

喷管堵盖开裂失效分析

谢国君¹ 支小敏² 王影¹ 韩露¹

(1 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

(2 北京动力机械研究所,北京 100074)

文 摘 喷管堵盖所用材料为高硅氧短切纤维/钡酚醛树脂复合材料,部分堵盖在存储5年后发生开裂。通过失效分析认为,材料中树脂分布不均匀,部分区域树脂含量偏少、呈贫胶状态,造成该区域材料强度相对较低,同时由于堵盖的工艺特点决定其内部会存在一定水平的内应力,随着存储时间的增长,材料的强度下降、脆性增大,当强度降至低于内应力时,堵盖较薄弱区域即发生开裂。

关键词 堵盖,开裂,树脂含量,内应力

中图分类号:TB332

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.03.028

Failure Analysis of End Lid on Spray Pipe

XIE Guojun¹ ZHI Xiaomin² WANG Ying¹ HAN Lu¹

(1 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

(2 Beijing Power Machinery Research Institute, Beijing 100074)

Abstract End lid on spray pipe is made of short glass fiber/barium phenolic resin, some end lids cracked after five years under naturally store. By examination, test and analysis, it is considered that the end lids cracked by the reason of that, mass ratio of resin of local part in end lid is relatively low that resulted in lower intensity. There was internal stress in the end lid at the same time and intensity of material fell gradually during naturally store, then the end lids cracked when intensity fell lower than internal stress.

Key words End lid Crack, Mass ratio of resin, Internal stress

0 引言

喷管堵盖所用材料为高硅氧短切纤维/钡酚醛复合材料(树脂含量30wt%)。堵盖与扩散段通过整体模压成型。堵盖的主要作用是防潮、防异物进入,对承载能力要求不高。自然存储5年后该批次堵盖有十几个发生开裂。

1 观察与分析结果

1.1 形貌观察与分析

喷管堵盖(已从扩散段上分解下来)宏观形貌见图1,目视可见堵盖凸、凹面均分为深色、浅色两个区域,深色区域约占整个面积的1/4;浅色区域距边缘约29 mm处存在一条环向穿透性裂纹,凸面一侧裂纹总弧长约90 mm,裂纹最大宽度约0.1 mm,凹面一侧裂纹总弧长约15 mm。

