

基于正交试验的铝合金端盖冲击特性研究

陈德金^{1,2} 林 彬² 李小慧² 田浩彬¹

(1.上海第二工业大学环境与材料工程学院; 2.上海材料研究所)

摘 要 为了获得冲击性能稳定的贮运发射箱端盖,对冲击力的影响因素进行分析研究。采用正交试验设计的方式,分析冲击速度、冲击质量以及模拟弹头圆角半径对端盖冲击力的影响程度。介绍端盖在冲击过程中的开盖形式,冲击结果结合极差分析,比较不同因素水平对端盖冲击力的影响。结果表明,冲击速度是影响冲击力的主要因素,冲击力大小随着冲击速度与冲击质量的增加呈现先增大后减小的变化,随着模拟弹头圆角半径的增大而增大。

关键词 正交试验;冲击试验;铝合金;端盖

中图分类号 TG146.21;TG115.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.08.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Impact Characteristics of Aluminum Alloy Cover Based on Orthogonal Experiment

Chen Dejin^{1,2}, Lin Bin², Li Xiaohui², Tian Haobin¹

(1.School of Environment and Materials Engineeving, Shanghai Polytechnic University;
2.Shanghai Research Institute of Materials)

Abstract: In order to obtain stable impact performance of cover of launch container for storage, the influence factors were analyzed. The influence of impact factors such as impact velocity, impact weight and fillet radius of warhead was investigated by orthogonal experiment, and the opening pattern of cover was introduced during impact process. Combined with the deviation analysis, the influence degree of different factors on the impact force of cover was compared. The results indicate that the impact velocity is the main factor affecting impact force of cover. The impact force is decreased with the increase of impact velocity and impact weight, and increased with the increase of fillet radius.

Key Words: Orthogonal Test, Impact Test, Aluminum Alloy, Cover

贮运发射箱端盖作为贮运发射箱中的重要零部件^[1,2],在战备时避免导弹遭受高温、严寒等恶劣环境的影响,起到防水、防尘、隔热以及气密的作用^[3],在发射过程中迅速打开,能让导弹及时脱离发射箱,不影响顺利发射^[4]。

端盖主要有燃气流开盖、激波开盖以及顶破开盖等方式^[5,6]。国内目前端盖的开启方式主要以燃气流直接吹碎盖体实现开盖或导弹头直接撞击盖体开盖^[7]。顶破开盖时端盖承受的冲击力大小会影响导弹头部天线罩的安全性能和导弹的顺利发射。冲击力过大会导致导弹天线罩及其内部的精密设备受损。因此在端盖的设计过程中需要考虑到端盖顶破开盖时的冲击力。

本课题通过正交试验设计,探究冲击质量、冲击速度以及弹头圆角半径对铝合金端盖冲击力大小的影响,

分析上述参数在一定范围内对冲击力的影响与变化,从而为端盖设计过程中冲击力预测提供参考。

1 试验方法

1.1 样盖结构设计

采用铝合金端盖进行模拟弹头的低速冲击模拟试验。5052 铝合金的物性参数见表 1。根据某型号端盖的开盖性能要求,设计环向应力沟槽、X 型应力沟槽及顶破部位结构,样盖整体厚度为 6 mm,环向沟槽及 X

表 1 5052 铝合金物性参数

Tab.1 Physical performance parameters of 5052 aluminum alloy

密度/ (kg·m ⁻³)	弹性模量/ GPa	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	伸长率/ %
2.68	69.3	230	195	12

收稿日期:2021-02-01;修改稿收到日期:2021-03-01

基金项目:上海第二工业大学研究生项目(A10GY20H002-G12)

第一作者简介:陈德金,男,1995 年出生,硕士,上海(201209),E-mail:946257753@qq.com

通信作者:李小慧,男,1973 年出生,教授级高工,上海(200437),E-mail:13641702984@163.com

引用格式:陈德金,林彬,李小慧,等. 基于正交试验的铝合金端盖冲击特性研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(8):1 028-1 030.

