

HB

中华人民共和国航空行业标准

FL 6200

HB/Z 26-2011
代替 HB/Z 26-1992

航空零件喷丸强化工艺

Shot peening of aircraft parts

2011-07-19 发布

2011-10-01 实施

国家国防科技工业局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号	3
4 一般要求	3
4.1 喷丸设备	3
4.2 零件的模拟件	4
4.3 夹具	4
4.4 喷丸介质	4
4.5 待喷零件	7
4.6 其他要求	7
5 工艺流程	7
6 工艺过程	8
6.1 喷丸前待喷零件的检查与准备	8
6.2 喷丸前对非喷丸区的保护	8
6.3 喷丸工艺参数的确定	8
6.4 模拟件的试喷	9
6.5 零件的喷丸	9
6.6 喷丸后的清理	10
7 质量控制与检验	10
8 喷丸后处理要求	10
9 操作人员的培训与考核	11
附录 A (规范性附录) 陶瓷弹丸技术要求	12
附录 B (规范性附录) 表面覆盖率的确定	13
附录 C (规范性附录) 弧高度试片	14
附录 D (规范性附录) 试片夹具和弧高度测具	15
附录 E (规范性附录) 喷丸强度的确定	17
附录 F (资料性附录) 喷丸强化效果与工艺参数优化的评价方法	18
附录 G (规范性附录) 操作人员的培训与考核	19

前 言

本指导性技术文件代替 HB/Z 26-1992《航空零件喷丸强化工艺通用说明书》。

本指导性技术文件与 HB/Z 26-1992 相比，主要变化如下：

- a) 标准名称改为了“航空零件喷丸强化工艺”；
- b) 适用范围中增加了“铝基复合材料和粉末合金的零件和部件”；
- c) 增加了“喷丸强化”、“残余应力”、“二次喷丸”、“对喷”、“欠喷”、“过喷”、“过渡喷”、“手动喷”、“自动喷”、“旋片喷”、“湿法喷丸”等术语定义；删除了“喷丸强化工艺参数”、“弧高度测具”和“合格与不合格”术语定义，并将其内容修改后放在了正文中；
- d) 增加了陶瓷弹丸介质及其要求和相关参数；
- e) 增加了二次喷丸的要求及相关内容；
- f) 增加了重喷、补喷、过喷和过渡喷的要求及相关内容；
- g) 增加了湿法喷丸的要求及相关内容；
- h) 完善了对零件喷丸检查的要求。

本指导性技术文件的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 G 为规范性附录，附录 F 为资料性附录。

本指导性技术文件由中国航空工业集团公司提出。

本指导性技术文件由中国航空综合技术研究所、北京航空材料研究院归口。

本指导性技术文件起草单位：中国航空工业集团公司北京航空材料研究院、西安航空发动机(集团)有限公司、成都飞机工业(集团)有限责任公司、第一飞机设计研究院。

本指导性技术文件主要起草人：高玉魁、王 强、彭 露、邵 阳、王雪元。

本指导性技术文件于 1992 年 10 月首次发布。

航空零件喷丸强化工艺

1 范围

本指导性技术文件规定了航空零件喷丸强化工艺的一般要求、工艺流程、工艺过程、质量控制与检验、喷丸后处理要求以及操作人员的培训与考核。

本指导性技术文件适用于在交变应力和应力腐蚀条件下工作的金属(如结构钢、不锈钢、铸铁、铝合金、镁合金、铜合金、钛合金、高温合金等)和铝基复合材料的零件和部件的喷丸强化。其他材料亦可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本指导性技术文件的引用而成为本指导性技术文件的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本指导性技术文件,然而,鼓励根据本指导性技术文件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指导性技术文件。

GB/T 6003.1 金属丝编织网试验筛

GSB A69001 喷丸强化弧高度标准试片

GSB Q34001 喷丸强化用玻璃珠

YB/T 5149 铸钢丸

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本指导性技术文件。

3.1.1

喷丸强化 shot peening

借助于高速运动的弹丸流使材料或零件表层发生弹塑性变形,在表层产生残余压应力,从而提高抗疲劳与应力腐蚀开裂等使用性能,以及改善零件表面完整性的形变强化改性工艺技术。

3.1.2

残余应力 residual stress

在无外加应力的作用下,存在物体内部并自身平衡的应力。

3.1.3

弧高度试片 arc height strip

阿尔门试片 almen strip

用来间接测试喷丸强化过程中冲击能量大小的试片,依据厚度的大小分为N、A、C三种。

3.1.4

弧高度 arc height

弧高度试片在弹丸的冲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,该基准面至球面最高点的距离。

3.1.5

弧高度曲线 arc height curve

在其他喷丸强化工艺参数不变的条件下,同一类型的试片分别按不同的时间(或喷丸次数)进行喷

丸,由此获得一组弧高度值随喷丸时间(或喷丸次数)变化的数据,由该组数据来绘制的弧高度与时间的关系曲线。

3.1.6

喷丸强度 shot peening intensity

任何一组喷丸强化工艺参数下的弧高度曲线上在饱和点(准饱和点)时的弧高度。过此饱和点弧高度值随时间的增加而缓慢增高。此饱和点在一倍于饱和点的喷丸时间下,弧高度值的增量不超过饱和点处弧高度值的10%。一组喷丸强化工艺参数下的弧高度曲线上只有一个喷丸强度。

