

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T 3027—2013

热喷涂涂层结合强度测试

Test method for adhesion or cohesion strength of thermal spray coatings

2013 – 09 – 10 发布

2013 – 12 – 01 实施

中国民用航空局 发布

前 言

本标准依据GB/T 1.1-2009的规则编写。

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局航空器适航审定司批准立项。

本标准由中国民航科学技术研究院归口。

本标准起草单位：中国民航大学。

本标准主要起草人：朱晨、邹慧、赵立新、柴立全。

热喷涂涂层结合强度测试

1 范围

本标准规定了热喷涂涂层结合强度检测方法。

本标准适用于厚度大于0.38 mm(0.015 in)的热喷涂涂层垂直于涂层表面方向上的结合强度的检测。

注：本标准中的涂层结合强度是指热喷涂涂层的内聚强度和与基底之间的结合强度。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ASTM E4 拉伸试验机的载荷校准（Standard Practices for Force Verification of Testing Machines）

3 仪器设备

3.1 拉伸试验装置应符合 ASTM E4 的规定。测试结合强度时，施加的载荷应在 ASTM E4 中所规定的试验机的载荷范围之内，载荷的最大允许误差应在±1.0%以内。应将位移速率控制在 0.013 mm/s (0.030 in/min) 和 0.021 mm/s (0.050 in/min)之间，并保持恒定，以逐渐增加拉伸载荷。试验机上应配有记录断裂发生前最大载荷的指示装置。

3.2 为避免在涂层上出现偏心负载或者弯曲载荷，应通过自动同轴装置对涂层和夹具施加拉伸载荷。当试验机不包含自动同轴装置时，可按图 1 制作并装配该装置。也可采用图 2 中的方案制作和装配。

4 粘接剂

4.1 粘接剂应由涂层的购买和生产双方决定。

4.2 粘接剂的拉伸强度应不小于涂层结合强度的最低要求值。

4.3 粘合剂应该具有足够的黏性，以确保其向涂层内部渗透的深度不超过 0.38 mm (0.015 in.)。某些采用固化剂室温固化的粘合剂（参见附录 A）符合以上渗透性要求。如果使用其他粘接剂，应与被证明符合本要求的粘接剂进行对比试验，对比试验应符合本规范的要求。

