

铝合金弹壳成形及失效分析

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.01.011

范才河 沈 彤 胡泽艺

湖南工业大学

冶金与材料工程学院

湖南 株洲 412007

摘 要: 随着现代化战争对武器轻量化的迫切需要, 高强轻质铝合金弹壳的研制已成为世界各国的重点研究方向。铝合金弹壳成形工艺一般有拉深变薄、挤压和旋压等方法, 其在制备成形过程中的失效方式复杂多变, 失效原因多种多样。基于自主开发的高强高韧铝合金弹壳, 介绍了铝合金弹壳材料制备技术和模具冲压成形技术, 综述了铝合金弹壳的成形工艺、失效方式和性能特征, 分析了金属弹壳的失效原因和解决措施, 展望了轻质铝合金弹壳的发展趋势。

关键词: 铝合金弹壳; 成形工艺; 失效分析; 性能特征

中图分类号: TG306

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2019)01-0087-07

引文格式: 范才河, 沈 彤, 胡泽艺. 铝合金弹壳成形及失效分析 [J]. 包装学报, 2018, 11(1): 87-93.

0 引言

随着武器轻量化发展, 弹壳材料经历了 3 个发展阶段^[1-2]: 第一代弹壳以黄铜为主要原材料, 具有加工成形性能好、弹性模量低、加工硬化指数大等优点; 第二代弹壳以覆铜钢、钢、覆铝钢等为主要原材料, 具有力学性能高、加工成本低等优点; 第三代弹壳以铝合金为主要原材料, 具有质量轻、可显著减轻武器重量、提高单兵作战能力等优点。相比于铜、钢弹壳, 铝合金弹壳密度小、质量轻, 约为铜、钢弹壳的 1/3, 装药后铝合金弹的整体质量约为铜、钢弹的 3/5。但由于常规铝合金成形性差、强度低、耐高温性能差, 严重制约了铝合金弹壳的发展。近年来, 随着弹壳材质的演变, 其成形工艺也不断优化和发展, 研究者们开发出了多模变薄、多模一次变薄、复合挤压、旋压等加工成形工艺, 探讨了不同工况条件下弹壳失效的方式及原因, 如发射时弹壳变薄、底缘拉脱、穿孔、口部纵裂和体根部横断等失效方式; 同时评估

了失效所造成的严重后果, 表征了弹壳成形及发射过程中的力学性能变化, 旨在探索其科学的解决措施^[3]。

本文基于自主开发的高强高韧铝合金弹壳, 介绍了铝合金弹壳材料制备技术和模具冲压成形技术, 综述了铜质、钢质和铝质弹壳的成形工艺、失效方式和性能特征, 详细分析了金属弹壳的失效原因和解决措施, 展望了轻质铝合金弹壳的发展趋势。

1 弹壳成形工艺

金属弹壳的结构如图 1 所示。铜质、钢质和铝质弹壳的成形方法有拉深成形、挤压成形和旋压成形等。

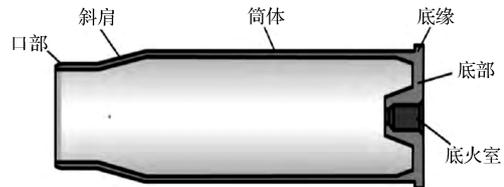


图 1 金属弹壳结构

Fig. 1 Structure of metal cartridge case

收稿日期: 2018-11-18

基金项目: 湖南省科技计划基金资助项目 (2018ZK4001, 2018ZK4052)

作者简介: 范才河 (1978-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要从事喷射成形快速凝固技术方面的研究, E-mail: 369581813@qq.com