3.1.7

表面覆盖率 surface coverage

受喷零件表面上弹丸坑占据的面积与受喷表面总面积之比值,通常以百分数表示。

3.1.8

二次喷丸 double shot peening

为了获得较好的残余压应力场和表面形貌,先采用高强度再采用低强度进行两次喷丸的工艺。

3.1.9

对喷 symmetrically shot peening

为了减小或避免薄件喷丸变形,对薄壁的两个面采用同样的工艺参数同时进行的喷丸。

3.1.10

欠喷 under shot peening

低于图样规定的喷丸强度或/和表面覆盖率的喷丸。

3.1.11

过喷 over shot peening

高于图样规定喷丸强度的喷丸。

3.1.12

补喷 mending shot peening

实际操作过程中的某些原因导致欠喷时,采用图样规定的喷丸强度下限进行的补救喷丸。

3.1.13

过渡喷 gradational shot peening

渐弱喷 gradational shot peening

为了缓和残余应力的分布梯度,由规定的喷丸区域将喷丸的覆盖率逐渐减小的喷丸。

3.1.14

手工喷 manual shot peening

采用手工方法进行的喷丸。

3.1.15

自动喷 automatic shot peening

采用自动化设备由计算机控制的喷丸。

3.1.16

旋片喷 flapping shot peening

采用粘有弹丸的旋片对零件局部区域或对服役零件进行现场维修、强化的喷丸。

3.1.17

湿法喷丸 wet shot peening

将弹丸介质与液体(通常为水)混合后在一定的动力驱动下对零件表面进行的喷丸。

3.1.18

模拟件试片夹具 simulated part clamp

将弧高度试片固定在适当定位试块中的一种夹具，用来测定待喷零件指定位置的喷丸强度。

3.1.19

喷射角度 **angle of shot peening**

喷嘴或离心轮喷射出的弹丸流中心线与零件外表面被喷射区域平面切线之间的夹角。

3.1.20

不合格弹丸 **simulated part clamp**

外形呈现尖锐棱角或长针状的弹丸、含有砂眼或气孔以及尺寸不符合规定要求的弹丸。

3.2 符号

下列符号适用于本指导性技术文件。

3.2.1 表示喷丸强度的符号

使用 N、A、C 三种弧高度试片表示测定出的喷丸强度时，符号为数字后分别跟字母 N、A、C，单位为毫米(mm)。

示例：某种喷丸强度为 0.4N，则表示此种喷丸工艺参数下用 N 试片测得的饱和点的弧高度值为 0.4 mm；喷丸强度为 0.3A，则表示此种喷丸工艺参数下用 A 试片测得的饱和点的弧高度值为 0.3 mm。

3.2.2 弹丸

弹丸的表示方法为字母加数字。字母表示弹丸材料的种类；数字表示弹丸的名义尺寸，单位为毫米(mm)。表示弹丸材料种类的字母如下：

BZ——玻璃弹丸；

CW——切制钢丝弹丸；

CZ——陶瓷弹丸；

ZG——铸钢弹丸。

示例：BZ10、BZ35 表示玻璃弹丸尺寸分别为 0.1mm 和 0.35mm；CW119、CW71 表示切制钢丝丸尺寸分别为 1.19mm 和 0.71mm；CZ15 和 CZ30 表示陶瓷弹丸尺寸分别为 0.15mm 和 0.30mm；ZG30、ZG140 表示铸钢弹丸尺寸分别为 0.3mm 和 1.4mm 的弹丸。

3.2.3 标注符号

当图样上标注“整个零件表面喷丸”时，表示除小于 $\phi 13\text{mm}$ 的孔外，零件的全部表面均需喷丸。图样上对喷丸区、非喷丸区、过渡区及任意喷丸区的标注符号如下：



——喷丸区，表示在所规定的区域内应进行喷丸，并达到所要求的喷丸强度和覆盖率。



——非喷丸区或禁止喷丸区，表示在所规定的区域内不允许有弹丸的痕迹，通常采用一定方式的保护将次区屏蔽。



——过渡喷丸区，表示在所规定的区域内喷丸覆盖率逐渐减小到 0%。



——任意喷丸区，表示在所规定的区域内可以完全不喷丸，也可采用不超过相邻区的喷丸强度进行喷丸。

4 一般要求

4.1 喷丸设备

4.1.1 概述

喷丸设备按自动控制程度分为自动控制(数控)喷丸机、机械控制(半自动)喷丸机和手工控制喷丸机三种。除对零件进行补喷时可采用手工控制喷丸机外,若图样上没有专门说明时,则宜采用自动控制或机械控制喷丸机。

4.1.2 机械控制喷丸机

机械离心式或气动式喷丸机,至少应满足以下要求:

- a) 能够提供稳定的可重复的喷丸强度和均匀覆盖率;
- b) 具有弹丸尺寸筛选和破碎弹丸分选装置,允许采用具有同等功能的机外独立装置;
- c) 机械离心式喷丸机的离心轮转速应能自动调节,调节范围通常为 600 r/min~4500 r/min;
- d) 气动式喷丸机的气路系统中应安装气压稳定器和油水分离器,喷丸后零件表面上不应有任何的水汽和油污痕迹;
- e) 喷丸室内应备有可供零件或喷嘴运动的装置,以使零件被喷区域的表面能获得均匀的喷丸;
- f) 由喷嘴或离心轮喷射出的弹丸流中心线与零件外表面被喷区域平面切线之间的夹角通常应大于 35°;
- g) 应配备抽风除尘装置。

对于湿法喷丸, b)、d)、g) 等不做要求。

4.1.3 自动控制喷丸机

自动控制离心式或气动式喷丸机除应具备 4.1.2 中机械控制喷丸机的要求外,还应满足以下要求:

- a) 能够提供既干燥又稳定的弹丸流,并应具备弹丸流的指示装置和断流指示或报警器;
- b) 具有计算机自动控制零件的喷丸时间、喷射角度、喷射流量和压力等功能。

4.1.4 手工控制喷丸机

手工控制喷丸机至少应满足 4.1.2 中 a)、d)、f)、g) 规定的要求。

4.2 零件的模拟件

为了达到图样规定的喷丸要求,需通过零件的模拟件来调整工艺参数。可直接以实际零件作为模拟件;也可自制模拟件,模拟件应满足以下要求:

- a) 应能放在承载零件的夹具上在喷丸室内接受喷丸;
- b) 模拟件上固定弧高度试片的位置与数量应能代表实际零件的主要喷射部位结构特征或满足图样规定的要求。

4.3 夹具

夹具应满足以下要求:

- a) 能提供零件(包括模拟件)在喷丸室内作一定方式的运动,以使被喷表面获得均匀的覆盖率;
- b) 在喷丸强化过程中,既可确保零件得到均匀的喷丸,又能确保零件运动过程中的稳定性、协调性,保证零件不随意运动。

