

航空管路进口薄壁管材无损检测与评价

Non-Destructive Inspection and Evaluation of Imported Small Thin-Wall Metal Tube Used for Aircraft Piping

中国商飞上海飞机设计研究院 肖凯 冯剑飞
中国科学院金属研究所 蔡桂喜 张薇 杨洋

[摘要] 通过对国外5个厂商的3种材料20个规格39个批次的金属薄壁管材进行超声无损检测,发现进口管材上具有不同程度的表面缺陷和内部缺陷,典型缺陷有凹坑、划伤、折叠、外壁裂纹和内部裂纹等。其中有些内部缺陷较细微,需要灵敏可靠探伤技术装备和严格执行检测规程才能发现。与国内生产的管材无损检测结果对比表明,进口管材质量不尽人意,须经100%探伤复验才能应用于飞行器制造。而国产管材在有效执行无损检测规程的前提下,质量也可以得到可靠保证。

关键词: 薄壁管 超声检测 质量评价 典型缺陷

[ABSTRACT] In order to compare and evaluate the defects in small thin-wall metal tube provided by different foreign manufacturers, 39 batches with 20 kinds of different diameters and thickness tubes made of three different materials are inspected by ultrasonic testing. There are some surface imperfections, longitudinal and transverse imperfections in these tubes, which include dent, scratch, overlap, outer flaw and inner flaw. Some of these unacceptable defects are very tiny, thus, the inspecting system must have high sensitivity and reliability, and the inspection regulations and documents must be carefully executed, otherwise, some tiny serious flaws are impossible to be find out. By comparing the NDT results of the imported tubes with those of the tubes made in China, we found that the quality of imported tube is not as good as we expected, so that the imported tubes must be 100% inspected using ultrasonic testing before being used to manufacture aircraft components. For the tubes made in China, as long as carefully executing the NDT regulations, it is possible to ensure the quality of the tubes.

Keywords: Small thin-wall tube Ultrasonic testing Quality evaluation Representative defect

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S2.141

金属薄壁管材应用于飞机的液压系统、燃油系统、供排水系统等,与管路标准件组成管路,是飞机管路系

统的重要组成部分,功能类似于飞机的“血管”。因此,飞机管路系统用的金属薄壁管材质量直接影响飞机的安全,而对薄壁金属管材的无损检测是保证其质量必不可少的技术检测手段之一^[1-2]。本次检测及评价的钛合金管(Ti-3Al-2.5V)、不锈钢管材(21-6-9、321),外径6.35~31.75mm,壁厚0.41~1.30mm,其中大部分是小口径薄壁管,无损检测难度相当大。

对于航空工业中应用的这些小口径薄壁精密管材的探伤标准,我国一般按GB/T 5777《无缝钢管超声波探伤检验方法》^[3]执行,而GB/T 5777是一个适应范围较宽的管材探伤标准,在实际执行过程中,一般需要制定具体技术要求。例如,GB/T 5777规定,当管材内径小于12mm时,不加工内壁人工模拟缺陷,因而就不能有效评定小口径管材上内壁缺陷,这主要是由于管材内壁人工缺陷的制作和计量难度较大,一般工业领域就不对管材内壁缺陷探伤提出明确要求。航空工业中,为了飞行器的安全,一般都会明确要求探测管材内壁缺陷。在GB/T 5777中对采用点聚焦水浸探头和线聚焦探头没有做出明确规定,航空用管材生产单位一般采用水浸线聚焦探头探伤,而飞行器制造企业大都会采用水浸点聚焦探头进行探伤。实际工作中,水浸点聚焦探伤一般能更可靠地检测出细小缺陷,但由于检测效率低和检测技术要求更高,增加了应用难度。

在民用航空器的金属管路系统中,对金属管材的质量要求则更高,如国外民航通常采用标准AMS 2634B *Ultrasonic Inspection—Thin Wall Metal Tubing*^[4],这一薄壁金属管超声探伤标准比我国GB/T 5777探伤标准要更为严格,AMS 2634B和GB/T 5777对最小人工刻槽缺陷尺寸的规定分别为0.05mm(深)×1.52mm(长)和0.05mm(深)×5mm(长),而且AMS 2634B还规定:在螺旋扫查1.52mm长的人工缺陷时,探伤系统应当至少报警两次。这对探伤系统的技术性能有更高的要求,这些更高的要求主要是为了保证在较高探伤灵敏度的基础上还必须具有高的检测可靠性。

