

磁粉检验用 B 型环的评价

潘建华

(北京飞机维修工程有限公司, 北京 100621)

摘 要:使用中发现,B 型试块标准和使用要求与 Ketos 环和 AS5282 环试块存在差异。为此对三种试块的标准和使用现状进行了调查,对试块的硬度、磁化电流对应显现孔数以及表面剩余漏磁场等进行了对比测试和分析。结果表明,B 型试块作为标准试块使用时存在不确定性。同时对 B 型试块标准 GB/T 23906—2009 和 MH/T 3008—2004 提出了修改建议。

关键词:环型试块;B 型试块;Ketos 环;AS5282 环;磁粉检验

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2011)09-0082-05

Evaluation of B Type Ring for Magnetic Particle Inspection

PAN Jian-Hua

(Aircraft Maintenance and Engineering Corporation Beijing, Beijing 100621, China)

Abstract: B Type rings were found different with Ketos ring and AS5282 ring on the standards and application requirements in using. The three rings were surveyed for their standards and application status, and were tested and investigated for their hardness, the number of the indicated holes corresponding with magnetic current, and leakage field measurement for each hole of rings. The results showed that there was an uncertainty when B Type rings were used as a standard of rings. It is advised that B Type rings standard GB/T 23906—2009 and MH/T 3008—2004 should be revised.

Keywords: Ring standard; B type ring; Ketos ring; AS5282 ring; Magnetic particle inspection

B 型试块是 MH/T 3008—2004《航空器无损检测 磁粉检测》标准推荐的用于检验三相全波整流设备系统性能的标准试块,简称 B 型环。在该标准的附录 E 中,规定磁化电流对应 B 型环应显现的孔数,以此评定设备系统性能是否合格。如果显现的孔数达不到要求,则表明设备系统不合格。B 型环又称为 Ketos 环或 Betz 环。Ketos 环使用 ASTM E 1444—01/05《磁粉检测》标准。目前,环型试块被广泛用于国内外航空航天制造和维修领域。

标准中对于磁化电流对应显现的孔数的要求,B 型环与 Ketos 环是相同的。但是在应用中,笔者发现 B 型环显现的孔数与标准规定的孔数存在明显差别。例如,MH/T 3008—2004 标准规定,磁化电流在 1 400 A 时,B 型环应显现 3 个孔,但实测时

显现了 6 个孔;当实测电流在 500 A 时,B 型环就很容易显现 3 个孔了。另外,在 ASTM E 1444—01/05 标准中除了 Ketos 环以外,又引入了 AS5282 环。这两种环在相同测试条件下(设备、磁化电流、磁粉浓度等均相同),要求显现的孔数却不一样,AS5282 环显现的孔数多于 Ketos 环的孔数。相关的标准或资料显示,三种环的外观尺寸、材料以及硬度要求基本相同。表面看起来,三种环没有差别,但实测结果明显不同。

作为标准试块,如果标准不统一、要求不一致,就无法准确评定系统性能。因此,理清 B 型环与 Ketos 环或 AS5282 环之间的关系,明确使用要求很有必要。

1 国内外现状

1.1 国外现状

通过查阅相关资料发现,自从环型试块使用以

收稿日期: 2010-12-30

作者简介: 潘建华(1954—),男,高级工程师,长期从事飞机发动机无损检测工作。

来,有关材料与制作、使用和标准化等问题一直存在争议。

据资料[1—4]介绍,Ketos环的使用是20世纪40年代由Betz提出的,目的是用于验证磁粉方法对零件下表面缺陷的检测能力(由此有人称为Betz环)。此后,Betz等人通过对比测试发现,不同的磁化方法、磁粉类型、磁悬液浓度以及热处理状态,会影响显现的孔数。20世纪80年代,Hagmaier等人对86件Ketos环进行了对比测试,结果表明,86件环的材料和硬度值基本相同,但是在相同磁化条件下,各环显现的孔数却不尽相同。例如,2 500 A(FWDC)电流时,显现最少4孔,最多的有11个孔;对显现5个孔的28件环重新进行退火处理并再次测试发现,经过退火处理的所有28件环显现的孔数达到9或10个孔。分析认为,显现孔数的差异是由于表面磁导率或剩余漏磁场不同产生的,未经退火处理或不合理的退火工艺是产生差异的原因。由此判断出,当年Betz使用了不合理退火工艺处理的环做试验,该试验数据(电流1 400,2 500和3 400 A时,分别显示3,5和6个孔)被MIL-STD-1949采用,作为环的测试标准颁布。这种不能称之为“标准”的环却作为标准试块,已经使用了至少25年之久。