4.4 喷丸介质

4.4.1 分类

喷丸介质按形状分为球形和丝状等;按材料分为金属弹丸(包括铸钢丸和切制钢丝弹丸)、玻璃弹丸和陶瓷弹丸等。

4.4.2 金属弹丸

铸钢弹丸应符合 YB/T 5149 或其他相关标准中的要求,铸钢弹丸的尺寸规格见表 1;切制钢丝弹丸尺寸应符合表 2 的要求。

4.4.3 玻璃弹丸

玻璃弹丸应符合 GSB Q34001 或其他相关标准中的要求,尺寸规格应符合表 3 的要求。

4.4.4 陶瓷弹丸

陶瓷弹丸应符合附录 A 或相关标准中的规定,尺寸规格符合表 4 的要求。

表 1 铸钢弹丸的尺寸规格

筛网目号 No	筛孔尺寸 mm	弹丸在相应筛网上允许存在的最高和最低百分数							
		ZG140	ZG118	ZG100	ZG85	ZG60	ZG43	ZG30	ZG18
8	2.360	全通过							
10	2.000	最高 2%	全通过						
12	1.700	—	最高 2%	全通过					
14	1.400	最低 90%	—	最高 2%	全通过				
16	1.180	最低 98%	最低 90%	—	最高 2%				
18	1.000		最低 98%	最低 90%	—	全通过			
20	0.850			最低 98%	最低 90%	最高 2%			
25	0.710				最低 98%	—	全通过		
30	0.600					最低 90%	最高 2%		
35	0.500					最低 98%	—	全通过	
40	0.425						最低 90%	最高 2%	全通过
45	0.355						最低 98%	—	最高 2%
50	0.300							最低 90%	—
80	0.180							最低 98%	最低 90%
120	0.125								最低 98%

表 2 切制钢丝弹丸的尺寸规格及性能

弹丸标号	钢丝名义直径 mm	100 粒弹丸重量 g	最低显微硬度数值 HV
CW159	1.59	2.18~2.66	353
CW137	1.37	1.44~1.76	363
CW119	1.19	0.96~1.16	403
CW104	1.04	0.62~0.78	413
CW89	0.89	0.40~0.48	435
CW81	0.81	0.28~0.36	446
CW71	0.71	0.20~0.24	458
CW58	0.58	0.10~0.14	485
CW51	0.51	0.08~0.10	485
CW43	0.43	0.06~0.08	485
CW36	0.36	0.02~0.06	485

表 3 玻璃弹丸的尺寸规格

筛网目号 No	筛孔尺寸 mm	弹丸在相应筛网上允许存在的最高和最低百分数					
		BZ50	BZ35	BZ25	BZ20	BZ15	BZ10
25	0.710	全通过					
30	0.600	最高 5%					
35	0.500	-	全通过				
40	0.425	最低 90%	最高 5%				
45	0.355	-	-	全通过			
50	0.300	最低 95%	最低 90%	最高 5%	全通过		
60	0.250		-	-	最高 5%		
70	0.212		最低 95%	最低 90%	-	全通过	
80	0.180			-	最低 90%	最高 5%	
100	0.150			最低 95%	-	-	全通过
120	0.125				最低 95%	最低 90%	最高 5%
140	0.106					-	-
170	0.090					最低 95%	最低 90%
200	0.075						-
230	0.063						-
270	0.053						最低 95%

表 4 陶瓷弹丸的尺寸规格

筛网目号 No	筛孔尺寸 mm	弹丸在相应筛网上允许存在的最高和最低百分数					
		CZ50	CZ35	CZ25	CZ20	CZ15	CZ10
25	0.710	全通过					
30	0.600	最高 5%					
35	0.500	-	全通过				
40	0.425	最低 90%	最高 5%				
45	0.355	-	-	全通过			
50	0.300	最低 95%	最低 90%	最高 5%	全通过		
60	0.250		-	-	最高 5%		
70	0.212		最低 95%	最低 90%	-	全通过	
80	0.180			-	最低 90%	最高 5%	
100	0.150			最低 95%	-	-	全通过
120	0.125				最低 95%	最低 90%	最高 5%
140	0.106					-	-
170	0.090					最低 95%	最低 90%
200	0.075						-
230	0.063						-
270	0.053						最低 95%

4.4.5 弹丸的选择原则

应依据零件的材料、结构特征和喷丸强度等选择弹丸，主要原则如下：

- a) 对材料强度 $\sigma_b \geq 1600$ MPa 的零件，宜采用硬度高于 55HRC 的弹丸；
- b) 对无污染要求的零件，可采用铸钢弹丸或切制钢丝钢丸；
- c) 对铝合金、钛合金、高温合金、铝基复合材料等零件，宜采用陶瓷弹丸或玻璃弹丸；若采用铸钢弹丸或切制钢丝弹丸，喷丸后应进行清理；
- d) 对薄壁低强度零件，宜采用玻璃弹丸或陶瓷弹丸；
- e) 对于圆角的喷丸，弹丸直径尺寸应小于喷丸区内最小圆角半径的 1/2；
- f) 对于键槽的喷丸，弹丸直径尺寸应小于键槽宽度的 1/4；
- g) 达到同样喷丸强度要求的前提下，宜选用较大尺寸的弹丸。

4.5 待喷零件

待喷零件应满足以下要求：

- a) 若无特殊要求，飞机零件喷丸前的表面粗糙度 R_a 最大允许值为 $3.20\mu\text{m}$ ，发动机零件喷丸前的表面粗糙度 R_a 最大允许值为 $1.60\mu\text{m}$ ；
- b) 表面应清洁干燥、无油污、无喷丸可能被遮盖的缺陷，无氧化皮、镀层、漆层、磕碰伤等；
- c) 所有边角的修整和倒圆应符合表 5 要求，若图样有特殊要求，应符合图样要求。

表 5 锐边和棱角的倒圆处理

喷丸强度 A mm	喷丸区域零件厚度 mm	圆角半径 R mm		
		钢	铝合金	钛合金
<0.20	1~2	0.25~0.80	0.50~0.80	0.25~0.80
0.20~0.36	2~3	0.25~1.00	0.50~1.00	0.25~1.00
	3~5	0.25~1.00	0.80~1.60	0.25~1.00
0.36~0.60	3~4	0.50~1.60	1.00~1.60	0.50~1.60
	4~6	0.50~1.60	1.00~2.00	0.50~1.60
>0.60	5~6	0.50~1.60	1.00~2.20	0.50~1.60
	>7	0.50~1.60	1.20~2.20	0.50~1.60

注：设计无要求时对于厚度小于 1mm 的零件，一般不采用喷丸方法进行表面强化，以避免产生零件的变形。

4.6 其他要求

4.6.1 相关工序安排

- 4.6.1.1 需要无损检测的零件，检测应在喷丸前进行。
- 4.6.1.2 热处理应在喷丸前进行。
- 4.6.1.3 电镀和刷镀等表面处理应放在喷丸强化处理后进行。