为了评判国外供应厂商提供的材料是否符合相关规范和国际通用的管材超声波无损检测规范,特对国外

5个厂商的3种材料20个规格39个批次的管材进行超声无损检测。

1 无损检测大纲

无损检测的可靠性很大程度上依靠制定规范合理的检测规程,并通过有效的组织使检测规程得到严格而准确的实施。本次检测依据相关材料技术规范如 AMS 4945E、AMS 4946C、AMS 5561G、AMS 5557 等和无损检测技术规范如 AMS 2643B、GB/T 5777、YB/T 4082、JB/T 10061、JB/T 10062,以及“人、机、料、法、环”原则,制订无损检测试验大纲、试验前及试验过程中检查程序。在试验大纲中,对检测过程的各个环节依据相关标准制定详细技术要求和技术管理要求,主要要素见图1。

通过前期分析航空材料标准规范,对人工标准伤样管、探头、仪器和检测系统的性能、功能、设备校验和人员资质等全面核查,保证 AMS 2634B 和管材材料规范的各项要求得到有效的实施保障。同时,对每一根管材进行唯一性标识,以保证检测结果的可追溯性,确保整个检测和评价过程的科学性。

2 典型缺陷

通过前述的管材超声波检测和评价过程的质量策划,为了能够有效和可靠检测出 0.05mm (深) × 1.52mm (长)人工标准伤的细微缺陷,在具有高灵敏度和高可靠性的管材超声探伤机上,严格执行检测规程,检测发现了进口管材上的各种典型缺陷(缺陷形貌也可参见文献[5])如下。

(1)凹坑。在所检测的管材中,部分管材上有凹坑

缺陷,有些较容易用肉眼检视出来,有些则会因管材光泽原因不易发现。这种缺陷在超声探伤时,经过培训的检测人员能容易地检测出来。典型凹坑缺陷见图2。这种缺陷的成因,很可能与管材的包装和运输过程的保护不善有关。图2为编号 FIT0604E—2# 管材的检测记录,缺陷信号幅度超标,查验为凹坑。

(2)划伤。划伤是这些管材常见的不合格原因,有些管材表面还会有麻点和小坑,有些进口管材的每一根管子均有一个塑料保护套,相应的划伤缺陷就会少一些。典型划伤缺陷检测信号及形貌照片见图3。图3为编号 PL312077—5# 管材的检测记录,缺陷信号幅度超标或接近超标,查验为划伤和小坑。

(3)目视可见的外壁折叠。这种缺陷是由于管子轧制使金属流动异常引起的,这些管子上常会有划伤或小坑。典型可见性外壁折叠缺陷检测信号及形貌照片见图4。图4为编号 PL312077—6# 管材的检测记录,缺陷信号幅度超标,查验为折叠,该管子上其他缺陷信号为划伤和小坑。

(4)外壁缺陷。前面的管材表面缺陷大都可以通过肉眼检视来发现或验证,但有些缺陷为更具危害性的内部缺陷,不仅肉眼不能检视发现,有些甚至连渗透检测也检测不出来。图5为典型的外壁缺陷检测记录图,这种缺陷具有隐蔽性,对飞行安全危害性很大。图5为编号 FI306077—1# 管材的检测记录,缺陷信号幅度超标。