1988年,在Hagmaier等人的研究基础上,对Ketos环制订了标准退火工艺,并重新规定了磁化电流对应显现的孔数,即磁化电流为500,1 000,1 500,2 500和3 500 A时,Ketos环的显现孔数应分别为3,5,6,7和9。同时,将发现的问题和解决措施向ASTM E7委员会、SAE AMS K委员会和ASNT电磁委员会提交了报告。1991年,AMS最终确定了环的标准,即AMS K87A-1。标准采用AISI O1工具钢(材料标准;SAE J438),规定环的坯料(棒)为正火处理状态,环试块经退火处理。1993~1997年,Hagmaier等人又在试验和测试基础上提出,测量环孔表面剩余漏磁场作为环的评定方法(包括测试装置)。其方法是:施加一定电流值进行周向(三相全波整流)充磁后,采用霍尔传感器测量环上各孔的剩余漏磁场强度值,将各孔的漏磁场强度值随孔距表面距离增大而下降的数据绘制成曲线,依据曲线的变化评价环试块的质量。笔者认为,此方法对于评价环型试块提供了可靠的测量依据。1998年,SAE颁布的标准SAE-AS5282《磁粉检验用工具钢环》(2007年再次确认)采纳了Hagmaier

等人的试验研究结果和评定方法。AS5282标准不但明确规定了正火和退火工艺参数,而且将测量环表面剩余漏磁场作为环的主要评定指标。至此,用于系统性能检查的环型标准试块有了统一的评定标准。

AS5282标准被ASTM E1444—01引用后,称为AS5282环。ASTM E1444 01/05将环型试块分为Ketos环和AS5282环,并规定了两种环显现孔数的不同要求。

由上可见,环型试块自使用以来的几十年里,直到20世纪末AS5282标准的出现,才被统一和标准化。

1.2 国内现状

在国内,Ketos环是由航空部门于20世纪80年代中期引进并使用的(HB 5356.3—86,GJB593.3—1988)。使用要求与MIL-STD-1949标准相同。1992年制订了环的制作和验收标准JB/T 6066—1992《磁粉探伤用标准试块》,并规定为B型标准试块。之后的GJB 2028—1994《磁粉检验》和GJB 4602—1992《航空维修无损检测质量控制 磁粉探伤》以及MH/T 3008—2004均采用了B型环。在上述标准中,规定B型环的使用要求(磁化电流与显现孔数)与ASTM E1444—01中Ketos环的要求相同。

2009年,在JB/T 6066基础上,颁发了GB/T 23906—2009《磁粉检测用B型试块》标准。标准虽然规定了B型环的材料、热处理状态、硬度以及尺寸等要求,但没有规定具体的退火工艺参数,也没有规定测试电流值和应显现的孔数以及如何用以验证和评定设备的综合性能。

遗憾的是,国内环型试块使用至今,有关标准、使用要求以及差异等问题几乎没有被关注和讨论过。国内相关的文章也仅仅是利用所谓磁偶极子近似理论计算并画出Betz环表面上显现的孔磁痕的外加磁化电流与孔数间的关系曲线,并试图证明近似理论与实际曲线的一致性^[5]。实际上,这种讨论对环的标准化和实际应用是没有意义的,原因是作者没有说明拿来试验的Betz环究竟是何种环,也没有说明试验的环与B型环、Ketos环、AS5282环的规定是否存在差异,这种差异是否对一致性有影响。事实上,环的热处理工艺、组织均匀性是影响孔表面漏磁场的重要因素,这些因素决定了显现的孔数。如果不考虑这些因素的话,对于任何一个环试块来

说,可能都存在近似理论与实际曲线的一致性,与显现的孔数似乎没有关系(相同测试条件)。

2 对比测试

为了验证上述各标准环的差异以及相应标准规定的合理性,笔者选择B型环(编号18#)、Ketos环(序号99140)、AS5282环(序号209092)三种环,进行了磁化电流对应显现孔数、剩余漏磁场强度以及表面硬度的对比测试和分析。结果见表1~3。