4.6.2 标注

应按 3.2.3 要求在图样上进行标注。

5 工艺流程

工艺流程图见图 1。

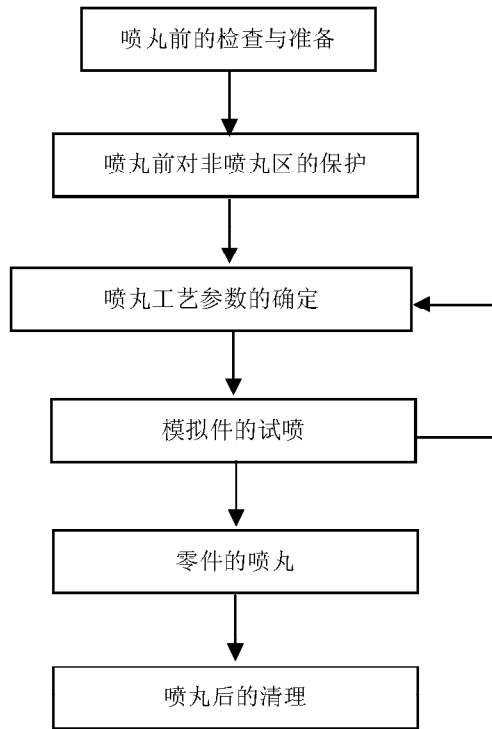


图 1 工艺流程图

6 工艺过程

6.1 喷丸前待喷零件的检查与准备

6.1.1 喷丸前待喷零件的检查

6.1.1.1 检查待喷丸的零件，零件应符合 4.5 的要求。

6.1.1.2 对于返修喷丸的零件，应在喷丸前褪除镀层和漆层；必要时可按相关技术条件规定对零件表面进行清洗。

6.1.2 喷丸前的准备

6.1.2.1 喷丸前目视检查喷丸机的喷嘴，喷嘴不应堵塞，不应有腐蚀物、油脂等，必要时应对其进行清洗和清除。

6.1.2.2 检查所使用的弹丸，弹丸应符合图样和 4.4 的规定。不合格弹丸在喷丸机内的含量不应超过机内总量的 15%。可根据单层铺满 15mm² 或 10mm² 的面积以目视检验出不合格弹丸的比例。

6.1.2.3 检查喷丸机内的弹丸数量，其数量应满足连续喷丸的要求。对于钢弹丸或切制钢丝弹丸，往喷丸机内装入新弹丸(或在喷丸生产过程中需往喷丸机内补充新弹丸)的量超过机内总量的 10%时，在正式喷丸强化零件前应使全部弹丸在一块钢件上(40HRC~45HRC)至少循环 3 次，然后才可用于生产中。

6.1.2.4 检查设备的弹丸筛选和分选装置、弹丸提升装置，均应处于正常状态。

6.1.2.5 检查零件夹具，应齐全并符合 4.3 要求。

6.2 喷丸前对非喷丸区的保护

对不要求喷丸的部位进行适当的保护(零件有加工余量除外)。一般对于面积较大的非喷丸区，可采用夹具进行遮蔽保护；对于面积较小的非喷丸区，可采用塑料薄膜、胶带或胶布等进行遮蔽保护。非喷丸区的界限偏差一般为 0~3mm 或按图样规定，特殊情况下可以保护到 5mm~6mm。

6.3 喷丸工艺参数的确定

6.3.1 概述

按图样要求,选择喷丸强化所采用的弹丸材料、弹丸硬度、弹丸规格、压缩空气压力或离心轮转速、喷丸距离、喷射角度、零件受喷时间等参数,以获得指定的喷丸强度与受喷零件的表面覆盖率。若图样没有规定喷丸强度,可参照表 6 或相应标准规定确定零件的喷丸强度。当图样上只给定一个喷丸强度数值而没有给定范围时,喷丸强度的容差仅限正容差,且最高范围为 30%或容差不应小于 0.08mm,两者取较大值。

表 6 零件喷丸强度的选择

零件厚度 mm	喷丸强度 mm				
	$\sigma_b < 1400\text{MPa}$ 钢	$\sigma_b \geq 1400\text{MPa}$ 钢	铝合金(钢丸/陶瓷弹丸)	铝合金(玻璃丸)	钛合金
1~2	0.08A~0.16A	0.08A~0.15A	0.10A~0.15A	0.10N~0.20N	0.06A~0.14A
2~3	0.16A~0.20A	0.15A~0.25A	0.15A~0.25A	0.12N~0.20N	0.14A~0.20A
3~4	0.20A~0.26A	0.25A~0.35A	0.25A~0.35A	0.20N~0.24N	0.15A~0.25A
4~5	0.26A~0.34A	0.25A~0.35A	0.25A~0.35A	0.24N~0.30N	0.15A~0.25A
5~6	0.34A~0.40A	0.25A~0.35A	0.25A~0.35A	0.30N~0.40N	0.15A~0.25A
>6	0.34A~0.40A	0.25A~0.35A	0.25A~0.35A	0.30N~0.35N	0.15A~0.25A

6.3.2 零件喷丸区的确定

按图样要求,确定零件的喷丸区。

6.3.3 表面覆盖率的确定

6.3.3.1 除图样上有专门规定外,图样给出的覆盖率应为最低值,所有受喷表面的覆盖率不应低于 100%,应在零件上或与零件表面具有相同材料、相同硬度的试块上测定覆盖率。表面覆盖率的确定方法见附录 B。

6.3.3.2 调整各工艺参数,直到覆盖率达到图样规定。

6.3.4 喷丸强度的确定

6.3.4.1 选择喷丸强度所使用的弧高度试片,使其符合附录 C 和 GSB A69001 的要求,当喷丸强度低于 0.15A 时,应采用 N 试片;当喷丸强度在 0.15A~0.60A 范围时,应使用 A 试片;当喷丸强度大于 0.60A 时,则应采用 C 试片。试片夹具和弧高度测具应符合附录 D 的要求。

6.3.4.2 将试片夹具分别固定在图样规定的各个喷丸部位的模拟件上,再把试片固定在夹具上。

6.3.4.3 将模拟件放入喷丸室内,调整喷嘴(或离心轮)至各试片之间的距离与角度(喷嘴至试片的距离通常处于 100 mm~200 mm 的范围)。进行喷丸。卸下试片以非喷丸面为基准面测量其弧高值。卸下的喷丸试片不应再次使用。重新装上新试片,喷丸、测量弧高度。用至少 4 片试片经不同时间(或喷丸次数)喷丸之后,获得一条弧高度曲线。由该曲线根据附录 E 确定喷丸强度。

