

文章编号: 1003-1480 (2021) 06-0010-04

某抛射具收口裂纹影响因素分析与改进研究

孙晓霞, 张亮亮, 刘君阁, 张民慧, 黄金红

(辽宁北方华丰特种化工有限公司, 辽宁 抚顺, 113003)

摘要: 针对某抛射具收口后出现壳体裂纹的问题, 在分析影响因素的基础上进行了设计改进和工艺改进, 并开展力学性能试验、随弹试验验证及多个批次产品生产交付。研究表明: 收口效果与壳体材质、收口部位尺寸、封口垫材质与尺寸、收口工艺等因素密切相关; 壳体材质选择应综合考虑结构强度及材质延展性等要求; 封口垫宜选择与壳体相同的材质, 尺寸不宜过薄, 且应进行倒角设计; 采用壳体成品退火工艺可有效解决收口裂纹问题。

关键词: 抛射具; 收口裂纹; 设计; 工艺

中图分类号: TJ45+9 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2021.06.003

Influencing Factor Analysis and Improvement Study of Bending Edge Crack of Some Throw Igniter

SUN Xiao-xia, ZHANG Liang-liang, LIU Jun-ge, ZHANG Min-hui, HUANG Jin-hong

(Liaoning North Huafeng Special Chemical Limited Company, Fushun, 113003)

Abstract: In view of the crack problem generated after some throw igniter shell edge being bended, the influencing factors were analyzed, the design improvement and the technology improvement were carried out. Meanwhile, the mechanical performance test, the following bomb test, the production and delivery of multiple batches of products were carried out. The study show that the bending edge effect is closely related to the shell material, the size of the bending edge part, the material and size of the sealing gasket, and the bending edge technology. The selection of shell material should comprehensively consider the requirements of structural strength and material ductility. The sealing gasket should be made of the same material as the shell, the size should not be too thin, and the chamfering design should be carried out. The annealing of finished products shell can effectively solve the bending edge crack problem.

Key words: Throw igniter; Bending edge crack; Design; Process

火工品是装有火药或炸药, 受外界能量刺激后产生燃烧或爆炸, 用以引燃火药、引爆炸药、做机械功或产生特种效应的一次性使用的元器件或装置的总称^[1]。火工品性能的优良不仅取决于结构设计, 工艺设计同样至关重要。收口是火工品成品装配常用的一种工艺方法, 是在压力机上使用专用模具使管壳(壳体)口部向内里弯曲、通过金属塑性变形获得需要的形状和尺寸的一种工艺方法, 用于对内部结构件进行

固定, 或与加强帽(盖片)等一起组成密封结构, 将内部火工药剂封装起来。殷琪等^[2]仿真研究了钝感爆炸元件管壳收口对装药密度的影响; 樊龙龙^[3]认为收口过程中的管壳变形可能会导致电雷管作用时间超差; 李便花等^[4]认为如果收口不严, 收口处就会有缝隙, 产品发火后火药气体会沿着缝隙进行压力释放。

在某抛射具研制过程中, 收口后壳体出现裂纹, 为此对影响收口裂纹的因素进行了分析, 在此基础上

收稿日期: 2021-04-27

作者简介: 孙晓霞(1974-), 女, 研究员级高级工程师, 从事火工品技术研究。

进行了设计改进和工艺改进。

1 问题提出

某抛射具原设计的收口结构见图 1。研制过程中，出现了收口后壳体产生裂纹的问题，收口部位裂纹现象见图 2 红色椭圆标识处。

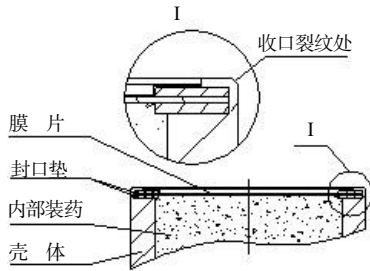


图 1 原设计的收口结构

Fig.1 The original bending edge structure



图 2 收口裂纹部位

Fig.2 The bending edge crack part

2 影响因素分析

由图 1 可知，收口效果与壳体、封口垫、收口工艺等因素密切相关。

2.1 壳体

壳体是收口的主体。收口过程中，壳体收口部位薄壁金属受力向内里弯曲，发生塑性变形，壳体机械性能和收口部位尺寸设计至关重要。

2.1.1 壳体材质

壳体机械性能主要取决于加工壳体的材质。原设计的壳体由牌号 2A12 的铝及铝合金挤压棒机械加工而成。2A12 化学成分见表 1，直径 $D > 22 \sim 150\text{mm}$ 的 2A12 圆棒室温拉伸力学性能见表 2。

表 1 2A12 化学成分^[5]

牌号	w/%										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	其他		Al
			单个		合计						
2A12	0.50	0.50	3.8 ~4.9	0.30 ~0.90	1.2 ~1.8	0.10	0.30	0.15	0.05	0.10	余量

2A12 是一种高强度硬铝合金，是硬铝中用量最大的合金，其成分比较合理，综合性能较好。由表 1~2 可以看出，2A12 属于 Al-Cu-Mg 系合金，加入 Cu 和 Mg 可以使之形成强化相，通过淬火时效处理可以获得相当高的强度^[7]。