需加热固化的粘合剂，高温下粘度可能降低，从而向涂层内渗透。因此在使用此类粘合剂之前，应与被证明符合要求的粘接剂进行对比试验，当试验结果满意后，方可使用该粘合剂；

采用环氧类液态粘合剂时，应确保试样上胶的厚度均匀。

4.4 每次使用本方法进行检测时，都应确定粘合剂的粘结强度。

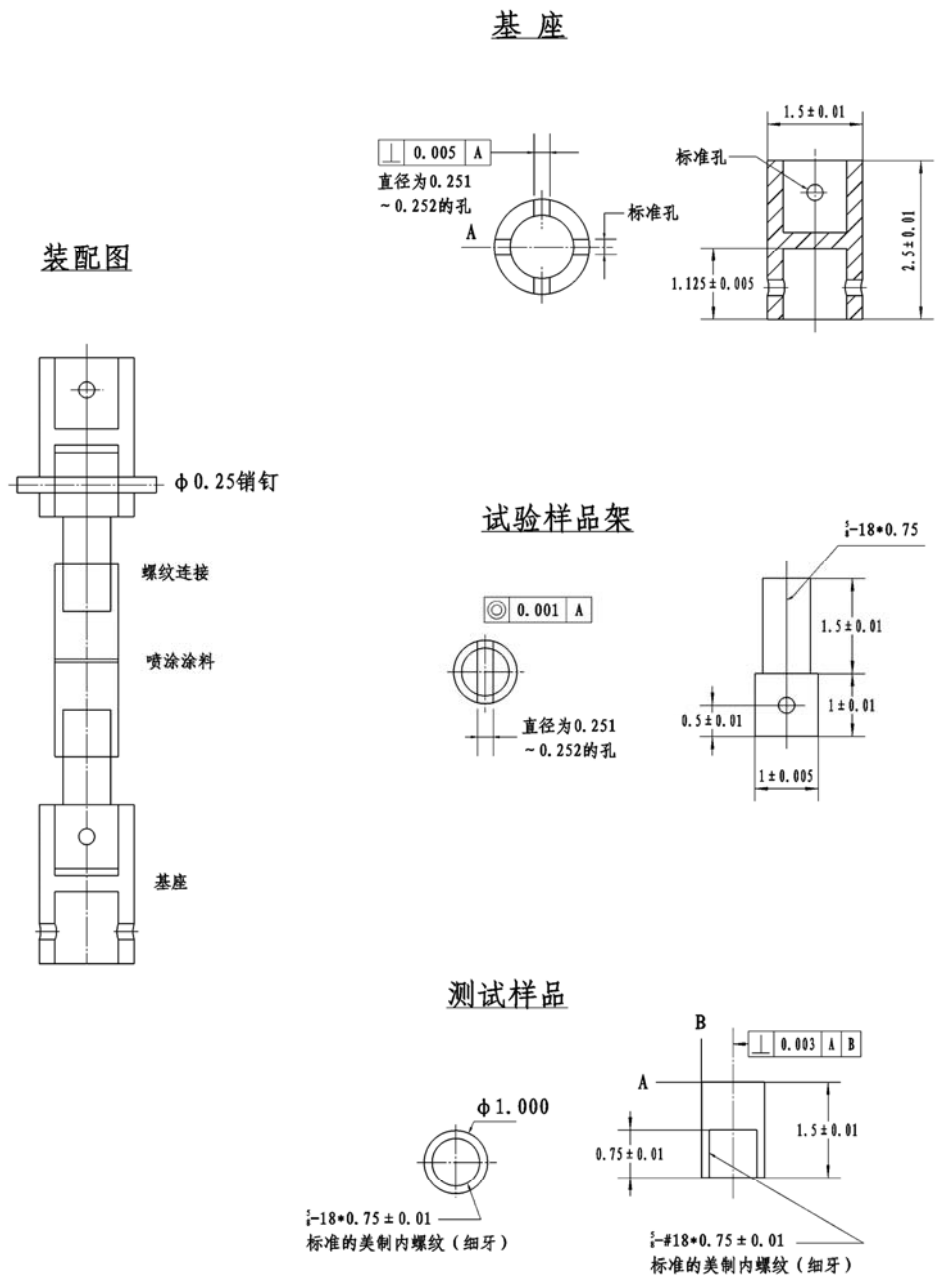


图1 自动同轴装置

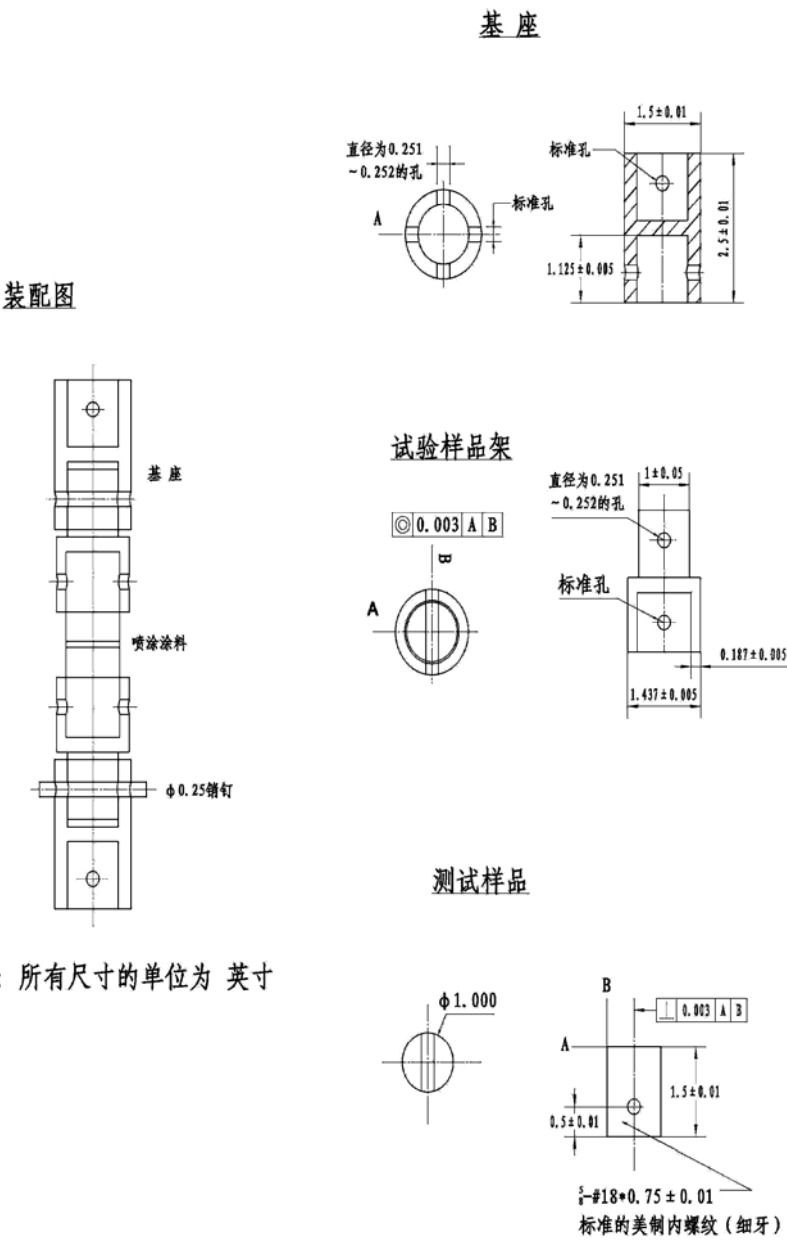


图2 另一种自动同轴装置方案

5 试样

5.1 基底块与加载块

5.1.1 通则

试样由加载块和涂有待测涂层的基底块构成。基底块与加载块应为长度不小于 38 mm (1.5 in) 的实心圆柱（见图 3），或由涂层的供需双方另行约定。基底块与加载块的末端应能安装在拉伸试验机的

自动同轴装置上。基底块及加载块的两端面应平行，并垂直于载荷轴线，端面的直径应不小于 23 mm (0.9 in)，且不大于 25 mm (1.0 in)。基底块直径与加载块直径应相等，且相差应不大于 0.5%。

