

## 磁粉探伤——橡胶铸型法

## 1 适用范围

本标准适用于用磁粉探伤—橡胶铸型法(以下简称 MT-RC)检测铁磁性材料零件或构件孔壁的表面缺陷。可检测孔径范围不小于 3 毫米。如在飞机维修和疲劳试验时,可用来检测主梁螺栓孔和耳孔等孔壁的疲劳裂纹,并能监测疲劳裂纹的扩展。

本方法亦可用于常规情况下的磁痕复印。

## 2 方法原理

MT-RC 是将磁粉探伤所显示出来的缺陷磁痕采用室温硫化硅橡胶进行复印,根据复印所得的橡胶铸型进行目视或显微分析。因此它是特别适于检查孔壁裂纹的一种无损检测方法。

## 3 优点与局限

## 3.1 优点

- 检测灵敏度高,可发现长度为 0.1~0.5 毫米的早期疲劳裂纹。
- 可较精确测量裂纹长度,并可获得裂纹扩展数据。
- 裂纹磁痕与背景的对比度好,容易辨认。
- 工艺容易掌握,适于外场检查。
- 橡胶铸型可作为永久记录,长期保存。

## 3.2 局限

- 只限于铁磁性材料。
- 可检测的孔深受橡胶扯断强度的限制。
- 孔壁粗糙、孔形复杂、同心度差的多层结构的孔及其层间间隙均会增加脱膜的难度。

## 4 材料

## 4.1 胶料

MT-RC 所用橡胶材料为室温硫化硅橡胶,分子量 3~6 万。这种橡胶加入适量的硫化剂,在室温条件下能够固化成具有弹件的固态橡胶。所用橡胶牌号及其性能见表 1。

表 1 室温硫化硅橡胶及其性能

牌号	外观	填料	粘度(帕·秒)* 25 C	扯断强度(N/ cm <sup>2</sup> )	扯断伸长率 (%)
107-1	无色透明流动液体	无	0.2~0.7	——	——
106	灰白色流动胶状物	含 SiO <sub>2</sub> 、ZnO 等	<20	170	150
SDL-1-12	灰白色流动胶状物	含 SiO <sub>2</sub> 、ZnO 等	0.8~2	>110	120~150
SD-33	半透明流动液体	无	——	≥40	——6

\* 1 泊=0.1 帕·秒

106 与 107-1 橡胶液通常按 1 比 1 或 2 比 3 的比例混合均匀后使用,允许根据具体情况加以调整。

106 与 SD-33 橡胶液通常按 1 比 4 的比例混合均匀后使用,允许根据具体情况加以调整。

SDL-1-42 橡胶液可单独使用。

#### 4.2 硫化剂

所用硫化剂见表 2。硫化剂配方 1 和 2 的参考用量见附录 A。

表 2 硫化剂

配方	硫化剂	用量(%)	固化速度	备注
1	正硅酸乙酯(触媒)3份,二月桂酸二丁基锡(交链剂)1份	5~15	一般	触媒和交链剂比例可调整
2	正硅酸乙酯(触媒)3份,异辛酸亚锡(交链剂)1份	3~8	快	触媒和交链剂比例可调整
3	3号硫化剂	5~10	较快	温度较低时可在配方1的基础上,添加3号硫化剂

#### 4.3 磁粉

MT-RC 所用磁粉为优质黑色氧化铁粉,应符合 HB/Z72-83《磁粉探伤说明书》规定。

#### 4.4 磁悬液

用无水乙醇与磁粉配成磁悬液。磁悬液浓度在 1 克/升左右。

为提高检测灵敏度,气也可先用无水乙醇与磁粉在瓶中配成浓度 4~10 克/升的磁悬液,沉淀 1~2 分钟后,将沉淀层上方的磁悬液倒出备用,经分选的磁悬液是半透明的浅黑色液时,可认为浓度合适。

注意:磁悬液必须能够检出标准缺陷样件上的小裂纹方可使用。

### 5 设备

5.1 推荐采用以下型号的交流便携式磁粉探伤机:

CY-500 型,适于 12 毫米以下的孔径。

CY-1000 型,适于 25 毫米以下孔径。

亦可采用其他型号磁粉探伤机。

5.2 推荐采用下列型号的摄影体视显微镜:

XTL-1 型,购买时另加带读数的目镜。

XTB-01 型。

亦可采用其他型号摄影体视显微镜。

### 6 检查用器材

需要的检查用器材有:

10 倍放大镜、低压工作灯、吹风机、手电钻、天平、洗耳球、滴瓶、滴管、塑料杯、漱口杯、铜棒或铜丝、玻璃棒、细竹棍、塑料塞、金相砂纸、麂皮、绸布或纱布、胶布或胶纸、卫生纸等。