1.1 拉深成形法

拉深成形工艺又称拉深变薄工艺,具有加工效率高、成本低、材料利用率高、操作简单的优点,易于实现机械化和自动化生产,已被广泛应用于铜质和钢质弹壳的制备^[4]。拉深成形工艺有多种实现方式:单模多次变薄拉深、多模一次变薄拉深^[5-7]、普通变薄拉深、内径变薄拉深、初次变薄拉深以及初次变薄拉深与变薄拉深的复合等,可根据弹壳结构、坯料的状态和性能等要求进行选择。用拉深成形法制备出的弹壳具有较好的成形同心度,且无需中间退火,所制备弹壳的组织均匀、致密度高、力学性能好^[8]。Zhao J.等^[9]利用仿真手段对经过热处理和未经热处理的坯料多模拉深过程进行了模拟分析,研究发现经过热处理后的坯料在同样的工艺条件下,拉深的筒件长度更长,流动性更好。双海军等^[10]对多模一次成形后的钢弹壳进行测试,实验表明弹壳制胚的断面收缩率由49.0%提高至63.9%,引伸断面加工率由89.3%降至87.3%,参数严格控制的弹壳能通过50℃和-50℃的射击试验。肖善超^[3]对多模一次拉深成形过程进行了变薄参数和凹模锥角的影响分析,设计制造了实验模具,并对某型号覆铜钢弹壳进行了多模变薄拉深工艺实验。胡冶昌等^[11]利用Deform软件对某覆铜钢弹壳进行多模连续引伸仿真分析,通过减少4°引伸下模的锥角,引伸长度增加了1.8 mm左右,改善了弹壳引伸中孟子断裂的现象。

1.2 挤压成形法

挤压成形分为冷挤压和热挤压成形,是铝合金弹壳成形的重要方法。由于其属于少切削工艺,因此材料的利用率较高,且挤压过程中模具型腔内的金属坯料受到三向应力的作用,使挤压制品的致密度和机械强度大幅提高^[12]。12.7 mm口径铝合金弹壳挤压成形过程如图2所示。



图2 12.7 mm口径铝合金弹壳挤压成形过程

Fig. 2 Extrusion process of 12.7 mm aluminum alloy cartridge case

挤压成形过程通常受摩擦系数、挤压速度、温度、热处理工艺和模具组合方式等因素影响^[13-16]。刘晓霞等^[17]利用DEFORM-2D软件对7050高强铝合金弹壳坯件成形过程进行仿真模拟和实验验证,结果表明随炉冷却的坯块在挤压中的等效应力峰值较水冷却的约小10 Mpa,挤压温度每降低50℃,应力差值增大5 Mpa,所需的挤压载荷最低减少约15%。李晓光等^[18]对某弹壳冷挤压成形过程中模具的受力进行数值模拟分析研究,研究表明合理设计的预应力组合模具的承受能力是整体式模具的1.75倍左右,有效降低了模具破裂的风险,能确保弹壳挤压成形后的质量。张小光等^[19]对两步挤压、复合挤压和闭塞挤压成形工艺进行对比,研究发现冷挤压复合成形工艺具有工序少、制件尺寸精度高、壁厚均匀等优势;在复合挤压中,凸缘部分首先形成并参与变形,使凸缘与筒壁的交接处应力状态变得复杂,在该处容易产生缺陷。张庆飞等^[20]对凸缘进行数值模拟,结果表明凸缘及拐点处金属流动尚好,未产生缺陷。滕宏春等^[21]对一次冷挤压、反挤压与变薄拉深复合成形的带锥孔的射孔弹壳进行上限法解析试验研究,研究表明反挤压与变薄拉深复合成形工艺能够解决带锥孔弹壳一次成形载荷过大、模具损坏的问题。此外,V. Shteamashadi等^[22]提出一种新的反挤压工艺——径向反挤压,研究发现径向反挤压作为一种新型反挤压工艺具有诸多优点,能有效降低挤压载荷且最大挤压载荷约为传统工艺的20%,所制备的产品组织性能均匀。