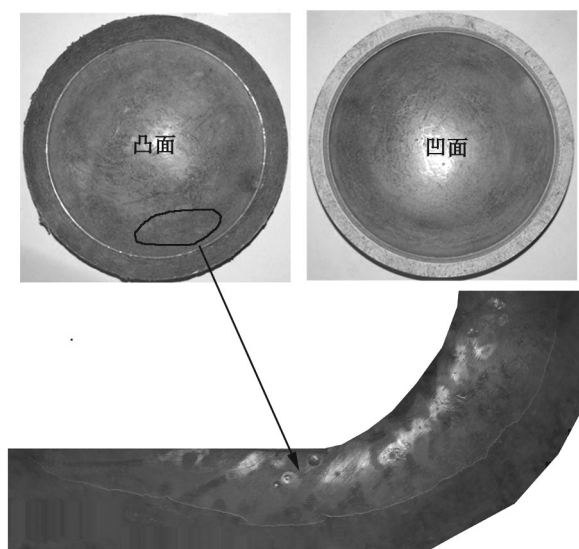


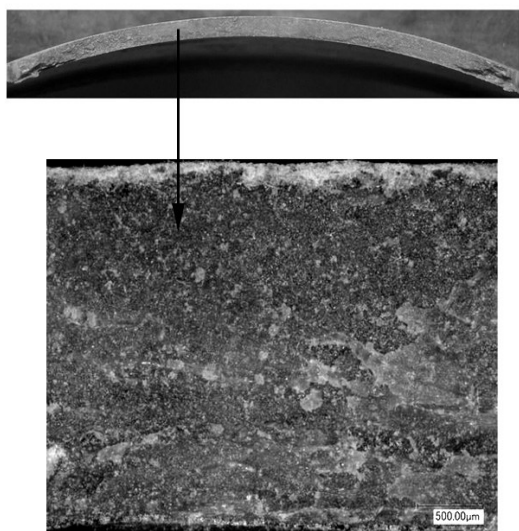
图1 喷管堵盖表面裂纹宏观形貌

Fig. 1 Macro morphology of crack on end lid surface

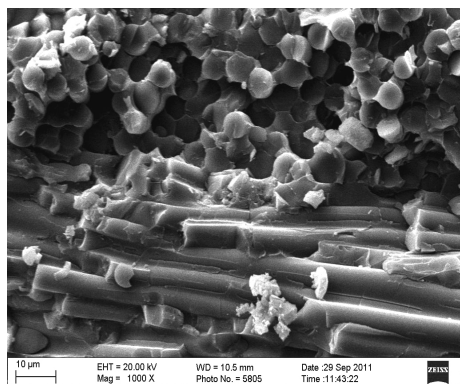
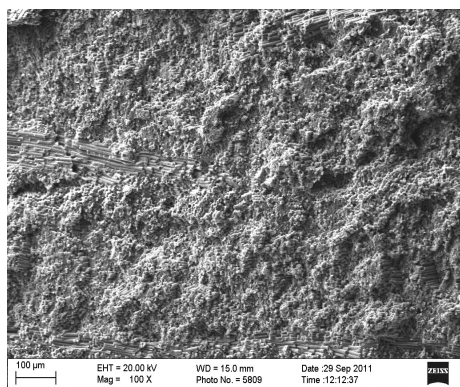
收稿日期:2014-03-13

作者简介:谢国君,1978年出生,硕士,长期从事机械产品的失效分析工作。E-mail:xieyuanliu617@163.com

采用机械方法将裂纹打开后对断口进行观察:断口较平整、断面粗糙,未见明显的纤维拔出现象,断口源区位于凸起一侧表面,为多源起裂,源区未见宏观材料缺陷及机械损伤痕迹;进一步放大观察,整个断口均呈交错分布的纤维形貌,未见明显的树脂断裂形貌,未见纤维拔出现象,见图2。



(a) 宏观形貌

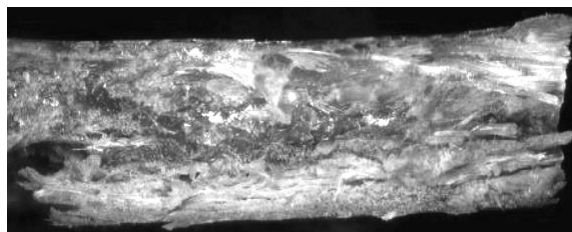


(b) 微观形貌

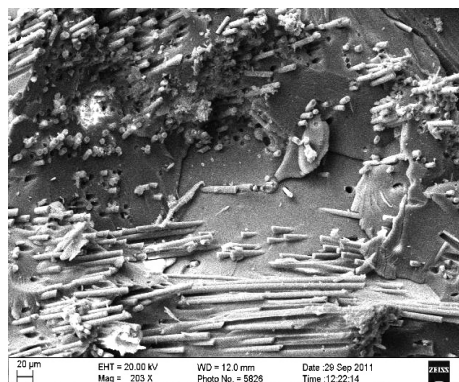
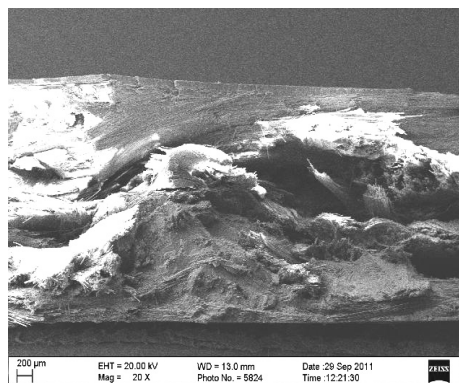
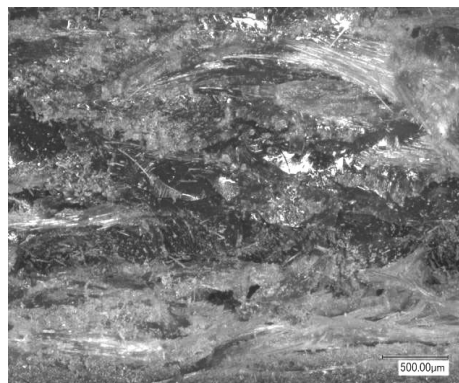
图2 打开的断口形貌