2.1 磁化电流与显现孔数

磁化电流与显现孔数的测试按照AS5282标准,使用三相全波整流(FWDC)磁探机,磁化电流500~3 500 A,充磁时喷洒磁悬液后观察各环显现的孔数。从表1可以看出,B型环、Ketos环、

AS5282环在500 A电流时,分别显现3,1和3个孔;在3 500 A电流时,分别显现9,6和10个孔。根据MH/T 3008—2004和ASTM E 1444—01/05标准要求:电流在1 400,2 500和3 400 A时,B型环和Ketos环均应分别显示3,5和6个孔。实测的结果是,Ketos环分别显示4,5和6个孔,而B型环分别显示6,7和9个孔。B型环显现的孔数与AS5282环的要求相同,但明显多于MH/T 3008—2004标准要求。

对比测试结果表明,Ketos环符合MH/T 3008—2004和ASTM E1444—01/05中Ketos环的要求,B型环符合ASTM E 1444—01/05中AS5282环的要求(表1)。

表1 磁化电流与显示孔数要求与实测对比

标 准 要 求						实 测 情 况			
B型环		Ketos环		AS 5282环		流	B型环	Ketos环	AS5282环
电流值/A	孔数	电流值/A	孔数	电流值/A	孔数	值/A ¹⁾	孔数	孔数	孔数
—	—	—	—	500	3	500	3	1	3
—	—	—	—	1 000	5	1 000	5	3	5
1 400	3	1 400	3	1 500	6	1 500	6	4	7
2 500	5	2 500	5	2 500	7	2 500	7	5	9
3 400	6	3 400	6	3 500	9	3 500	9	6	10

注:1) 10 000 A三相全波整流(FWDC)磁化设备

表2 环试块材料、热处理及硬度值

环试块	标 准 要 求				实测硬度 /HRB
	试块标准	材料	热处理状态	硬度/HRB	
B型环	GB/T 23906—2009	9 CrWMn	退火 ¹⁾ :加热至790℃,保温1 h,22℃/h,炉冷至540℃,随炉冷至室温	90~95	91.8(均值)
Ketos环	—	ANSI O1	退火或未退火 ²⁾	90~95	93.5(均值)
AS 5282环	SAE AS 5282—2007	ANSI O1	正火(棒料):加热至871℃,保温时间1 h/in,空冷至室温 退火(环):加热至760~782℃,保温3 h,28℃/h,炉冷至649℃,随炉冷或空冷至室温	≤95	91~93 ³⁾

注:1) 来自国家标准样品证书(GSB 02-1334—2000)磁粉检验用直流(B型)标准试块数据;2) 没有标准依据;3) 来自此试块证书数据。

表3 各孔剩余漏磁场测量值(1 500 A)

试块 类型	剩余漏磁场/ $\times 10^{-4}$ T											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B型环	22.5	15.2	10.6	7.8	5.6	4.4	2.7	1.8	1.0	1.6	0.8	0.8
Ketos环	14.8	7.4	5.3	4.4	4.0	3.4	2.9	1.6	2.4	0.6	0.5	1.0
AS5282环 ¹⁾	21.5	16.2	12.7	10.0	9.2	6.3	4.5	4.2	3.8	2.8	2.1	2.0

注:1) 来自此试块证书数据(换算)。

2.2 试块材料、热处理状态和表面硬度

2.2.1 试块材料

来自试块证书的数据表明,Ketos 环和 AS5282 环的材料都是 ANSI 或 AISI(ANSI 是美国国家标准,AISI 是美国钢铁协会标准)O1 系列工具钢(CrWMn 系合金);B 型环的材料是 9CrWMn 工具钢,证书注明 9CrWMn 工具钢与美国 AISI O1 工具钢等同。因此,三种环的材料合金成分是相同的。

2.2.2 热处理状态

Ketos 环没有标准依据,证书上也没有具体说明。按资料^[1]介绍,Ketos 环可能是未经退火或不合理的退火状态;AS5282 环明确规定了正火(棒坯)和退火(环)具体的热处理工艺参数,证书上注明按 AS5282 的热处理规定;B 型环(GB/T 23906—2009)有退火要求,但没有规定具体的工艺参数,表 2 给出的退火工艺参数,是从国内最初研制的生产单位提供的国家标准样品证书(GSB 02-1334-2000)中获得的。从表 2 可以看出,B 型环的退火工艺参数近似于 AS5282 环,但略有不同。