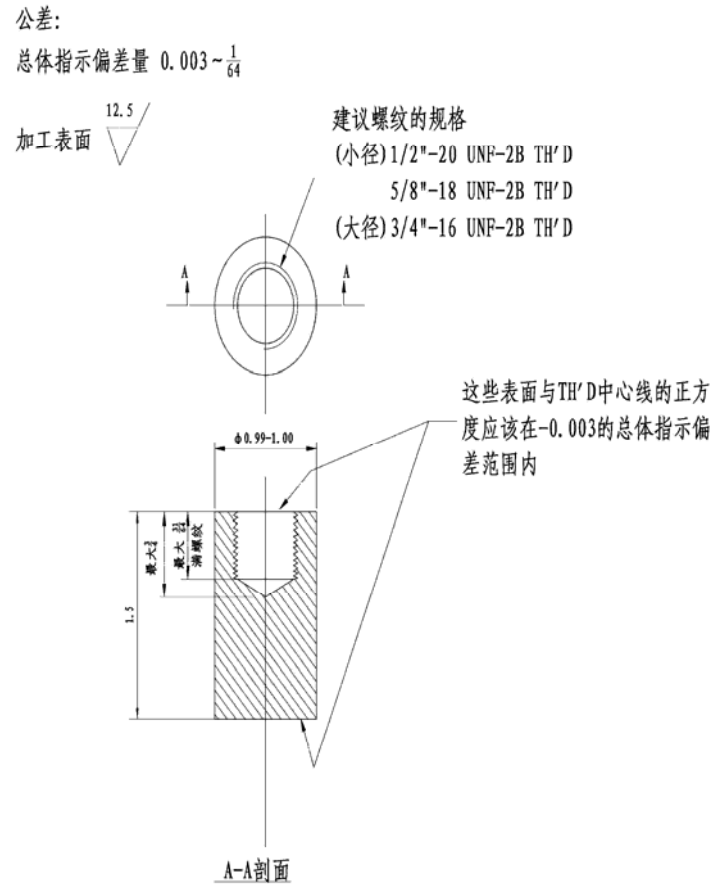


图3 基底块与加载块

5.1.2 基底块材料

基底块应用金属制作，宜采用与待测涂层的实际基底相同的金属材料。如果没有指定材料，则应采用 SAE 1018 或 1020 号钢制作基底块。

5.1.3 加载块

加载块应由金属制作，具体材料可任意选择。但为便于制作和使用，宜用与基底块相同的材料制作，便于与基底块互换。

5.2 涂层制备

基底块的待喷涂端面应按待测涂层施工规范进行表面准备，如喷砂或打磨粗化等。按规范要求准备好的表面上喷涂涂层。

5.3 涂层厚度

在喷涂前后用千分尺测量基底块的高度，以计算涂层厚度。涂层厚度应大于 0.38mm (0.015 in)。如果喷涂后需要对涂层进行研磨或车削，则涂层厚度应增加约 0.13 mm (0.005 in)，以留出加工余量。

涂层表面各点到基底块另一端面的高度变化应不大于 0.025 mm (0.001 in)。如果涂层表面高度变化大于 0.001 in (0.025 mm)，应研磨或车削涂层表面，或去除涂层重新喷涂。

5.4 涂层表面的研磨或车削

当涂层表面起伏过大时，应对其进行研磨或车削，以使基底块与加载块对接时保持端面平行且同轴。加工程序应按具体涂层材料制定，或向涂层制造商咨询。通常仅需粗略的研磨或车削即可使涂层表面起伏达到 5.3 的要求。涂层表面的研磨或车削不应损伤涂层或影响涂层与基底块的结合。宜采用带有电磁卡盘的打磨机，以便把带有涂层的基底块的背面固定在电磁卡盘上。涂层表面的加工不应采用喷砂等其他方法。

5.5 加载块与基底块的连接

加载块的粘接面应不带有油、润滑脂、研磨液或切削液。粘接面应采用机械方法去污，如机加工、研磨、轻微喷砂，或用干净棉布擦拭。用粘合剂将加载块的粘接面粘结到基底块的涂层上，并擦去多余的粘合剂。加载块与基底块应平行对中，并保持固定直至粘合剂固化。为确保加载块与基底块平行对中，应将试样放置在带 V 形槽的金属块上。如果涂层表面已被研磨或车削平整（见 5.4），则不需在 V 形槽中放置。

5.6 检测样本数量

检测样本的数量取决于检测目的。如用于验收，则每种试样应不少于 5 个。

6 检测过程

- 6.1 按要求数量准备基底块，并制备热喷涂涂层。根据需要，对涂层进行研磨或车削。
- 6.2 准备粘合剂。将清理过的加载块在尽可能短的时间内全部粘结到喷涂过的基底块上。另外，准备一组未喷涂过的加载块以测量粘合剂的结合强度。
- 6.3 应在相同的位移速率下对每个试样施加拉伸载荷，直至试样断裂，位移速率应为 0.013 mm/s (0.030 in./min)~0.021 mm/s (0.050 in./min)。记录施加的最大载荷。

