不应进行硬度试验。

附录 A
(资料性附录)
喷丸操作人员的培训与考核

A.1 培训

操作人员应了解和掌握：

- 喷丸强化的作用、基本原理，以及喷丸技术操作的要领；
- 喷丸强化工艺参数的标注方法，以及对各部位喷丸范围的要求；
- 喷丸强化专业名词的定义、技术术语的含义、符号等的表达意义；
- 喷丸工具的维护及调整；
- 喷丸强度和表面覆盖率的测试方法；
- 零件喷丸强化质量检验与控制；
- 零件非喷丸区的保护方法；
- 劳动安全与防护规则。

A.2 考核

A.2.1 考核内容

A.2.1.1 笔试

笔试考核内容为 A.1 中操作人员应了解和掌握的内容。

A.2.1.2 实际操作

实际操作程序为：

- a) 调整喷丸工具；
- b) 喷标准试片，直到达到规定的喷丸强度；
- c) 检验喷丸强度及试样的表面覆盖率，并把弧高度试片、被喷试样等提交考核人员受检和审批；
- d) 整理试验记录、书写试验小结。

A.2.2 考核用试样

试样的材质为：

- 结构钢(σ_b 为 1 200 MPa~1 500 MPa)；
- 铝合金(σ_b 为 420 MPa~520 MPa)。

试样的喷丸强度及表面覆盖率：

- 对结构钢应为 0.016A； $\geq 100\%$ ；
- 对铝合金应为 0.010A； $\geq 100\%$ ；
- 由考核部门另行规定。

A.2.3 考核周期

喷丸操作者应每 4 年进行考核。离开喷丸工种超过 1 年，在重新从事喷丸操作之前应进行考核。

参考文献

- [1] HB/Z 26-92 航空零件喷丸强化工艺通用说明书(REV:1992-10-04)
 - [2] BAC 5730-2 波音旋片喷丸技术标准(REV:(N) 27-JUL-1999)
 - [3] SOPM 20-10-03 波音喷丸强化标准工艺(REV: 01-MAR-2001)
 - [4] PMS 01-01-13 空客喷丸标准工艺(REV. NO. 01)
 - [5] MIL-R-81841 金属零件的旋片喷丸(REV: 9-FEB-1972)
-