6.3.4.4 当由按 6.3.4.1~6.3.4.3 测得的喷丸强度高于或低于图样规定值时,则应调整工艺参数,达到图样规定值。

6.4 模拟件的试喷

按调节好的工艺参数对模拟件进行试喷,观察喷丸过程中的工艺参数稳定性、喷丸过程零件与喷嘴的运动情况。若喷丸强度超过规定范围,则应重新调整喷丸强化工艺参数和试喷,直到满足喷丸强化的技术要求,并记录喷丸强化的工艺参数。喷丸强化效果与工艺参数优化的评价方法参见附录 F。

6.5 零件的喷丸

除图样另有规定,零件应在不受外力的自由状态下(预应力除外)进行喷丸,对于小孔的喷丸,可采

用旋片或小孔喷枪进行喷丸。

6.6 喷丸后的清理

6.6.1 撤去零件表面的保护物。

6.6.2 清除零件表面的弹丸及粉尘(清除方式可采用棉纱或压缩空气吹)。

6.6.3 需要时,可采用相应的清洗剂清洗零件表面。

7 质量控制与检验

7.1 按 GB/T 6003.1 规定的筛网或相应的标准要求对弹丸尺寸进行检测。

7.2 在喷丸生产过程中,按以下时间间隔规定进行喷丸强度的检验:

- a) 当一批零件可在 4h(或 8h)之内完成时,完成最后一个零件后应再进行一次检验;
- b) 每连续工作 4h(或 8h)之后,应进行一次检验,合格则表明前 4h(或 8h)的强化质量合格,同时表明可连续进行零件的喷丸处理;
- c) 检验员认为必要时,随时可进行检验。

7.3 按附录 B 中的任一种方法确定每个零件的表面覆盖率;对不易观察的内孔表面,应使用内孔探视镜进行检查。

7.4 喷丸强度的检验结果,只有得到质检部门的认可并确认之后,喷丸工序方可继续进行。

7.5 同一种零件提交检验时,应附下列经过喷丸的试片:

- a) 提交首批喷丸零件时,应附首次作过的一组(或几组)弧高度曲线的试片或非标准试片;
- b) 在提交首批之后的后续喷丸零件时,只附一片(或几片)作过喷丸强度的试片或非标准试片。

7.6 若提交的喷丸零件过喷或表面出现折皱、裂纹等缺陷时,则应按不合格品处理。

7.7 若提交的喷丸零件欠喷时,应认为该批喷丸件为待处理品,经质检部门认可后,可对其进行补喷处理。

7.8 对每一批零件的首件、关键件或重要件在喷丸强化检验合格后,应记录下列项目:

- a) 零件图号、零件编号;
- b) 零件的批次号;
- c) 本批喷丸强化零件的总数;
- d) 喷丸操作人、操作日期、检验员、检验日期;
- e) 喷丸机型号设备编号;
- f) 弹丸材料、规格/尺寸及硬度;
- g) 喷嘴(或离心轮)数目及其与零件(或模拟件)各部位之间的距离及角度(宜附草图表示);
- h) 各个喷嘴的空气压力或离心轮转速;
- i) 零件各部位规定的喷丸强度和实际的喷丸强度(试片多时宜附示意图和/或试片编号说明);
- j) 实际的覆盖率;
- k) 一次装机单个(或数个)零件在喷丸室内的喷丸时间(即零件被喷表面处于弹丸流和离开弹丸流的时间之和);
- l) 工艺/工序记录卡。

操作人员应将各项记录随着每批零件一起递交质检部门备查,保存期由承制单位自定。

8 喷丸后处理要求

8.1 图样上无专门注明时,喷丸后的零件表面不允许以任何方式进行表面去层加工。

8.2 当喷丸后的零件表面因配合装配或表面处理工序等要求而需要进行表面切削加工时,只允许采用珩磨或研磨去层。去层深度不应超过残余压应力层深度或喷丸强度的 1/10~1/5;对于铝合金、钛合金及抗拉强度低于 1400MPa 的结构钢,去层深度应不超过 1/5;对于高强度钢则不应超过 1/10。对于抗拉

强度超过 1400MPa 的结构钢，去层深度应不超过 1/10。对于发动机叶片，只允许采用振动光饰去层。

8.3 对于高温合金零件(如压气机叶片、压气机盘、涡轮叶片、涡轮盘等)，喷丸零件的加热温度不应超过该零件在服役条件下的工作温度。

8.4 不允许采用喷丸以外的其他机械方法对喷丸强化件进行校形；当机械校形不可避免时，校形后应重新喷丸。

8.5 零件的喷丸区内不允许做硬度试验。

8.6 精加工件在喷丸之后，应采取防护处理，以防表面损伤。

8.7 喷丸以后的工序中若需对喷丸件加热处理时，则各种材料的最高加热温度上限应依据材料的特征和喷丸强化效果而定，除特殊规定外，加热上限温度不应超过表 7 中的规定。

表 7 喷丸后材料的加热上限温度

材料种类	结构钢	不锈钢	铝合金	镁合金	钛合金	镍基/钴基 高温合金	粉末 高温合金
上限温度范围，℃	245	400	105	95	315	538	600

9 操作人员的培训与考核

按附录 G 进行。

附 录 A
(规范性附录)
陶瓷弹丸技术要求

A.1 陶瓷弹丸的组分应符合表 A.1 中的规定,显微硬度应在 643HV~785HV 之间。组织为密集的 ZrO₂ 晶相与 SiO₂ 非晶相,如图 A.1 所示。

表 A.1 陶瓷弹丸的组分

组 分	含 量 %	
	最 少	最 多
ZrO ₂	60	70
SiO ₂	28	33
Al ₂ O ₃	0	10
其他	0	3

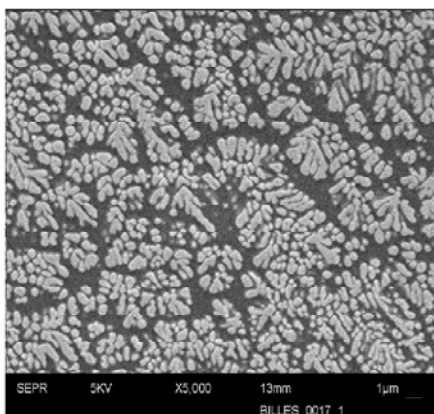


图 A.1 陶瓷弹丸的显微组织

A.2 21℃下,采用密度法测定的体密度在 3.60g/cm³~3.95g/cm³ 之间。测定的具体方法为:在干燥的陶瓷弹丸中取 60g±0.1g 的弹丸,然后将取出的弹丸放入装有 50mL 去离子水的 100mL 圆柱形量杯中,计算得出的水面变化数值即为弹丸的体积。陶瓷弹丸密度按公式(A.1)计算:

$$\rho = m/v \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- ρ ——密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- m ——陶瓷弹丸的质量,单位为克(g);
- v ——陶瓷弹丸的体积,单位为立方厘米(cm³)。