1.3 旋压成形法

旋压成形法是利用旋压工具对旋转坯料施加压力,产生连续局部变形,从而获得空心旋转体零件的塑性成形方法^[23]。旋压成形法综合了挤压、锻造、拉伸弯曲等工艺的特点,多用于锥形件和薄壁管形件及各种形状复杂的旋转零件,但由于其变形的渐进性,使成形时间增长,导致生产率较低、劳动强度较大,因此只适合生产小批量的产品^[24-25]。此外,旋压成形法在制备薄壁筒形制件时会产生很大的残余应力,若参数失调,会引起材料流动不均匀,从而影响工件的尺寸及形状^[26-27]。刘陶等^[28]运用DEFORM-3D软件对铝合金弹壳旋压成形过程进行了数值模拟,通过在不同工艺条件下的模拟比较,发现旋压温度为20℃、主轴转速为400 r/min、减薄率为50%、进给率为0.75 mm/r时,可以制备出表面

质量好、力学性能高的铝合金弹壳产品。

2 弹壳发射时的力学特征

枪弹发射时, 铝合金弹壳各部位受力情况不同, 因此对各部位的力学性能要求不同, 如弹壳口部主要起到闭气作用, 力学性能要求较低, 而体部和底部在退壳时受力较大, 则力学性能要求较高。弹壳在膛压下会跟弹膛内表面接触, 产生接触压力和接触摩擦力, 摩擦力对整个弹壳弹膛系统的变形产生影响, 从而影响力学性能。车浩召等^[29]研究了摩擦系数对弹壳弹膛间摩擦力的影响, 发现弹壳枪膛的摩擦力随着摩擦系数的增大而增大, 摩擦力较大的区域主要是斜肩转折处和体根部附近。

图 3 是弹丸发射时膛压随时间的变化曲线。

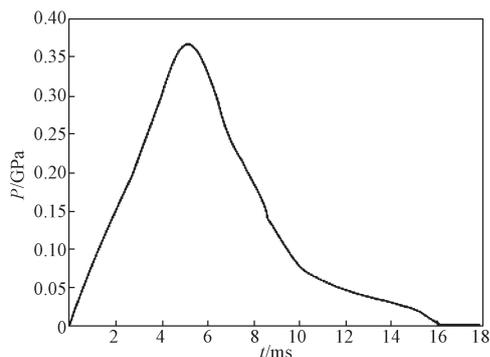


图 3 膛压随时间的变化曲线

Fig. 3 The change curve of pressure of borehole over time

弹丸发射时, 根据气体压力的变化和弹壳变形特点, 可以将弹壳和炮膛的受力变形状态分为贴膛前变形阶段, 贴膛后变形阶段和卸载阶段。贴膛前, 随着膛压的升高, 弹壳发生弹性变形, 当膛压大于屈服极限后, 弹壳发生塑性变形; 贴膛后, 弹壳继续塑性变形, 而枪管在膛压和弹壳作用下发生弹性变形; 当弹丸抛出后, 弹壳和枪管同时进入卸载阶段, 炮膛可以逐步恢复到变形以前的状态, 而弹壳不能完全恢复到变形以前的状态^[30]。杨吉林等^[30]对弹丸发射时弹壳体部和底部及炮膛的受力进行分析研究, 由于膛压作用, 弹壳沿轴向抖动, 造成轴向应力有小幅波动, 贴膛后, 弹壳底部向后的位移被闭体挡住, 使弹壳底部不贴膛段形成悬臂梁而不断振动, 且不同的抽壳时刻与抽壳力大小有重要关系。吴志林等^[31]对铝合金弹壳进行了强度理论分析和仿真分析, 得到了弹壳轴向应力的强度特性和弹壳的应力分布情况,

发现应力集中在弹壳体根部, 摩擦越小, 弹壳轴向应力越小, 闭锁间隙对轴向应力影响不大。

3 铝合金弹壳的失效形式、原因及工艺改进

铝合金弹壳在发射时会出现变薄、底缘拉脱、穿孔、口部纵裂和体根部横裂等失效现象, 从而导致卡壳、断壳等故障, 对操作人员的安全造成极大威胁。口部纵裂和体根部横裂是较常见的失效现象, 如图 4 和图 5 所示。