Fig. 2 Morphology of fracture surface of failure crack

从宏观颜色较深区域制造人工断口进行观察:断口存在明显的纤维拔出现象,进一步放大观察,断口呈纤维+树脂混合断裂形貌,见图3。



(a) 宏观形貌



(b) 微观形貌

图3 深色区域制造的人工断口形貌

Fig. 3 Morphology of fracture surface of crack by hand

1.2 金相分析

分别从裂纹区域及远离裂纹区域(包含扩散段)沿径向截取部分试样进行金相分析。

裂纹区域试样:浅色区域纤维密集排布,呈贫胶状态,裂纹位于贫胶区内;深色区域纤维周围均包裹有块状树脂,树脂含量明显较浅色区域偏高,形貌见图4。

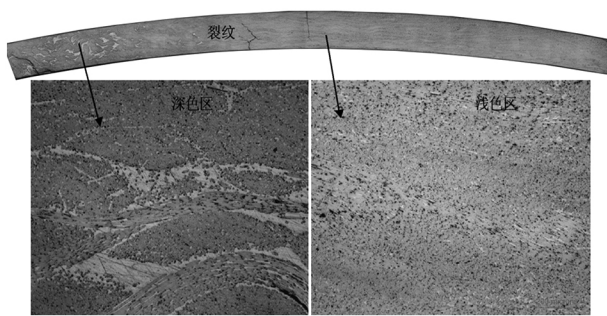


图4 裂纹区域金相形貌(白色块状区为树脂)

Fig.4 Metallograph of area of crack

远离裂纹区域:堵盖及扩散段形貌一致,纤维周围均包裹有块状树脂,树脂含量明显较裂纹区域高,见图5。



图5 远离裂纹区域金相形貌(白色块状区为树脂)

Fig.5 Metallograph of area far from crack

1.3 树脂含量测试

从堵盖裂纹区域(浅色区)、远离裂纹的浅色区域及心部深色区域分别截取试样,采用烧蚀法对树脂含量(质量分数)进行测试,测试结果依次为18.3%、24.3%、31.9%,测试结果表明裂纹区域的树脂含量较设计要求(30wt%)明显偏低。

2 分析讨论

喷管堵盖表面分为深色、浅色两个区域,深色区域约占整个面积的1/4。浅色区域存在一条环向穿透性裂纹(靠近深、浅两区域分界面),裂纹断口平整,未见明显的纤维拔出现象,整个断面未见材料缺陷及机械损伤,呈交错分布的纤维形貌,未见明显的树脂断裂形貌;从深色区域制造的人工断口断面粗糙,呈纤维+树脂混合断裂形貌。金相分析及树脂含量测试结果表明,深色区域树脂含量符合设计要求,浅色区域树脂含量较设计要求明显偏低,裂纹区域的树脂含量更低。

文献[1-3]表明,随着纤维含量的增加,复合材料的力学性能呈先升后降的变化规律,纤维含量过高(树脂含量偏低)材料强度反而会降低;复合材料在存储过程中由于基体树脂发生老化,材料的强度也会逐渐降低,脆性增大^[4-5];此外,因堵盖与扩散段采用整体模压成型,较易造成堵盖内部存在一定水平的内应力,且由于扩散段的束缚,该内应力难以通过变形

得以释放。综合以上因素认为,堵盖在制造及存储过程中材料强度与内应力的变化趋势基本有如图6所示的三种情况:(1)内应力水平较高,堵盖制造完成后短时间内较薄弱区域即发生开裂(厂家表示确有此情况发生);(2)内应力水平适中,存储初期材料强度高于内应力水平因而不会开裂,随着存储时间的增加,材料强度逐渐下降,当降至内应力水平之下时(图中两曲线相交处)堵盖薄弱区域即发生开裂;(3)内应力水平较低,在使用期限内不会发生开裂(两曲线无交点)。

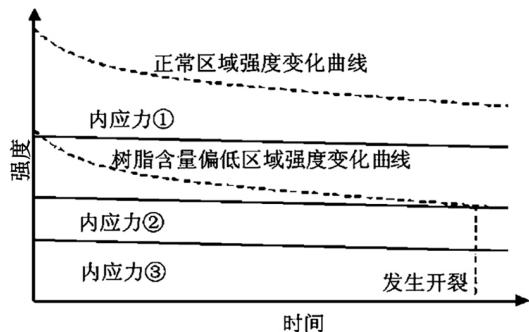


图6 材料强度与内应力随时间变化曲线

Fig.6 Trend curves of intensity and internal stress along with time

结合堵盖制造工艺及使用工况综合分析认为,堵盖发生开裂的原因是由于材料中树脂分布不均匀,部分区域树脂含量偏少、呈贫胶状态(最低处测得仅为18%),造成该区域材料强度相对较低,同时由于堵盖的工艺特点造成部分堵盖内部存在一定水平的内应力,随着存储时间的增长,材料的强度下降、脆性增大,当强度降至低于内应力时,堵盖较薄弱区域即发生开裂。