附录 B
(规范性附录)
表面覆盖率的确定

B.1 概述

通常以达到 98% 的覆盖率作为 100% 的判定准则，在此基础上将喷丸时间乘以 1.25 倍，作为喷丸完全覆盖时间，即覆盖率为 100%。以 100% 覆盖率喷丸时间的 2 倍作为 200% 覆盖率的喷丸时间，此时喷丸覆盖率为 200%，依次类推。

B.2 表面覆盖率的确定

可采用下列方法确定试样或零件的表面覆盖率：

- a) 用 10 倍以上(含 10 倍)的放大镜、内窥镜、荧光液或荧光笔、聚氯乙烯覆膜等方法检测判断试样或零件的表面覆盖率；
- b) 对表面渗氮或渗碳的钢零件以及硬度高于弹丸硬度的零件，应采用表面涂抹荧光液检测覆盖率，并依次作为覆盖率验收依据；
- a) 对小于 100% 的表面覆盖率可采用与图 B.1 进行比对的方法，判定试样或零件的表面覆盖率，图 B.1 为喷丸试样不同表面覆盖率形貌。

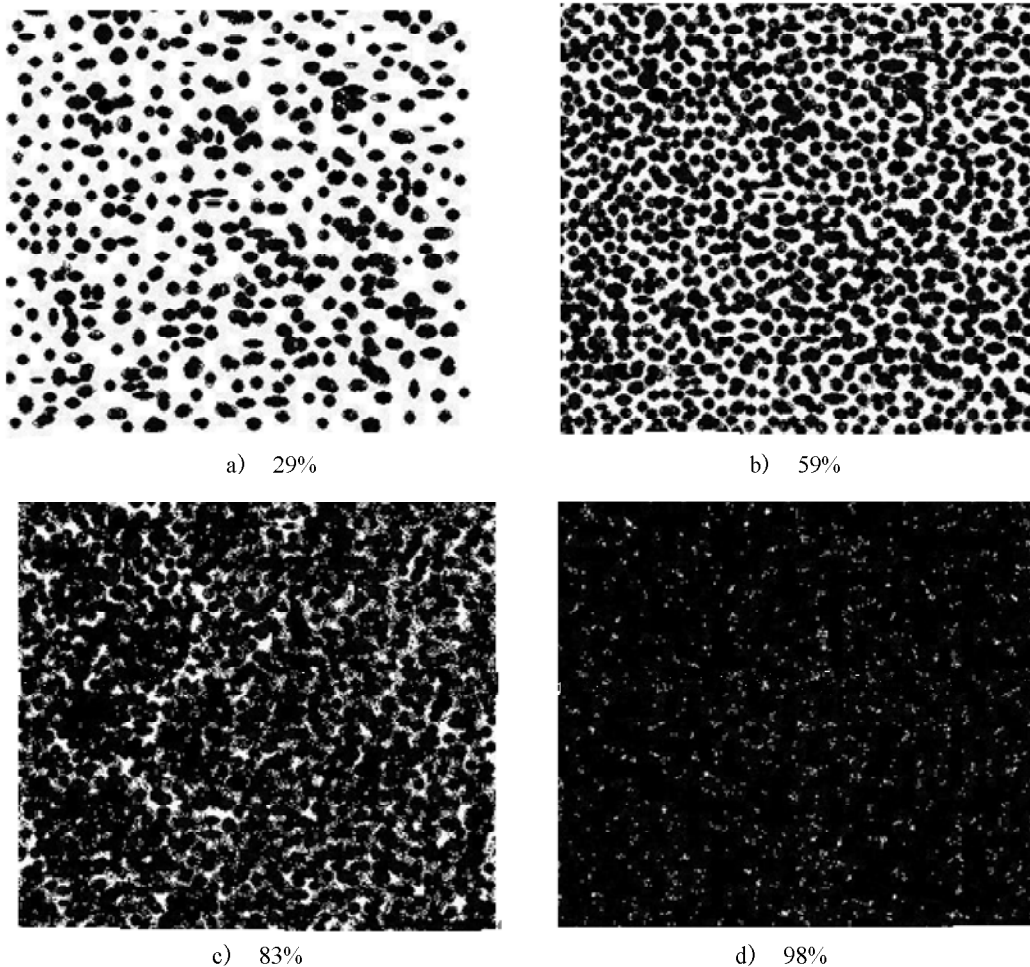


图 B.1 喷丸试样不同表面覆盖率形貌

附 录 C
(规范性附录)
弧高度试片

C.1 概述

弧高度试片用于间接测定喷丸强化时的表面冲击能量。

C.2 弧高度试片规格

弧高度试片由 70 号弹簧钢制成，依据试片的厚度不同分为 N、A、C 三种规格，具体的尺寸要求见表 C.1。

表 C.1 三种弧高度试片的规格要求

试片技术指标参数	试片规格与代号		
	N	A	C
厚度, mm	0.79 ± 0.025	1.29 ± 0.025	2.39 ± 0.025
宽度, mm	$19 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$	$19 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$	$19 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$
长度, mm	76 ± 0.2	76 ± 0.2	76 ± 0.2
平面度, mm	± 0.025	± 0.025	± 0.025
粗糙度 R_a , μm	0.63~1.25	0.63~1.25	0.63~1.25
表面硬度 HRC	44~50	44~50	44~50