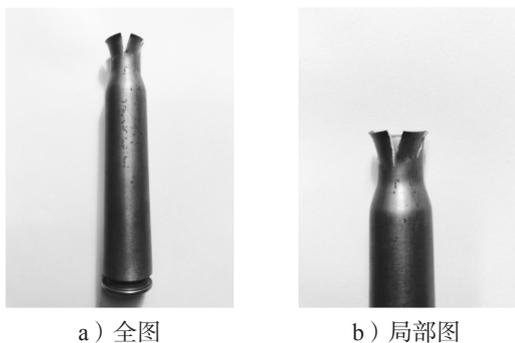


图 4 铝合金弹壳口部纵裂宏观形貌

Fig. 4 Macroscopic morphology of longitudinal crack at the mouth of aluminum alloy cartridge case

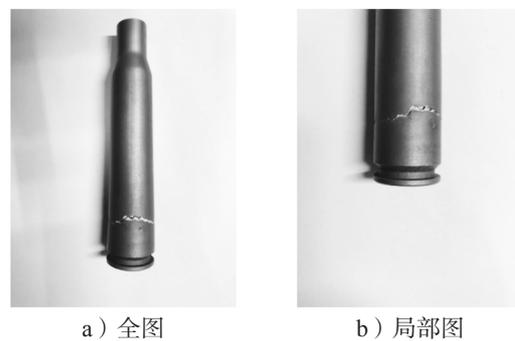


图 5 铝合金弹壳体根部横裂宏观形貌

Fig. 5 Macroscopic morphology of transverse crack at the root of body of aluminum alloy cartridge case

弹壳口部纵裂通常是环向应力较大造成的, 发射时较大的径向应力使弹壳径向膨胀, 壁厚变薄, 口部也更容易在环向应力作用下被拉裂。体根部横裂主要是由于弹壳在膛压作用下产生轴向变形或轴向位移, 弹壳前部因受巨大的接触力而无法移动, 轴向变形或位移只能由体根部附近的部位来承受, 因此体根部容易出现应力集中, 产生体根部横裂现象^[29]。吴志林等^[31]和杨九州等^[32]通过 ANSYS 软件对铝合金弹壳进行强度分析, 结果表明弹壳体根部轴向应力集中是导致弹壳断裂的主要原因, 减少摩擦可有效改善应力

集中。

文献研究表明,解决铝合金弹壳失效问题的方法一般有3种:一是研究合理的成形工艺,二是探索性能更优的铝合金材料,三是采用合理的表面处理工艺^[33]。王玉松^[34]利用BP神经网络、数值模拟等方法对7050铝合金弹壳塑性成形工艺的挤孟凸模圆角和锥面斜度、引长凹模减径圈的变形比和间距、引长凸模圆角和冲底凹凸模间隙进行了优化,减少了塑性成形的开裂倾向。刘晓霞等^[17]研究发现在挤压速度为5 mm/s,挤压温度为450℃下得到的铝合金弹壳尺寸良好,无明显划痕、裂纹等缺陷,表面质量良好。本课题组^[35]采用喷射成形的方法成功研制了满足铝合金弹壳性能要求的高强铝合金材料,制备了高强韧、耐烧蚀的铝合金弹壳,经过某试验场实弹射击,未产生失效现象,完好率达100%。图6为铝合金射击后弹壳剖面形貌图。由图可知,铝合金弹壳在射击过程中未出现变形和失效等问题,也未观察到裂纹和烧蚀现象。