### 7 检查工艺(以机翼主梁螺栓孔为例)

#### 7.1 表面准备

7.1.1 将螺栓分解下来,用溶剂洗去孔内外油污,再用干净布裹在竹棍或木棍上蘸上乙醇仔细地擦拭孔壁。

注意:不要用铁棍代替竹棍或木棍,否则可能在孔壁上引起“磁写”。

7.1.2 螺栓孔的粗糙度 Ra 一般要求不大于 6.3(不低于▽5)。必要时,可用钻头上裹有“00”号金相砂

纸的手电钻打磨孔壁,再进行抛光。然后按 7.1.1 方法进行擦洗。

注意:金相砂纸打磨有可能损伤早期疲劳裂纹,对于疲劳试检飞机的主梁螺栓孔应慎用。

## 7.2 磁化

### 7.2.1 用剩磁法进行磁化

7.2.2 检查孔壁轴向裂纹采用穿棒法。即把铜棒插入螺栓孔,使交流电从棒上通过,通电时间 0.2~1 秒,电流安培值取  $I=25\sim 45D$ ( $D$  为孔的直径,以毫米为单位)。

注意:铜棒要清洁,不要将脏物带入孔中。

7.2.3 如果相邻两个螺栓孔的间距小于 50 毫米,依次磁化时,后孔磁化会使前孔退磁。为此,推荐采用图 1 的磁化方法,或按孔序间隔检查,如先检查 1、3、5……孔,再检查 2、4、6……孔。

### 7.3 浇注磁悬液

磁化之后,将配好的磁悬液搅拌均匀吸入洗耳球或滴管中,对竖直的螺栓孔,可用手指(或塑料塞)堵住螺栓孔的底部,摇晃洗耳球,将磁悬液从孔的上方注入孔中,直至注满为止。10 秒左右,松开手指(或取掉堵塞),让磁悬液流掉。

### 7.4 漂洗

根据磁悬液浓度,孔的给构,可酌情使用无水乙醇漂洗孔壁,方法同 7.3,只是用无水乙醇代替磁悬液。

### 7.5 干燥

孔内表面要充分自然干燥,孔底边缘的磁悬液可用布小心抹干。

### 7.6 堵孔

用医用胶布或胶纸贴在孔的下部。在不会掩盖受检面的情况下,可用塑料塞堵孔。

### 7.7 安放浇口杯

对于疲劳试验的飞机,螺栓孔上要安放浇口杯。浇口杯是一种特制的金属套,见图 2,套的孔壁上刻有孔序和航向标记,它还具有使铸型易于拔出的作用,浇口杯内径应大于螺栓孔孔径。

### 7.8 浇注橡胶液

7.8.1 将需要量的橡胶液倒入塑料杯内,再加入相应的硫化剂,搅拌均匀。硫化剂的种类选择和用量可参考表 2。但由于触媒品种不一,质量不同,并受环境温度、湿度等因素影响,使用前要进行试验,以便得到满足需要的固化时间。

7.8.2 将加入了硫化剂的橡胶液经过浇口杯以一束细流徐徐注入螺栓孔,直至注满浇口杯为止。

待橡胶固化后,撕去胶布,或拔出塑料塞,用手指松动两端,然后将橡胶铸型慢慢拔出或用棒轻轻顶出。

### 7.9 包装

用玻璃纸裹好橡胶铸型,装入专用试样袋内。

### 7.10 退磁

将铜棒穿入螺栓孔,使用不低于磁化电流值的交流电通过铜棒逐渐降低至零。

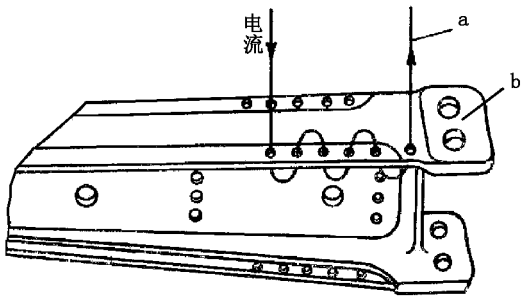
### 7.11 观察和记录

7.11.1 可用 10 倍左右放大镜在良好光线下观察橡胶铸型。如果要求检测裂纹扩展情况,则必须在体视显微镜下观察和测量裂纹长度,放大倍数以 20~40 倍为宜。