注：三种弧高度试片的换算关系为：1A \approx 3.3N，1C \approx 3A。

附录 D
(规范性附录)
试片夹具和弧高度测具

D.1 试片夹具

试片夹具用于固定弧高度试片，主要采用工具钢制成，材料的硬度不低于 55HRC。弧高度试片夹具的形状与尺寸应符合图 D.1 的要求。

D.2 弧高度测具

弧高度测具用于测定试片经喷丸后在所规定长度/跨度范围内形成的弧高度数值。弧高度测具的示意图见图 D.2。四个钢球的平面度不应超过 0.05 mm。

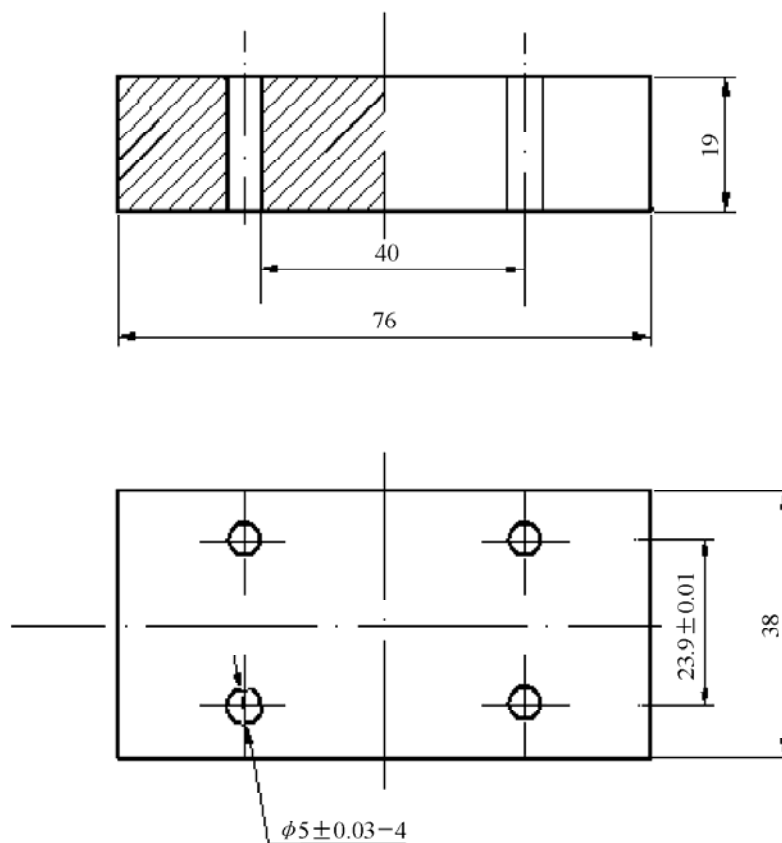
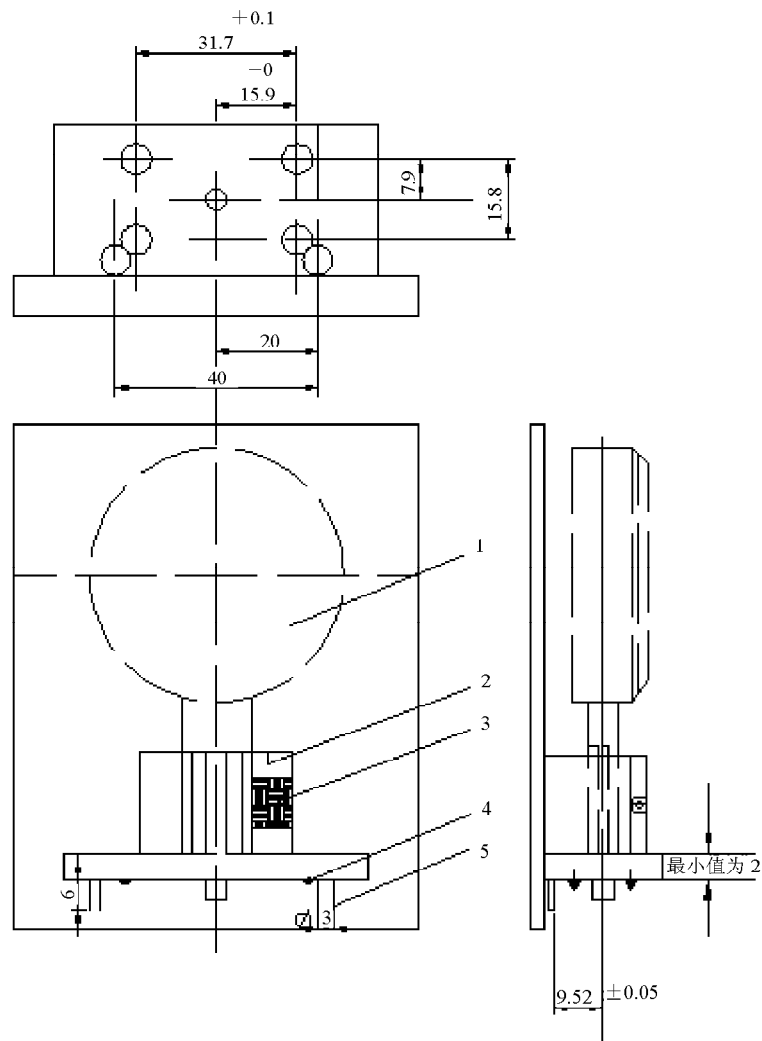


图 D.1 固定弧高度试片夹具的形状与尺寸



1—百分表(后配); 2—百分表支架; 3—百分表固定螺钉;
4—淬火钢球($d=5\text{mm}$); 5—试片定位销(碳素钢, 淬火)

图 D. 2 弧高度试片测具的示意图

附录 E
(规范性附录)
喷丸强度的确定

E.1 绘制弧高度曲线

在其他喷丸强化工艺参数不变的条件下,用同一类型的试片分别接受不同长度时间的喷丸,由此获得一组弧高度值随喷丸时间(或喷丸次数)变化的数据,由该组数据绘制成弧高度与时间的关系曲线。

E.2 喷丸强度的确定

在弧高度曲线上存在一个饱和点 T_1 (或准饱和点),过饱和点后弧高度数值随喷丸时间的延长缓慢增加,在高于一倍的时间内弧高度的数值 T_2 ,其弧高度增量不超过饱和点数值的 0.1 倍。依据 4 点以上的弧高度曲线拟合分析得出饱和点的弧高度数值,即喷丸强度,见图 E.1。