2.2.3 表面硬度

三种环的硬度要求在 HRB 90~95,基本一致。实测的硬度值在 HRB 91~93 之间(表 2)。可以说,三种环的硬度值也是基本相同的。

2.3 剩余漏磁场

除上述测试外,笔者对 B 型环和 Ketos 环的各孔表面进行了剩余漏磁场测量。测量方法按 AS5282 标准中手动测量方法(自动测量方法是将被漏磁场转换成电压信号);对试块施加 1 500 A 电流后,用高斯计测量 12 个孔表面的剩余漏磁场。由于没有标准推荐的测试工装,采用简单的辅助工具以尽量保证测量数据的准确。测量用的高斯计和辅助工具如图 1 所示,测量结果见表 3。表 3 中 AS5282 环的数据,是根据该环证书提供的实测数据换算的。从表 3 看出,B 型环和 AS5282 环各孔的磁场强度比较接近。Ketos 环从 1~6 孔的磁场强度相对较低,其中 1,2 孔比 B 型环和 AS5282 环低约 8×10^{-4} T 左右,但 7 孔以后的差别逐渐减小。三种环的磁场变化曲线如图 2 所示。

对比表 1 和表 3 的数据可以发现,1500A 电流时,B 型环、Ketos 环和 AS5282 环显现的孔数分别为 6,4 和 7,各环显现的最后的孔表面剩余漏磁场均在 4.4×10^{-4} T 左右。测试表明,孔表面显现磁痕的剩余漏磁场至少在 4×10^{-4} T 以上。



图 1 测量环孔表面磁场的装置

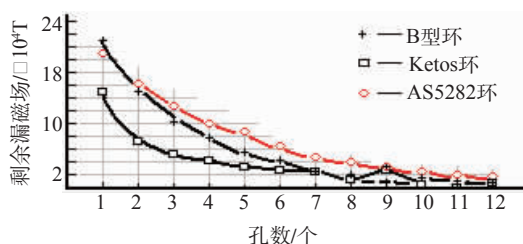


图 2 三种环孔表面磁场变化曲线(手动测量方法)

3 结果分析与讨论

磁化电流与显现孔数的对比测试结果表明: Ketos 环符合 MH/T 3008—2004 和 ASTM E 1444—01/05 中 Ketos 环的要求, B 型环符合 ASTM E 1444—01/05 中 AS5282 环的要求(表 1)。表面硬度测试表明:三种环的材料和表面硬度值基本相同。剩余漏磁场测试表明:孔表面显现磁痕的剩余漏磁场至少在 4×10^{-4} T 以上,而且达到 4×10^{-4} T 以上的孔数与显现磁痕的孔数相同。测试结果与资料^[1]的结论是一致的,即:经合理退火处理的环孔表面剩余漏磁场较大,可以提供理想的磁化电流与显现不同深度孔的对应关系。不合理退火或未经退火的 Ketos 环孔表面剩余漏磁场较小,孔随深度增加剩余漏磁场下降很快,因此大电流时也很难显现更多的孔。

在 AS5282 环的标准中,除了规定材料、硬度和尺寸以外,还明确规定了正火(环坯)、退火(环)工艺参数和测量环孔表面剩余漏磁场的要求。同时,将孔随深度增加剩余漏磁场下降趋势和磁化电流对应显现的孔数,作为环型试块的评定标准。简单地说,标准的建立是基于同批次热处理的一组试块的测量数据。首先将该组试块磁化(1 500 A)后测量出各试块孔(按 AS5282 标准只需测 9 个孔)的剩余磁场(高斯或电压),将获得的数据绘制出光滑的高斯/电压-孔数曲线,将该组试块第一个孔的平均值的 $\pm 10\%$ 作为判定界限,如果超出界限或剩余漏磁场下