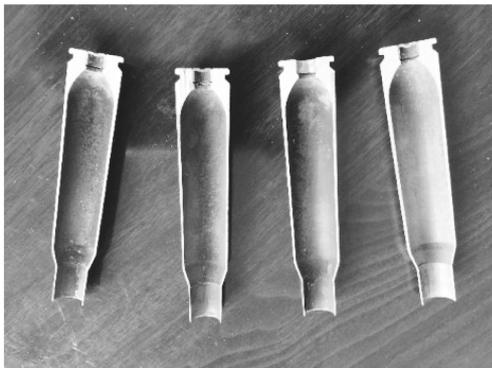


图6 铝合金射击后弹壳剖面形貌图

Fig. 6 Profile of aluminum alloy cartridge case after shooting

对于铝合金弹壳的表面处理,通常采用硬质阳极氧化的方法。铝合金的硬质阳极氧化是在草酸、硫酸、铬酸等水溶液中,以铝或铝合金为阳极,铅、碳或不锈钢为阴极发生电解^[36],在电力作用下铝合金表面生成厚度在20 μm以上,硬度在350 HV以上的硬质阳极氧化膜^[37]。因此经过硬质阳极氧化工艺处理的铝合金具有表面氧化膜厚、硬度高、耐磨性和抗蚀能力好等优点,这为铝合金弹壳的强化提供了可靠保证。曹歆昕等^[38]对2A12铝合金的硬质阳极氧化工艺进行研究,研究发现在电流密度为3.0 A/dm²,氧化时间为70 min,硫酸质量浓度为240 g/L时,得到的硬质氧化膜均匀致密,厚度达60 μm,平均硬度达

352 HV。陈梁等^[39]对5052铝合金硬质阳极氧化工艺进行研究,结果表明在草酸质量浓度为10 g/L,添加剂质量浓度为44 g/L,电流密度为3 A/dm²,氧化时间为40 min,占空比为80%的条件下,可以得到厚度为40 μm,硬度为490 HV,表面纳米孔结构均匀的氧化膜。本课题组采用上述硬质阳极氧化工艺,成功制备了具有致密氧化层的高强韧铝合金弹壳(如图7所示)。



图7 硬质阳极氧化铝合金弹壳

Fig. 7 Hard anodized aluminum alloy cartridge case

4 总结与展望

相比于传统的铜、钢弹壳,铝合金弹壳具有原材料资源丰富、密度低、质量轻、耐腐蚀、比强度高优点,越来越受到世界各国军方的青睐。但由于采用常规工艺制备弹壳所用的铝合金材料综合性能不及传统的铜和钢,在一定程度上限制了铝合金弹壳的发展。喷射成形快速凝固技术因具有冷却速度快,所制备得到的材料具有组织均匀、晶粒细小、力学性能高等特点,已成为制备轻量化弹壳的理想方法。可见,基于喷射成形快速凝固工艺制备高强韧铝合金弹壳材料,依托挤压成形工艺制造铝合金弹壳,再结合阳极氧化表面处理手段,可在研制高强轻质铝合金弹壳方面取得更大的突破。对喷射成形、挤压成形等工艺以及表面处理设备进行完善,使所制备的铝合金弹壳具有更优异的性能以及更广泛的应用范围。

参考文献:

- [1] 王东基,郭江华.坦克炮弹药无壳化技术应用[J].兵器装备工程学报,2017,38(12):75-79.
WANG Dongji, GUO Jianghua. The Application of Ammunition No-Shell in Tank[J]. Journal of Sichuan