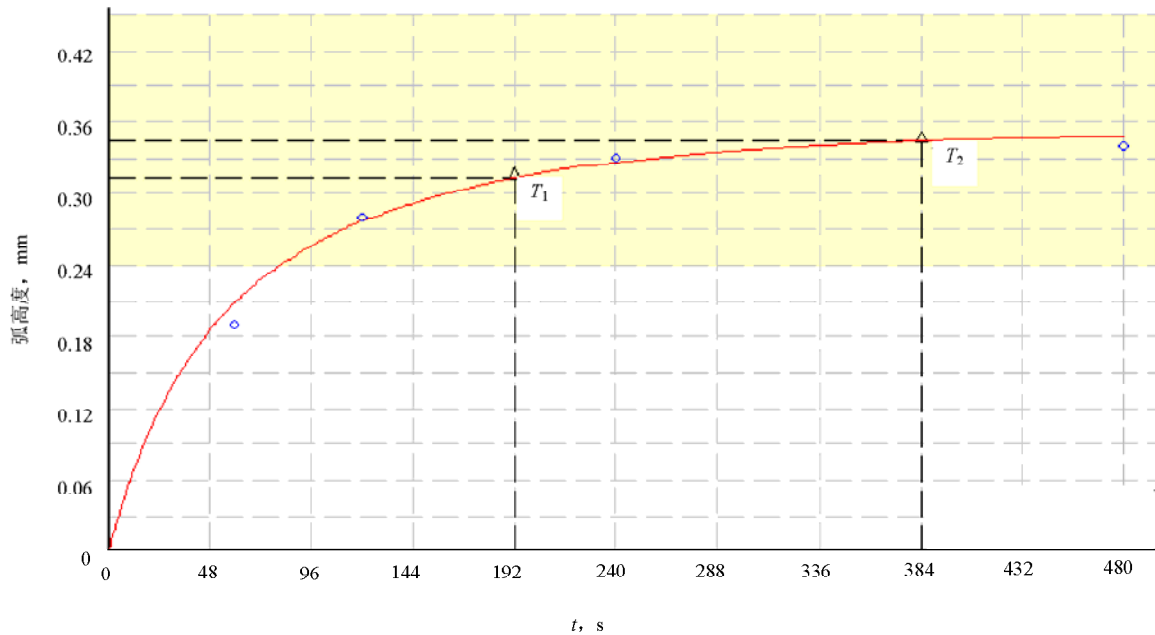


图 E.1 喷丸强度的确定方法

附录 F

(资料性附录)

喷丸强化效果与工艺参数优化的评价方法

喷丸强化效果与工艺参数优化的评价方法如下：

- a) 在 $1.6\sigma_w$ (σ_w 为未表面强化试样的疲劳强度/极限) 应力水平下，对比不同工艺下喷丸强化试样（每组 10 根，至少 3 组）的最低疲劳寿命；
- b) 测定不同工艺参数下试样的疲劳强度/极限，对比疲劳强度/极限的比值。

附录 G
(规范性附录)
操作人员的培训与考核

G.1 操作人员的培训

G.1.1 操作人员的培训，应使喷丸操作人员了解喷丸强化的作用、基本原理，学习和掌握喷丸技术操作的要领。

G.1.2 经培训后，操作人员应了解和掌握以下知识和操作技能：

- a) 喷丸强化专业名词的定义、技术术语的含义、符号的表达意义；
- b) 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；
- c) 喷丸设备的操作、检查与调整；
- d) 弹丸的种类、尺寸规格及质量的要求与控制；
- e) 零件夹具及零件模拟件的功用及使用方法；
- f) 喷丸强度的测定方法；
- g) 表面覆盖率的确定方法；
- g) 零件喷丸强化质量检验与控制程序；
- h) 零件非喷丸区的保护方法；
- i) 喷丸设备常见的故障和判断以及排除方法；
- j) 劳动安全与防护规则。

G.2 操作人员的考核**G.2.1 考核形式**

考核形式包括笔试和操作考核。

G.2.2 笔试

笔试内容一般包括：

- a) 喷丸强化的基本概念；
- b) 喷丸强化的标注方法；
- c) 弹丸的选择原则；
- d) 弹丸的种类、尺寸规格及质量的要求与控制；
- e) 喷丸强度的测定方法；
- f) 表面覆盖率的确定方法。

G.2.3 操作考核**G.2.3.1 考核用试样**

考核试样由考核部门根据实际情况确定，推荐的考核试样如下：

- a) 结构钢($\sigma_b=1200\text{MPa}\sim 2000\text{MPa}$)：喷丸强度为 0.25A~0.35A；表面覆盖率分别为 100%，200%；
- b) 铝合金($\sigma_b=420\text{MPa}\sim 600\text{MPa}$)：喷丸强度为 0.15A~0.25A；表面覆盖率分别为 100%，200%；
- c) 钛合金($\sigma_b=720\text{MPa}\sim 1200\text{MPa}$)：喷丸强度为 0.15A~0.25A；表面覆盖率分别为 100%，200%，400%。

G.2.3.2 操作**G.2.3.2.1 自动、机械控制喷丸操作程序**

考核内容一般包括：

- a) 调整喷丸设备；

- b) 测定弧高度曲线，并由此确定达到规定喷丸强度可固定的各种喷丸工艺参数(如喷嘴距离、角度、弹丸速度、喷射时间等)；
- c) 喷射试样，并检验其覆盖率；
- d) 试样的遮蔽区内不应有弹丸的痕迹；
- e) 试样喷丸后，连同弧高度试片提交考核人员受检和审批；
- f) 整理试验记录，编写记录卡。

G.2.3.2.2 手工控制喷丸机操作程序

考核内容一般包括：

- a) 调整喷丸设备；
- b) 手工移动喷嘴，喷射试片、测定弧高度值并绘制弧高度曲线，直至达到所规定的喷丸强度；
- c) 根据上述操作对试样进行手工喷丸；
- d) 检验喷丸强度及试样的覆盖率，并把弧高度试片、被喷试样、自控结果等提交考核人员受检和审批；
- e) 整理试验记录，编写记录卡。

G.3 合格证的颁发

对于考核成绩合格者应颁发操作人员合格证，合格证有效期为三年。对离开本工种超过一年以上者，重新从事喷丸操作之前应进行考核。

中华人民共和国航空行业标准

航空零件喷丸强化工艺

HB/Z 26—2011

*

中国航空综合技术研究所出版

(北京东外京顺路7号)

中国航空综合技术研究所印刷车间印刷

北京1665信箱发行

版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 $\frac{3}{4}$ 字数 51 千字

2011年10月第一版 2011年10月第一次印刷

印数 1—400

*

书号: 标 301.2592 定价 27.00 元