CHEN D J, LIN B, LI X H, et al. Impact characteristics of ofaluminum alloy cover based on orthogonal experiment[J]. Special Casting &

Nonferrous Alloys, 2021, 41(8):1 028-1 030.

沟槽剩余厚度为 0.5 mm,沟槽角度为 90°,顶破点剩余厚度为 0.5 mm,结构见图 1。

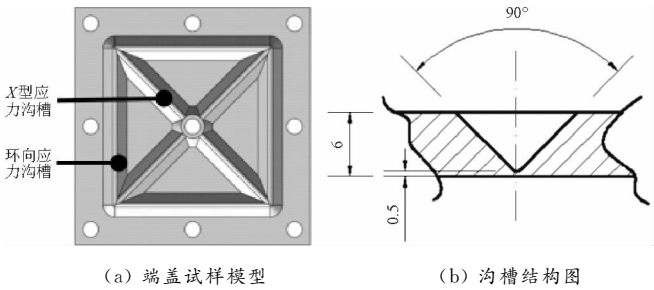


图 1 端盖试样模型及沟槽结构图

Fig.1 Structure diagram of cover and groove

1.2 试验装置搭建

设计低速冲击试验平台,见图 2。冲击试验平台主要包括低速冲击工装和数据采集系统两部分。低速冲击工装由试样装夹平台、垂直滑轨以及模拟弹头等组成。通过装夹平台自由落体的形式模拟导弹发射过程中的运动,弹头在冲击端盖试样瞬间产生冲击力,利用数据采集系统测出实际冲击力大小。试验通过调节低速冲击工装上装夹平台的下落高度调整冲击速度,并通过高速摄影数据确认模拟弹头冲击样盖冲击点的瞬时速度。

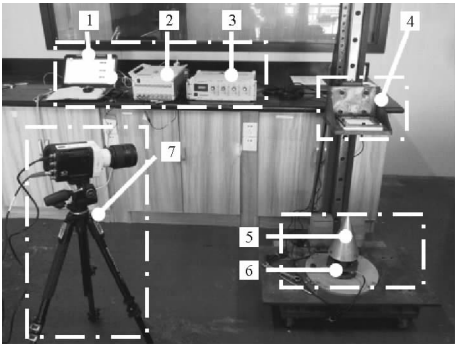


图 2 低速冲击试验平台

Fig.2 Low-speed impact test platform

- 1.电脑 2.采集器 3.应变放大器 4.装夹平台 5.模拟弹头
6.传感器 7.高速摄像机

数据采集系统包括应变放大器、采集器及高速摄像机等。在模拟弹头下方安置传感器,传感器采集范围为 0~5 kN,通过采集分析软件进行冲击力数据采集、处理与分析。

1.3 正交试验设计

采用正交试验手段研究不同因素对冲击力的影响程度^[8]。拟定影响开盖冲击力大小的试验因素为:冲击质量、冲击速度以及弹头圆角半径。为了便于试验模拟,对于冲击质量的改变通过添加不同的质量块,将质量块置于试样装载平台上,随端盖一起进行自由落体,质量块质量分别为 0、5、10 kg。由于冲击速度不便模

拟,试验以冲击高度的变化控制冲击速度,通过自由落体的方式计算冲击速度。最终选择以冲击高度 A、质量块质量 B、弹头圆角半径 C 作为影响因素。冲击高度选择 200、400、600 mm,即对应的冲击速度为 2.0、2.8、3.4 m/s,弹头圆角选择 SR5、SR7.5 以及 SR10。装夹平台自重 8 kg,冲击质量为质量块和装夹平台自身质量,冲击质量选择为 8、13、18 kg,其余各因素见表 2。