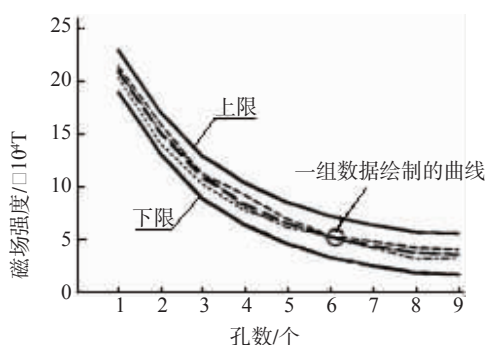


图3 剩余漏磁场测量和评定标准

降趋势存在波动,则被判为不合格。图3是AS5282标准给出的评定示例。图中,上、下限曲线分别是一组试块第一个孔的平均值的 $+10\%$ 和 -10% 绘制的评定界限。标准还规定,试块生产厂家要提供剩余漏磁场测量数据(曲线)。图4是用于本次测试的AS5282环证书提供的12孔的数据(自动测量方法)。

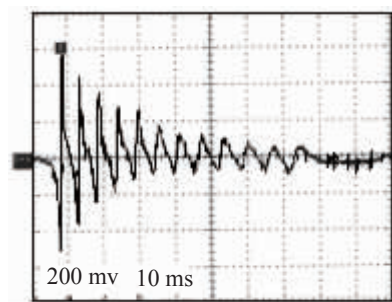


图4 试块厂家提供剩余漏磁场测量数据

在相同磁化电流时,B型环显现的孔数超过Ketos环,并符合AS5282环的要求。因此,MH/T 3008—2004中规定按Ketos环使用的要求是不合理的。事实上,B型环按Ketos环要求使用的结果是降低了对系统性能评价的要求。例如在2 500 A磁化电流时,B型环显现7个孔。按标准要求,评价系统性能合格的指标是显现5个孔。如果下次测试时,B型环显现5个孔的话,按标准要求,系统性能仍是合格的。而事实上,该设备的系统性能可能已经是不合格了(按AS5282环要求,至少显现7个孔才能满足系统性能的要求)。因为B型环显现5个孔时,实际磁化电流是1 000 A。因此,B型试块应按AS5282环的要求评价系统性能。

遗憾的是,我国B型环的标准GB/T 23906—2009中,既没有规定正火和退火工艺参数,也没有规定测试电流值和应显现的孔数以及测量剩余漏磁场等评定方法。尽管测试结果证明B型环与AS5282环存在一致性,但是仅以材料、硬度和尺寸

等方面作出规定,是不能合理评定标准试块的。显然,按GB/T 23906—2009制作的B型环存在不确定性。B型环的标准还需要进一步完善。

Ketos环,既没有评定标准也不能确定是否经过热处理(不合理退火),并不能作为评定系统性能的标准试块。但是,ASTM E1444—05标准仍保留了Ketos环。可能的原因是考虑用户成本,因为在AS5282标准颁布前,Ketos环已经错误地使用了很长时间,继续使用并不影响对系统性能的评定。

对比测试和分析表明,在相同测试条件下,即使环的材料、硬度和尺寸相同,如果合金组织及其均匀性存在差异,也会使表面磁导率不同。不同的磁导率将影响表面的漏磁场。因此,正火和退火工艺参数以及测量剩余漏磁场是评定环型试块是否合格的重要因素。显然,AS5282标准考虑了这些因素,因此,按AS5282标准制作的环型试块可以称为标准试块。

4 结论

(1) 作为检验三相全波整流设备系统性能的标准试块,AS5282环是比较理想的。B型环和Ketos环作为标准试块使用时,存在不确定性。

(2) MH/T 3008—2004中规定使用的B型环应按AS5282环标准要求使用。建议在标准修订时,增加AS5282环的使用规定。

(3) 建议修订GB/T 23906—2009标准。标准中应明确规定B型试块的热处理工艺参数,并将测量剩余漏磁场和磁化电流对应显现的孔数作为主要评定方法。

参考文献:

- [1] Hagemaijer D J. Evaluation of steel ring standards for magnetic particle inspection[J]. Materials Evaluation, 1993,51(9):1046—1051.
- [2] Hagemaijer D J. 1993 Evaluation of steel ring standards for magnetic particle inspection[J]. Materials Evaluation, 1996,54(10):1207—1209.
- [3] Bates B, Hagemaijer D J. Evaluation of steel ring standards for magnetic particle testing[J]. Materials Evaluation, 1997,55(10):1070—1072.
- [4] 《美国无损检测手册》译审委员会. 美国无损检测手册. 磁粉卷[M]. 上海:世界图书出版公司, 1994: 346—347.
- [5] 仲维畅. 磁粉探伤中Betz环的近似理论[J]. 无损检测, 2008,30(12):903—905.