表 2 2A12 室温拉伸力学性能^[6]

Tab.2 2A12 tensile performance in room temperature		
牌号	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 $A/\%$
2A12	420	10

抛射具设计时，综合考虑壳体与弹体连接、承载内部结构和火工药剂等功能，需要满足质量轻、作用后壳体不损坏的要求，即具有较高的强度质量比，以及良好的经济性，因而选择了牌号 2A12 的铝及铝合金挤压棒。然而正是由于 2A12 具有的较高强度、相对低的伸长率，表现为韧性差、延展性不好，不利于壳体收口部位金属塑性流动，为收口裂纹埋下了隐患。

2.1.2 壳体收口部位尺寸

收口直径、高度和壁厚是影响收口效果的 3 个主要因素，抛射具壳体收口部位尺寸见图 3。

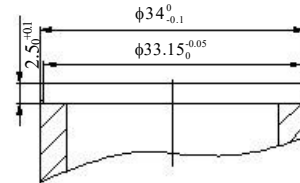


图 3 壳体收口部位尺寸

Fig.3 The shell bending edge part size

由图 3 可知抛射具收口直径较大，不利于形成理想的收口效果。但收口直径受抛射具整体尺寸和结构设计制约，调整空间不大。

收口高度设计为 $(2.5+0.10)\text{mm}$ ，与封口垫厚度和膜片厚度相关，主要影响收口结构强度和密封性能，对收口裂纹影响不大。

根据图 3，收口部位外径 $D_{\min}=33.9\text{mm}$ ， $D_{\max}=34.0\text{mm}$ 。收口部位内径 $d_{\min}=33.15\text{mm}$ ， $d_{\max}=33.20\text{mm}$ 。

因此，收口部位壁厚 h 计算如下：

$$h_{\min} = \frac{D_{\min} - d_{\max}}{2} = \frac{33.9 - 33.20}{2} = 0.350\text{mm} \quad (1)$$

$$h_{\max} = \frac{D_{\max} - d_{\min}}{2} = \frac{34.0 - 33.15}{2} = 0.425\text{mm} \quad (2)$$

由式 (1)~(2) 可知，收口部位壁厚 h 为 0.350~

0.425mm,符合0.3~0.5mm的常规设计要求,可以满足收口强度和成型性要求。

2.2 封口垫

封口垫的作用是固定膜片,在收口时不损伤膜片,并与壳体收口部位紧密接触,形成密封结构。

2.2.1 封口垫材质

原设计的封口垫由不锈钢棒机械加工而成。GJB 2294A-2014 航空用不锈钢及耐热钢棒规范^[8]规定的抗拉强度 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 。封口垫材质的强度远大于壳体材质的强度(420MPa)。因而,当壳体收口时,强度更大的封口垫可以对壳体产生磕伤。

2.2.2 封口垫尺寸

原设计的封口垫厚度为0.5mm。由于厚度过薄,只进行了棱角去毛刺处理。当壳体收口部位金属向内里弯曲时,刀片一样薄的封口垫对壳体的切割作用可以导致壳体损伤。

2.3 收口工艺

收口一般在压力机上使用专用模具完成,其工艺方法是待将收口的产品放入收口模具中,然后放入收口冲子(或将收口冲子固定在压力机上),再一起放到压力机上,在压力机一定压力作用下,冲子下降,待收口产品受力发生塑性变形。收口次数一般以2~3次为宜。多次收口的目的是使金属塑性变形逐步发生,且通过更换模具底座,使预收在模外进行、终收在模内进行,防止收口后收口部位尺寸增大。

抛射具设计为3次收口,1次收口、2次收口在模外进行,3次收口在模内进行,3次收口使用的收口冲子角度依次为 60° 、 120° 和 180° ,符合火工品常规工艺设计方法。收口压强根据壳体材质机械强度、收口部位壁厚和收口需达到的密封程度设计,各次收口采用的压强一般是相等的。抛射具收口压强确定为收口后壳体与封口垫紧密接触,即壳体与封口垫之间没有缝隙的最小压强,不存在壳体受力过大的问题。

3 改进措施与效果

3.1 设计改进

通过对影响抛射具收口裂纹的因素进行分析,并

综合考虑抛射具整体结构、工艺、成本及前期试验等各项因素,确定从壳体材质、封口垫材质和尺寸3个方面进行设计改进。本着与2A12各项性能相近,能够满足抛射具结构强度要求,且较2A12具有更好的韧性和延展性的原则,通过研究国家标准等相关资料,确定将壳体材质由2A12改进设计为2A11。2A11化学成分以及直径 $D \leq 150\text{mm}$ 的2A11圆棒室温拉伸力学性能见表3~4。

表3 2A11化学成分^[5]

Tab.3 2A11 chemical composition

牌号	w/%										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	其他		Al
									单个	合计	
2A11	0.70	0.70	3.8 ~4.8	0.40 ~0.80	0.40 ~0.80	0.10	0.30	0.15	0.05	0.10	余量

表4 2A11室温拉伸力学性能^[6]