(5)内壁缺陷。在进口管材中,内壁缺陷也并不少见。由于金属管路往往承受内部介质的脉冲高压,内壁缺陷处因应力集中而成为裂纹源,在脉冲高压的循环作

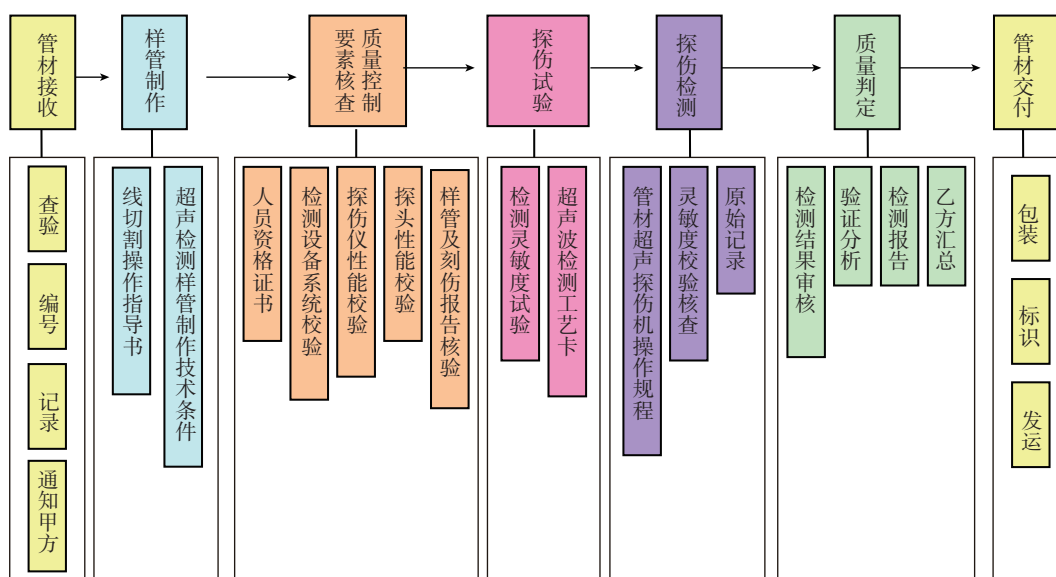


图1 管材超声波检测试验大纲要素

Fig.1 Experiment outline elements of ultrasonic testing of tubes

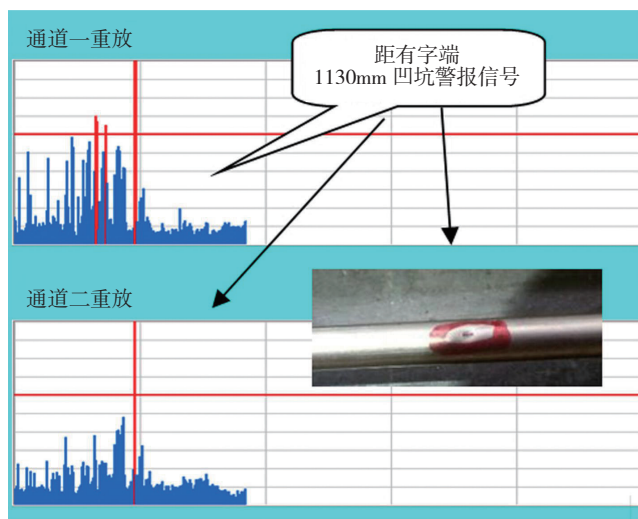


图2 典型凹坑缺陷检测信号及形貌照片
Fig.2 Testing signals and profile photo of representative dent defect

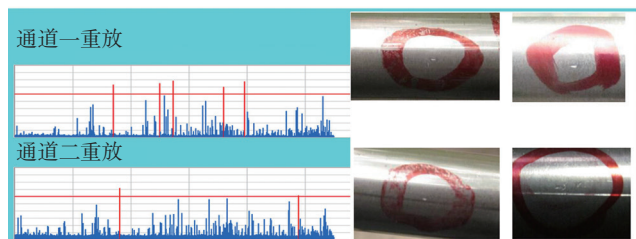


图3 典型划伤缺陷检测信号及形貌照片
Fig.3 Testing signals and profile photos of representative scratch defect

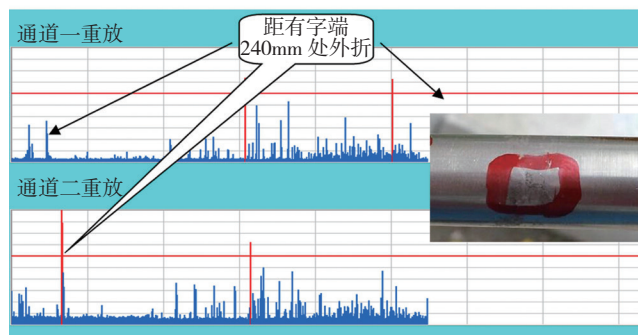


图4 典型可见性外壁折叠缺陷检测信号及形貌照片
Fig.4 Testing signals and profile photo of representative overlap defect