7.11.2 将检验结果记入专用记录本中。

### 7.12 结果分析

7.12.1 疲劳裂纹多半发生在主梁根部下翼面的螺栓孔,其位置在飞行方向的前后孔壁上。裂纹一般呈直线状或稍带弯曲,有尖锐尾端,孔壁裂纹往往多条同时出现,其走向基本与孔的轴线平行,见图 3。



a. 带绝缘套的铜丝 b. 机翼主梁

图1 主梁螺栓孔磁化示意图

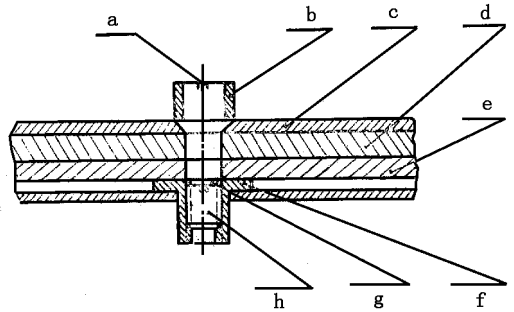


图2 借助于托板螺帽堵孔示意图

a. 孔号 b. 浇口杯 c. 机翼蒙皮 d. 垫板  
e. 机翼主梁 f. 托板螺帽 g. 铜片 h. 螺柱

7.12.2 应注意不同飞行小时检验结果的对照分析,长度有增长的磁痕为裂纹。图4为不同飞机小时的裂纹扩展情况。

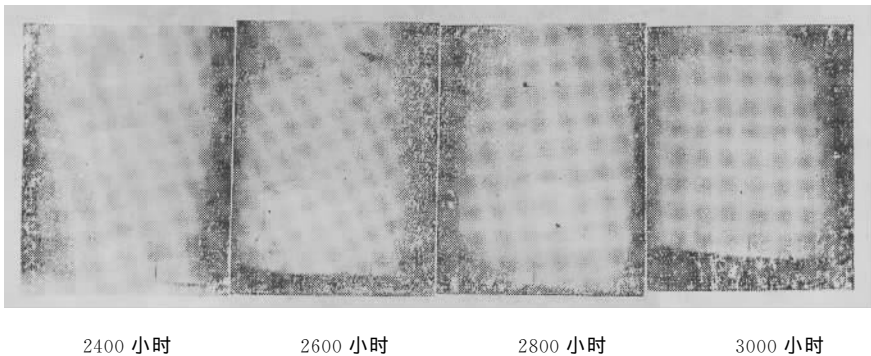


图4 不同飞行小时的裂纹扩展情况

7.12.3 螺栓孔内壁常有铰刀刀痕,打磨亦难去掉,有时成排地出现,基本上与孔的轴线平行。由于铰刀刀痕的开口度与深度不等,磁痕的明显程度亦不同。铰刀刀痕的磁痕见图5。

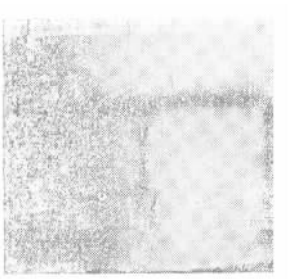


图3 孔壁疲劳裂纹



图5 螺栓孔孔壁刀痕

7.12.4 铰刀刀痕会干扰疲劳裂纹的检测,由它引起的早期疲劳裂纹,一般情况下难以无损地进行确定,但可根据历次记录结果,若磁痕长度有增长者为裂纹。

在可能和允许的情得下,试件在疲劳试验前,最好把刀痕打磨掉。

### 7.13 特殊螺栓孔的检查

7.13.1 在外场检查时,有的螺栓孔不可能从上方注胶,这时可将胶液从孔的下方采用注射器(不带针头)压注入孔中。注胶前应在贴于孔底的胶布上开个小孔,以便注射器可以通过胶布插入孔中,注胶后应迅速用胶布将小孔堵上,并应立即清除掉注射器内多余胶液。

7.13.2 如果耳孔为横向孔,要用专用夹具将孔的两端堵住,并留有浇口。

7.13.3 有些螺栓孔无法从孔的底部进行堵孔操作,可在孔底安装托板螺帽,磁化之后,用螺刀将螺栓旋入托板螺帽中,螺栓上安放铜垫片,见图 2。浇注磁悬液 10 秒钟后,用滴管将磁悬液轻轻吸出。干燥之后放上浇口杯进行注胶。固化后取出橡胶铸型、铜垫片和螺栓。

## 8 质量管理

8.1 每次工作时,应同时对标准缺陷样件进行 MT-RC 试验。该样件应有长度 1 毫米以下的小裂纹。当小裂纹清晰出现后,表明设备材料正常,操作正确,检验结果可靠。