Tab.4 2A11 tensile performance in room temperature

牌号	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 $A/\%$
2A11	370	12

对比表3和表1、表4和表2,可以看出2A11也属于Al-Cu-Mg系合金,较2A12的Mg含量有大幅减少,其抗拉强度小于2A12,断后伸长率大于2A12。综合分析论证,认为2A11既可以满足壳体与弹体连接、承载内部结构和火工药剂等功能,又可解决收口裂纹的问题。在壳体设计改进的同时,对封口垫进行设计改进。将封口垫材质由强度大于壳体的不锈钢改进设计与壳体相同的材质;将封口垫加厚,改进设计后的封口垫厚度为1mm,并在封口垫与壳体接触的一侧增加倒角设计,使之为无锋利的锐角。

遵循改动量最小原则,为保持原收口高度(2.5+0.10)mm不变,进而不影响其它尺寸链,取消了膜片下方的封口垫,设计改进后的收口结构见图4。

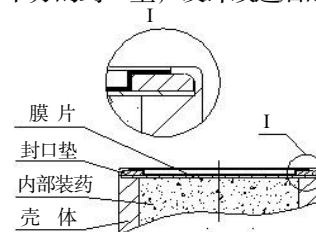


图4 设计改进后的收口结构

Fig.4 The improved bending edge structure

设计改进后的抛射具进行收口试验。对收口部位进行外观检查,目视很难发现异常。在光学显微镜下仔细观察,发现仍有个别产品收口处有轻微损伤,收口损伤部位见图5红色椭圆标识处。



图5 收口损伤部位

Fig.5 The bending edge damage part

通过设计改进,抛射具收口裂纹问题基本得到了解决,但未能实现最佳收口效果,仍存在隐患。于是,在设计改进的基础上,进行了工艺改进。

3.2 工艺改进

退火是金属材料加热到适当的温度,保持一定的时间,然后缓慢冷却的热处理工艺。退火可以降低材料硬度、提高塑性,以利于挤压、拉拔、冲压等压力加工;并消除和改善前道工序遗留的组织缺陷和内应力,提高组织和成分的均匀化。

2A11 属于 Al-Cu-Mg 系合金,是一种能热处理的铝合金。退火加热时,金属的组织结构向平衡状态转化,会发生回复与再结晶的过程。当退火温度低、退火时间短时,以回复过程为主,该阶段金属强度稍有降低,塑性略有提高,内应力明显下降。从某一温度开始,合金显微组织发生明显变化,在光学显微镜下即可观察到新生的晶粒,再结晶过程发生,该阶段完全消除了加工硬化现象,金属强度急剧下降,塑性明显提高。再结晶晶粒形成后,若继续延长保温时间或提高加热温度,再结晶晶粒将粗化,金属的机械性能相应变坏。

退火工艺参数主要包括加热速度、退火温度(最高加热温度)、保温时间和冷却速度等。通过控制退火工艺参数可以实现去应力退火、再结晶退火等不同方式的退火。2A11 在退火状态下切削性能不良。为满足壳体的机械加工要求,满足抛射具结构强度要求,同时又能解决收口裂纹问题,最终确定为壳体机械加工后成品退火,退火条件为 400℃、30min。

将设计和工艺改进后的抛射具收口后在光学显微镜下进行外观检查,未见异常。抛射具经震动、高

频震动、2m 跌落、12m 跌落等力学性能试验后结构完好、作用可靠。抛射具随三型 XX 弹分别进行了静态和动态试验,均满足使用要求。抛射具在此后一万多发的生产交付中,无收口裂纹问题出现。

4 结论

通过抛射具收口裂纹影响因素分析与改进研究,可以得到如下结论:(1)抛射具收口效果与壳体材质、收口部位尺寸、封口垫材质与尺寸、收口工艺等因素密切相关。(2)壳体材质选择应综合考虑结构强度及材质的延展性等要求,实现强度与塑性的最佳匹配。(3)封口垫宜选择与壳体相同的材质,尺寸不宜过薄,并应进行倒角设计。(4)壳体成品退火是一种解决收口裂纹的有效方式,退火工艺参数至关重要。

参考文献:

- [1] 蔡瑞娇,编著. 火工品设计原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999.
- [2] 殷琪,闻泉,王雨时,等. 钝感爆炸元件管壳收口对装药密度影响的仿真研究[J]. 火工品, 2017 (1): 1-4.
- [3] 樊龙龙. 某小型电雷管作用时间超差的原因分析与改进[J]. 船舶电子工程, 2015 (12): 119-121.
- [4] 李便花,潘会平,肖友霖,等. 某型底火作用失效研究[J]. 新技术新工艺, 2016 (7): 88-91.
- [5] GB/T 3190-2020 变形铝及铝合金化学成分[S]. 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会, 2020.
- [6] GB/T 3191-2019 铝及铝合金挤压棒材[S]. 国家市场监督管理总局、中国国家标准化管理委员会, 2019.
- [7] 许德珠,主编. 机械工程材料(金属工艺学 I) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [8] GJB 2294A. 2014 航空用不锈钢及耐热钢棒规范[S]. 中国人民解放军总装备部, 2015.