7 计算方法

结合强度等于最大载荷除以横截面积。

8 测试结果分析

- 8.1 测试结果反映出涂层或界面的最薄弱部分。采用放大倍率达 100 的显微镜即可以观测到断裂部位。
- 8.2 当断裂全部发生在涂层和基底的界面上时，测试结果是涂层和基底的结合强度。
- 8.3 当断裂全部发生在涂层内部时，测试结果是涂层的内聚强度。
- 8.4 如果已知粘合剂的拉伸强度，且粘合剂的拉伸强度大于热喷涂涂层结合强度的最小要求值，断裂全部发生在粘合剂内部，测试结果表明涂层的结合强度大于此最小要求值。
- 8.5 当断裂发生在试样的多个部位时，则无法判断最初导致断裂的原因。
- 8.6 当涂层有多层结构，且断裂全部发生在相邻层之间时，测试结果是涂层的层间结合强度。

9 测试报告

报告应包括如下内容:

- a) 涂层和材料技术参数, 包括热喷涂设备型号, 喷涂参数;
- b) 涂层厚度以及表面是否抛光或者已喷涂的状态;
- c) 基底块材料;
- d) 基底块的表面状态;
- e) 粘合剂的名称及其技术参数, 以及粘结工艺的细节是否与生厂商操作说明有出入;
- f) 热喷涂试样的数量以及检测的试样数量;
- g) 每个被检测试样的结合强度;
- h) 结合强度的平均值、最大值与最小值, 单位用 Pa (或 psi) 表示;
- i) 试样断裂位置, 包括在涂层-基底界面处、涂层内、粘合剂内, 或者它们的连接处, 以及多层涂层的内部结合失效;
- j) 粘合剂的粘结强度。

10 精确度与误差

设计、基底材料和制造工艺, 以及涂层的喷涂都是结合强度的不确定因素, 每次使用本测试方法, 供需双方应共同确定测试结果的误差要求和误差解释达成一致。

附 录 A
(资料性附录)

适用于粘接涂层基底块与加载块的粘接剂

A.1 宜用于将加载块粘接到热喷涂金属涂层上的粘接剂

CONAP 1222, 生产商: CONAP公司(美国纽约州Allegheny, Union St., 184 E. 邮编14706)。

该粘接剂是一种双组份粘接剂, 在149 °C (300 °F) 下固化, 固化时间1 h。当使用新粘接剂时, 与热喷涂涂层的粘接强度最高可达约55 MPa (8 000 psi), 宜用于将加载块粘接到热喷涂金属涂层上, 而不宜用于粘接热喷涂氧化物涂层或其他多孔陶瓷涂层。

A.2 可用于粘接任何类型的热喷涂涂层, 包括金属涂层和陶瓷涂层的粘接剂

以下粘接剂可用于粘接任何类型的热喷涂涂层, 包括金属涂层和陶瓷涂层, 均为双组份粘接剂, 在本标准中应用时应在室温下固化。当使用新的粘接剂时, 与热喷涂涂层的粘接强度最高可达约28 MPa (4 000 psi):

——Bondmaster M666 或 M777。生产商: Pittsburgh Plate Glass 公司胶粘制品分部(美国新泽西州 Bloomfield, Belleville Ave., 225. 邮编 07003);

注: M777比M666粘度大, 可能更易于使用。

——Epon 911F, 生产商: Shell 化学公司粘接剂部(美国加利福尼亚 Pittsburgh 831 邮箱, 邮编 94565);

——Armstrong A-12, 生产商: Armstrong Products Co. (美国印第安纳州 Warsaw, Argonne Rd. 邮编 46580);

——Hysol XA7-H368 Grey, 生产商: Hysol 公司(美国纽约州 Olean. 邮编 14760)。