3 结论及建议

通过失效分析认为,堵盖材料中树脂分布不均匀,导致部分贫胶区域材料强度相对较低,同时堵盖内部还存在一定水平的内应力,随着存储时间增长,材料强度下降、脆性增大,当强度降至低于内应力时,堵盖较薄弱区域即发生开裂。建议:改进生产工艺,使纤维与树脂的分布尽量均匀以避免出现强度相对薄弱区;改整体成型为分体成型后再粘接以降低应力。

参考文献

- [1] 赵华俊,等. 玻璃纤维的含量对复合材料的力学性能影响及表征研究[J]. 安徽工程科技学院学报,2009,24(1):37-40
- [2] 李超,等. 树脂含量对碳布-环氧树脂复合材料力学性能的影响[J]. 纤维复合材料,2003(1):15-17
- [3] 蔡大勇,等. 纤维含量对C/C复合材料力学性能的影响[J]. 炭素技术,2001(1):16-18
- [4] 刘亚平,等. 玻璃纤维增强复合材料人工加速老化研究[J]. 工程塑料应用,2010,38(3):62-63
- [5] 肖迎红,等. 玻纤增强热塑性聚酯复合材料湿热老化研究[J]. 工程塑料应用,2001,29(9):35-37

(编辑 任涛)

成都天齐机械五矿进出口有限责任公司

加拿大 AP&C 公司运用其独有专利技术等离子雾化工艺生产金属粉末,其球形钛粉、钛合金粉具有球形度高、伴生颗粒少、流动性好、纯度高、含氧量低、粒径分布均匀等特点,每批次产品均可提供相关检验测试证书。同时可根据客户要求提供镍钛、铌、钼和其他高熔点金属粉末。

成都天齐机械五矿进出口有限责任公司作为加拿大 AP&C 公司中国总代理,将向国内客户提供高品质的金属球形纯钛粉和钛合金粉(Ti-6Al-4V 等级 5 & 23),主要适用于增材制造(3D 打印)、金属注射成型、热/冷等静压、涂层等,在航空航天、生物医疗、民用工业等领域都有着广泛的应用。

加拿大 AP&C 球形钛及钛合金粉末典型性质

粒径范围 / μm	粒径分布/ μm			流动性/ s^{-1}		表观密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
	D_{10}	D_{50}	D_{90}	ASTM B213	ASTM B964	
0 ~ 25	7	15	22	×	×	NA
0 ~ 45	15	34	48	<120	<25	2.52
15 ~ 45	20	34	50	<45	<20	2.50
45 ~ 106	50	70	105	<25	<5	2.55
45 ~ 125	48	74	100	<25	<5	2.55
0 ~ 180	35	85	150	<30	<7	2.75

注:1) ASTM B213 使用“霍尔流量计”测试流动性;ASTM B964 使用“卡尔尼流量计”测试流动性。

加拿大 AP&C 球形钛及钛合金粉末化学成分

元素	CpTi 等级 1	Ti-6Al-4V 等级 5	Ti-6Al-4V 等级 23 (ELI)	wt%
碳(C)	< 0.08	< 0.08	< 0.08	
氧(O)	< 0.15	< 0.15	< 0.11	
氮(N)	< 0.03	< 0.03	< 0.03	
氢(H)	< 0.015	< 0.015	< 0.0125	
铁(Fe)	< 0.20	< 0.40	< 0.25	
铝(Al)	-	5.5 - 6.75	5.5 - 6.5	
钒(V)	-	3.5 - 4.5	3.5 - 4.5	
其他元素	< 0.4	< 0.4	< 0.4	
钛(Ti)	余量	余量	余量	

联系地址:四川省成都市高新区高朋东路 10 号

联系电话:028-85153597 85159942 85335350

电子信箱:tianqi@tqmmm.com.cn

公司网址:www.tqmmm.com.cn