用下而疲劳开裂,因此这些内壁缺陷危害性更大。图6为编号FI306077—4#管材的检测记录,缺陷信号幅度超标。

3 国内外管材检测结果分析对比

3.1 国外管材检测结果

这次检测的5个国外厂商分别用A、B、C、D和E来表示。各种材料不同规格的检测结果和合格率情况

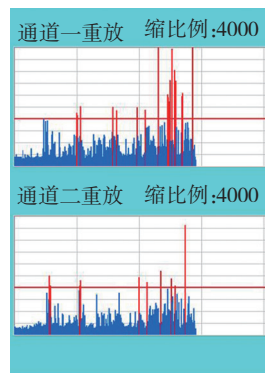


图5 典型的外壁缺陷检测记录
Fig.5 Testing record of representative outer defect

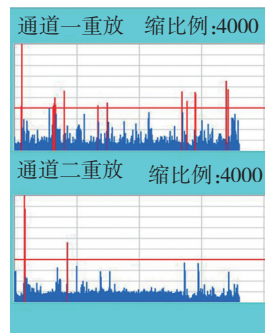


图6 典型的内壁缺陷检测记录
Fig.6 Testing record of representative inner defect

如下(抽样数见表1、表2):

(1)各规格AMS 4945E Ti-3Al-2.5V 管材检测结果。B公司有两个规格分别有1根管不合格,主要原因可能是包装不良,其总合格率为97%。其他厂商合格率100%。各厂商AMS 4945E材料规范Ti-3Al-2.5V的管材质量没有明显差别,基本都合格。

(2)各规格AMS 4946C Ti-3Al-2.5V 管材检测结果。B公司管材1种规格的管材表面有小坑和划痕,其缺陷率为71%,合格率30%;其他厂商其他规格管材合格率100%。

(3)各规格21-6-9管材检测结果。B、A、E、D的平均合格率分别为77.5%、75%、60%、55%。B公司在合格率和材料噪声方面都更好些,A公司次之。

(4)各规格321管材检测结果。3个厂家的6个规格管子中,仅D公司的两个规格分别只有1根管子合格,其余均不合格,其不合格原因并非材料噪声,而是因为表面缺陷及部分内部缺陷。综合检测结果见表1和表2,各规格各种缺陷类型分布情况统计见图7。

3.2 国产管材无损检测情况

虽然国内检测标准与国外标准AMS 2634B有差别,但人工标准缺陷的深度是一致的,因此具有可比性。检测的国产钛合金管材主要有TA16M、TA21M,规格与这

表1 Ti-3Al-2.5V综合检测结果

标准	规格 / cm	B		A		C		E	
		检测数量	不合格数	检测数量	不合格数	检测数量	不合格数	检测数量	不合格数
AMS 4945E	0.635 × 0.041	10	1	6	0	10	0	13	0
	1.270 × 0.066	8	1	7	0	6	0	—	—
	1.905 × 0.099	7	0	7	0	10	0	—	—
	2.540 × 0.130	11	0	5	0	6	0	13	0
AMS 4946C	0.635 × 0.041	—	—	—	—	7	0	—	—
	1.270 × 0.066	—	—	—	—	6	0	12	0
	1.588 × 0.081	7	5	—	—	—	—	—	—
	1.905 × 0.099	—	—	—	—	4	0	—	—
	2.540 × 0.130	—	—	—	—	6	0	—	—

表2 21-6-9和321综合检测结果

材料	规格 / cm	B		A		D		E	
		检测数量	不合格数	检测数量	不合格数	检测数量	不合格数	检测数量	不合格数
21-6-9	0.635 × 0.041	12	2	5	2	11	1	5	3
	1.270 × 0.066	8	3	5	2	—	—	5	1
	1.588 × 0.084	—	—	—	—	6	5	—	—
	2.540 × 0.132	8	2	5	0	7	3	—	—
	3.175 × 0.061	9	1	5	1	—	—	—	—
321	0.635 × 0.069	7	7	—	—	—	—	—	—
	0.635 × 0.041	—	—	—	—	—	—	5	5
	0.953 × 0.051	—	—	—	—	6	5	—	—
	1.270 × 0.071	—	—	—	—	6	5	—	—
	1.270 × 0.066	—	—	—	—	—	—	5	5
	2.540 × 0.132	—	—	—	—	—	—	3	3