表 2 控制因素与水平表

Tab.2 Control factors and levels

水平	冲击速度 A/(m·s ⁻¹)	冲击质量 B/kg	弹头圆角半径 C/mm
1	2.0	8	5
2	2.8	13	7.5
3	3.4	18	10

正交试验用 L₉(4³)正交试验表,设计 9 种不同冲击参数的试验方案,并以冲击力作为评价指标,测试其冲击力。测试方案见表 3。

表 3 冲击正交试验方案

Tab.3 Impact test schemes of orthogonal test

试验号	冲击速度/(m·s ⁻¹)	冲击质量/kg	弹头圆角半径/mm
1	2.0	8	5
2	2.0	13	7.5
3	2.0	18	10
4	2.8	8	7.5
5	2.8	13	10
6	2.8	18	5
7	3.4	8	10
8	3.4	13	5
9	3.4	18	7.5

2 试验结果分析

2.1 端盖开盖过程

为了详细描述冲击力在开盖过程的变化,选取具有典型开盖特点的数据曲线进行分析,见图 3。

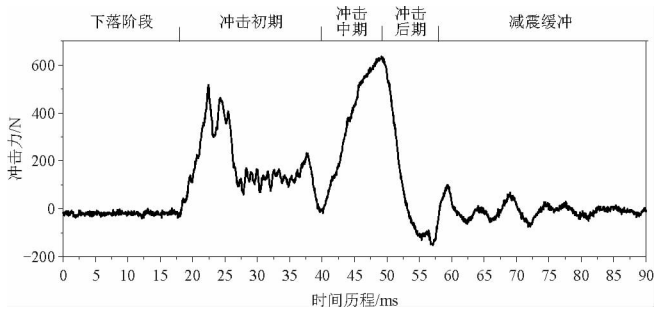


图 3 冲击曲线图

Fig.3 Impact curve

端盖在冲击试验中主要经过 5 个阶段(见图 4):下落阶段、冲击初期、冲击中期、冲击后期以及冲击结束后的减震缓冲阶段。在端盖冲击初、中期,模拟弹头冲击铝合金薄板中心薄弱处,其后持续稳定冲击力的形成是

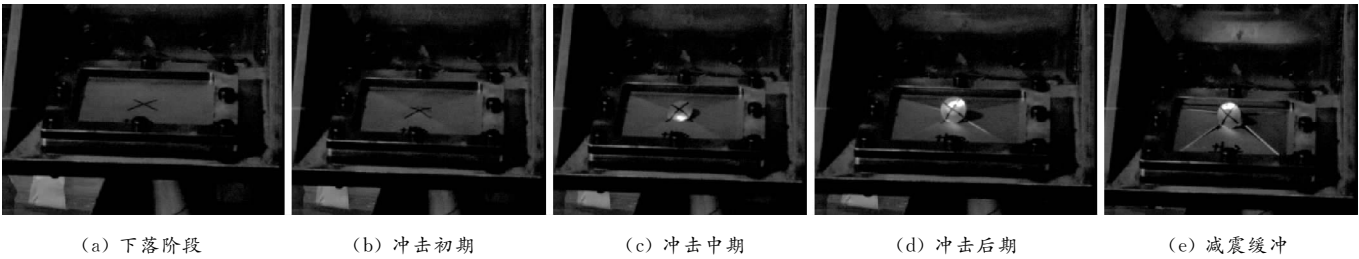


图 4 端盖冲击的典型过程
Fig.4 Typical process of cover impacting

由于弹头对薄板穿透,端盖正中心处于持续撕裂的状态。沿 X 沟槽开始变形,直至模拟弹头撞击圆形薄弱处边缘开始开裂,即模拟弹头开始撞击端盖最厚处,冲击力达到峰值。冲击后期主要以开启 X 向沟槽和环向沟槽为主,冲击力低于峰值直至结束。最后装夹平台坠至减震缓冲装置上形成波动曲线。