8.2 新配制的磁悬液,必须符合 4.4 要求。

8.3 必要时,一个螺栓孔可做两个橡胶铸型,以供比较。

8.4 飞机疲劳试验前,孔壁的原始状态要用 MT-RC 留底备查。

8.5 需要保存的橡胶铸型,应放入专用的贮存箱,将橡胶铸型分类保存。存放过程中橡胶上如有粘液渗出,可用脱脂棉蘸乙醇拭去。

8.6 交链剂极易吸潮变质,用后要盖紧,并置于干燥处,若发现液体发浑或有晶体析出,即不能再用。

8.7 硅橡胶液宜贮存在阴凉干燥处,忌阳光直晒。存放过期的橡胶液,经 MT-RC 试验不影响检验效果方可使用。

8.8 从事 MT-RC 的工作人员,应按航标 HB5357-85《航空无损检测人员的资格鉴定》的规定,取得相应等级的合格证书。

## 9 安全防护

9.1 在飞机加油、抽油、充氧和喷漆时,不得进行探伤。

9.2 使用 CY-500、CY-1000 型等探伤机时,必须检查外壳是否漏电。

9.3 使用乙醇磁悬液要注意防火。螺栓孔用穿棒法磁化时,孔周围不得有磁悬液。也不宜使用连续法。

9.4 正硅酸乙酯为易燃品,二月桂酸二丁基锡为毒品,在使用、贮存和运输中均应注意。

9.5 由于 MT-RC 工作接触有毒的化学试剂,检验人员应享受国家规定的保健待遇。

## 10 MT-RC 的其他应用

10.1 伺服阀阀套、旁通阀套、空心螺栓等内壁承受压力较大的零件,可用本方法检查。伺服阀阀套外形复杂,有多个方形或圆形侧孔,试验前,可采用蜡封工艺堵塞侧孔,即选用芯棒塞住需探伤的内孔,然后热浸石蜡,把侧孔用蜡封死,见图 6。冷却后取出芯棒,再进行 MT-RC 检查。图 7 为阀套内壁裂纹。

10.2 装甲车柱塞导管内壁常有磨削裂纹,可采用本方法检查,见图 8。

10.3 磁痕复印。当采用 MT-RC 复印磁痕时,为了使磁痕清晰,可使磁悬液停留时间稍长,或使用浓度稍大的磁悬液,然后用乙醇轻轻漂洗受检表面。复印的磁痕可作为永久性记录长期保存。图 9 为磁痕的复印照片。

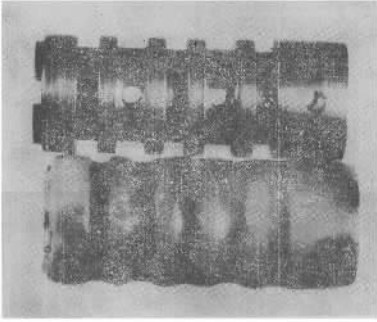


图 6 伺服阀阀套腊封前后照片

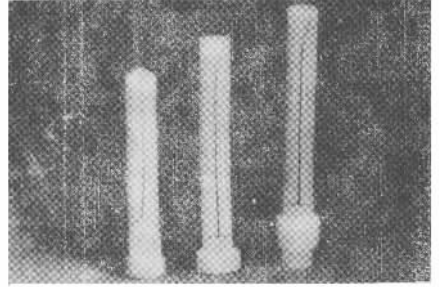


图 7 伺服阀阀套内壁裂纹

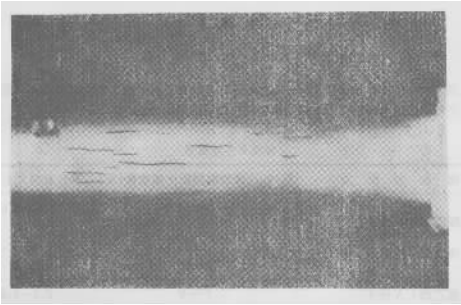


图 8 孔壁磨削裂纹

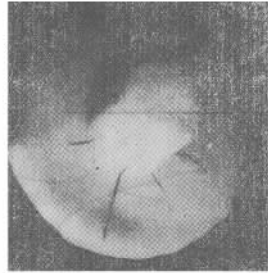


图 9 淬火裂纹的磁痕复印

## 附录 A

### 硫化剂参考用量

在温度 15~25℃、相对湿度 70~85% 的条件下,硫化剂用量与固化时间的大致关系见下表。固化时间系指从加硫化剂开始到能够将橡胶铸型取出为止。

硫化剂参考用量

硫化剂配方	每 100 克橡胶需加硫化剂重量(克)	固化时间(小时)
正硅酸乙酯(3 份) 二丁基锡(1 份)	10~15	0.5~1.5
	7~12	1~2
	4~7	1.5~3
正硅酸乙酯(3 份) 异辛酸亚锡(1 份)	7~9	0.2~0.5
	4~7	0.5~1