次进口的管材相当。国产钛合金管材的检测合格率为90%~100%，与进口钛合金管材的合格率基本一致。

试制过程的国产2169管材检测合格率大致在40%~80%之间，个别规格管材的合格率在10%~30%之间。进口的2169管材的检测合格率主要在50%~100%之间，但也有个别的合格率在17%~40%之间。进口管材是经过出厂检验且是合格的，但其复验的合格率与我国试制过程的管材出厂检验合格率相比没有明显的优势，进口管材的质量与预期不太相符。

大量的1Cr18Ni9Ti和1Cr18Ni10Ti等各种规格的不锈钢管经过检测，发现国产管材的出厂检测合格率一般都大于50%，而这批进口各厂商的321管材几乎全部不合格，而且都是可以核查验证的缺陷，这一结果令人感到意外。

我国对精密管材的生产质量比较重视，普遍采用冷轧工艺精工细作来生产精密管材，所以管材总体质量从无损伤检测的角度来看，不比进口管材差。但也有一些不足，比如：国外管材的平直度较好，对探伤操作有利。这可能与国外制管工艺与国内的冷轧工艺有所不同有关，

国内管材不直，易引起误报警，所以要求探伤操作人员具有高度的责任心。

4 结论

本次检测采用的标准较严苛，人工标准伤较小（1.5mm（长）×0.05mm（深）），且需螺旋检测报警两次，这种高要求，一般的探伤系统难以达到其要求。在此严苛的标准下，国外厂商管材的合格率不尽人意。