2.2 正交试验分析

为了研究不同冲击参数对端盖冲击力影响的主次顺序,采用极差分析对冲击结果进行分析,获得的统计结果见表 4 和表 5。极差中的 R_j 数值越大,表明试验参数对试验结果的影响程度越大。根据表 5 的统计结果分析,可见对端盖冲击力影响程度的主次顺序为:冲击速度>弹头圆角半径>冲击质量。

表 4 正交试验冲击试验结果

Tab.4 Impact test results of orthogonal design				
试验号	冲击速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	冲击质量/ kg	模拟弹头圆角 半径/mm	冲击力/ N
1	2.0	8	5	516.485
2	2.0	13	7.5	699.654
3	2.0	18	10	702.470
4	2.8	8	7.5	722.691
5	2.8	13	10	804.772
6	2.8	18	5	590.319
7	3.4	8	10	471.839
8	3.4	13	5	493.523
9	3.4	18	7.5	520.326

表 5 正交试验的极差分析

Tab.5 Range analysis for orthogonal test				N
试验号	A	B	C	
K_{1j}	1 918.609	1 711.015	1 600.327	
K_{2j}	2 117.782	1 997.949	1 942.671	
K_{3j}	1 485.688	1 813.115	1 979.081	
R_j	632.094	286.934	378.754	

图 5 为不同冲击参数与冲击力值的变化趋势。可以看出,在冲击速度为 2.0~3.4 m/s 以及冲击质量为 8~18 kg 以内,冲击力数值会随着冲击速度以及冲击质量的增加,呈现先增大后减小的趋势。弹头圆角在 SR5 至 SR10 之间,冲击力数值会随着弹头圆角半径呈现逐步增大的趋势。

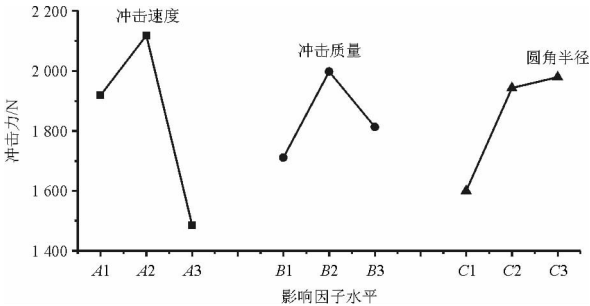


图 5 不同冲击参数对冲击力的趋势图
Fig.5 Variation trend of impact force with different impact parameters

3 结 论

- (1)冲击高度为 200~600 mm 即冲击速度范围为 2.0~3.4 m/s,是端盖冲击力影响的主要因素。冲击力会随着冲击速度以及冲击质量的增加呈现先增大后减小,随着圆角半径的增加而逐渐增大的变化。
- (2)冲击试验过程中,试样的冲击曲线大体一致,符合常见端盖的开盖历程,可以为后续端盖设计提供借鉴。

参 考 文 献

[1] 张玲翔,吕小红.国外飞航导弹发射系统发展概况及关键技术分析[J].舰载武器,2000(4): 16-24.

[2] 孙建中.美国海军的新型舰载垂直发射装置[J].现代防御技术,2001,29(6): 34-37.

[3] 段苏宸,姜毅,牛钰森,等.发射箱易碎后盖开启过程的数值计算[J].兵工学报,2018,39(6): 1 117-1 124.

[4] 张玲翔.国外小间隙发射箱技术的发展[J].飞航导弹,1998(1): 23-28.

[5] 傅德彬,姜毅.某导弹易碎盖的开启过程[J].固体火箭技术,2007(4): 275-277.

[6] 李绪东,刘宇盖,李小慧,等.导弹发射箱用平板型复合材料多瓣薄膜盖的研制[J].机械工程材料,2019,43(4): 35-38,43.

[7] 姜毅,耿锋,张强.导弹发射箱盖开启过程数值计算及试验[J].弹道学报,2008(3): 33-35.

[8] 王学深.正交试验设计法[M].上海:上海人民出版社,1975.

(编辑:栗万仲)