通过这次对国外进口管材的无损检测试验和评价，可以得出以下结论：

（1）进口管材与国产管材上所具有的缺陷类型相同，主要是表面划伤、凹坑和内外壁折叠或开裂，缺陷严重程度是较为严重。

（2）5个国外厂商管材质量有一定差异。

（3）不同材料的合格率差异较大，钛合金管约95%，2169管约70%，321管在20%以下。

（4）这些进口管材中不仅有各种在转运过程中因防护不当造成的表面缺陷，也有难以发现的因制造工艺而造成的内在缺陷，工程上也有人简称之为“制造缺陷”，

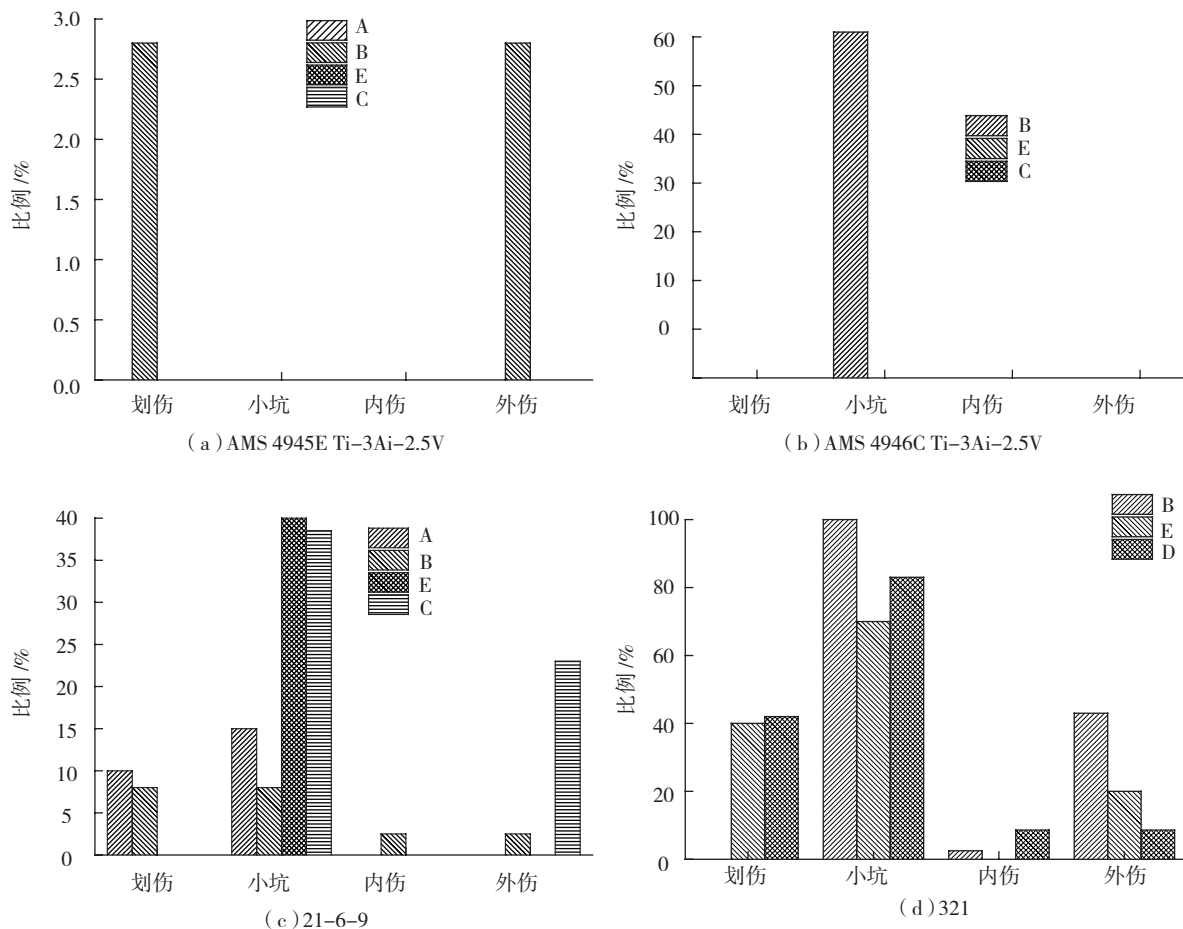


图7 不同规格各种缺陷类型分布

Fig.7 Distribution of different specifications and types of defects

这些缺陷须引起重视。

(5) 国产管材在有效执行无损检测规程的前提下, 质量也可以得到可靠保证。

因此, 凡今后进口管材, 必须要通过探伤把好质量关, 须经 100% 探伤复验才能应用于飞行器制造, 以保障安全。

参考文献

[1] 蔡桂喜, 董瑞琪, 高俊武, 等. 小口径薄壁管超声探伤. 无损探伤, 2002, 26(5): 34-37.

[2] 马小怀, 陈百锁, 汶锁明. 小径薄壁有色管材超声波探伤. 无损检测, 2005, 27(1): 44-46.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5777-2008 无缝钢管超声波探伤检验方法. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[4] AMS 2634B Ultrasonic inspection—thin wall metal tubing. SAE, 1996.

[5] MISTRY R K, SRIVASTAVA, R K, SARATCHANDRAN N. Study of defects detected in thin-walled zircaloy tubes by ultrasonic testing in high speed rota-25//Proceedings of 15th Word Conference on Nondestructive Testing, 2000.

(责编 李丹)

(上接第 140 页)

择光杆长度合适的螺栓和垫圈, 以保证骨架能够有效的紧固连接。针对螺钉处渗油问题, 设计检查胶圈窝深度的专用量具, 并更改工艺规程, 要求每次划制胶圈窝时先在试验件上进行测量, 合格后方允许在飞机上进行操作, 保证密封胶圈的挤压量。

参考文献

[1] 杨后川, 张学明, 杨保生, 等. 某新型飞机整体油箱密封性试验器设计与实现. 机电产品开发与创新, 2006, 19(2): 27-28.

[2] 凌云. 浅谈某型飞机整体油箱渗漏点检测方法. 中国高新技术企业, 2011(15): 72-74.

[3] 胡琳. 飞机整体油箱密封剂分析. 民用飞机设计与研究, 2001(2): 20-22, 27-31.

[4] 于克杰. 飞机整体油箱的快速粘接修理. 粘接, 2004, 25(2): 45-46.

[5] 范文涛, 贾广生. 某型飞机整体油箱外场修理工艺研究. 装备制造技术, 2012(8): 100-102, 122.

[6] 曹寿德. 飞机整体油箱快速修补技术现状及发展. 航空工程与维修, 1996(2): 29-31.

(责编 李丹)