- Ordnance, 2017, 38(12): 75-79.
- [2] 陈哲. 7.62×51毫米穿甲弹研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2016.
CHEN Zhe. Research on 7.62×51mm Armor-Piercing Projectile[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology.
- [3] 肖善超. 弹壳多模一次连续变薄拉深工艺研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2012.
XIAO Shanchao. Research on Multi-Mode-One-Off Ironing Process for Cartridge Case[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2012.
- [4] SINGH S K, KUMAR V, REDDY P P, et al. Finite Element Simulation of Ironing Process Under Warm Conditions[J]. Journal of Materials Research & Technology, 2014, 3(1): 71-78.
- [5] HICKE D W. Method of Manufacturing Cartridge Cases: U S, US4296536[P]. 1981-10-27.
- [6] ALI MUKHTAR M N, BATAN I M L, PRAMUJATI B, et al. Simulation of Ironing Process for Bullet Case to Get Minimum Forming Force with Variation of Die Angle and Reduction Wall Thickness[J]. Applied Mechanics & Materials, 2016, 836: 197-202.
- [7] SINGH S K, GUPTA A K, MAHESH K. A Study on the Extent of Ironing of EDD Steel at Elevated Temperature[J]. Cirp Journal of Manufacturing Science & Technology, 2010, 3(1): 73-79.
- [8] 郭拉凤. 铜/钢双金属弹壳成形工艺[J]. 塑性工程学报, 2009, 16(6): 45-49.
GUO Lafeng. Study on Forming Technology of Cartridge Case Made of Bimetal Cu/Fe[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2009, 16(6): 45-49.
- [9] ZHAO J, DU Z H, ZHAO J K. Analysis on Cupping Process of Cartridge Case Without Heat Treatment Based on DEFORM-3D[J]. Advanced Materials Research, 2014, 912/913/914: 573-576.
- [10] 双海军, 顾军. 大口径枪弹钢弹壳一次引伸成形研究与应用[J]. 四川兵工学报, 2003, 24(6): 37, 39.
SHUANG Haijun, GU Ju. Research and Application of one-time Attractive Forming Process in Big Diameter Shells[J]. Sichuan Ordnance Journal, 2003, 24(6): 37, 39.
- [11] 胡冶昌, 魏艳忠, 李瑞静, 等. 弹壳引深工序中断裂研究[J]. 锻压技术, 2017, 42(7): 72-76, 83.
HU Yechang, WEI Yanzhong, LI Ruijing, et al. Study on Fracture of Cartridge Case in Ironing Process[J]. Forging & Stamping Technology, 2017, 42(7): 72-76, 83.
- [12] 熊传林. 某弹丸药筒挤压工艺分析与实验研究[D]. 太原: 中北大学, 2009.
XIONG Chuanlin. Analysis and Experimental Study on the Cartridge Case[D]. Taiyuan: North University of China, 2009.
- [13] MARÍN M M, CAMACHO A M, PÉREZ J A. Influence of the Temperature on AA6061 Aluminum Alloy in a Hot Extrusion Process[J]. Procedia Manufacturing, 2017, 13: 327-334.
- [14] MAGID H M, SULAIMAN S, ARIFFIN M K A, et al. Modelling and Simulation of Hollow Profile Aluminum Extruded Product[J]. Applied Mechanics & Materials, 2015, 761: 17-21.
- [15] 马丽霞, 赵军. 弹壳体冷挤压工艺[J]. 新技术新工艺, 1997(4): 32-32.
MA Lixia, ZHAO Jun. Cold Extrusion Process for Cartridge Case[J]. New Technology & New Process, 1997(4): 32-32.
- [16] 刘晓霞. 铝合金药筒热挤压成形工艺研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.
LIU Xiaoxia. Study on Hot Extrusion Process of Aluminum Alloy Cartridge Case[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2017.
- [17] 刘晓霞, 蔡松, 吴志林. 热处理对铝合金药筒热挤压成形影响的模拟分析[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(12): 1270-1274.
LIU Xiaoxia, CAI Song, WU Zhilin. Simulation Analysis of Influence of Heat Treatment on the Aluminum Cartridge during Hot Extrusion Process[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2016, 36(12): 1270-1274.
- [18] 李晓光, 魏志芳, 高建中, 等. 枪弹弹壳挤孟组合模新型设计与研究[J]. 兵工自动化, 2016, 35(2): 82-85.
LI Xiaoguang, WEI Zhifang, GAO Jianzhong, et al. New Design and Research of Bullet Casings Extrusion Combined Die[J]. Ordnance Industry Automation, 2016, 35(2): 82-85.
- [19] 张小光, 钟志平, 边翊, 等. 弹壳类零件冷挤压复合成形工艺研究[J]. 锻压技术, 2002, 27(3): 1-3.
ZHANG Xiaoguang, ZHONG Zhiping, BIAN Yi, et al. Research on Combined Forming Process of Extrusion for Cartridge Case[J]. Forging & Stamping Technology, 2002, 27(3): 1-3.
- [20] 张庆飞, 耿渝, 赵宏松. 弹壳零件冷挤压复合工艺分析[J]. 锻压装备与制造技术, 2012, 47(3): 78-80.
ZHANG Qingfei, GENG Yu, ZHAO Hongsong. Composite Process Analysis of Cold Extrusion for Shell Part[J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing

- Technology, 2012, 47(3): 78-80.
- [21] 滕宏春, 张凤兰, 任先玉. 射孔弹壳冷挤压成形参数的理论研究[J]. 机械工程学报, 2001, 37(4): 89-92.
TENG Hongchun, ZHANG Fenglan, REN Xianyu. Theoretical Research of Forming Parameters of the Cold Extrusion of Perforation Spring Shell[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2001, 37(4): 89-92.
- [22] SHATERMASHHADI V, MANAFI B, ABRINIA K, et al. Development of a Novel Method for the Backward Extrusion[J]. Materials & Design, 2014, 62(10): 361-366.
- [23] 王凤彪. 锥形件强力旋压壁厚的模拟预测及试验验证[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
WANG Fengbiao. Research on the Wall Thickness by Simulation Prediction and Experimental Investigation During the Power Spinning of Cone Parts[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [24] 张 华. 旋压药筒筒体成形过程工艺参数优化仿真研究[D]. 太原: 中北大学, 2012.
ZHANG Hua. Cartridge Spinning in the Molding Process Simulation and Optimization of Process Parameters[D]. Taiyuan: North University of China, 2012.
- [25] WONG C C, DEAN T A, LIN J. A Review of Spinning, Shear Forming and Flow Forming Processes[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2003, 43(14): 1419-1435.
- [26] MARGHMALEKI I S, BENI Y T, NOGHREHABADI A R, et al. Finite Element Simulation of Thermomechanical Spinning Process[J]. Procedia Engineering, 2011, 10: 3769-3774.
- [27] NAHREKHALAJI A R F, GHOREISHI M, TASHNIZI E S. Modeling and Investigation of the Wall Thickness Changes and Process Time in Thermo-Mechanical Tube Spinning Process Using Design of Experiments[J]. Engineering, 2010, 2(3): 141-148.
- [28] 刘 陶, 龙思远. 基于 DEFORM-3D 的铝合金筒形件旋压成形过程数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金, 2010, 30(6): 508-510.
LIU Tao, LONG Siyuan. Numerical Simulation of Spinning Forming Process for Aluminum Alloy Cylindrical Workpieces Based on the Deform-3D Software[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2010, 30(6): 508-510.
- [29] 车浩召. 轻量化弹壳在发射过程中的动态响应分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
CHE Haozhao. Dynamic Response Analysis of Lightweight Shells in Launching Process. [D]. Nanjing : Nanjing University of Science & Technology, 2014.
- [30] 杨吉林, 田晓丽, 乔茹斐, 等. 焊接钢质药筒力学特性分析研究[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(4): 61-66.
YANG Jilin, TIAN Xiaoli, QIAO Ruifei, et al. Study on Mechanical Properties of Steel-Welded Cartridge[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2018, 39(4): 61-66.
- [31] 吴志林, 车浩召, 蔡 松, 等. 关于铝质轻量化弹壳断裂的强度仿真分析[J]. 计算机仿真, 2014, 31(4): 17-21.
WU Zhilin, CHE Haozhao, CAI Song, et al. Simulation Analysis of Strength about Aluminum Lightweight Cartridge's Fracture[J]. Computer Simulation, 2014, 31(4): 17-21.
- [32] 杨九州, 舒 露, 谢兰川. 基于 ANSYS Autodyn 软件的枪弹击发过程仿真分析[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(11): 31-35, 40.
YANG Jiuzhou, SHU Lu, XIE Lanchuan. Simulated Analysis of the Bullet Firing Process Based on Ansys Autodyn[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017, 38(11): 31-35, 40.
- [33] 赵创业. 美国铝合金弹壳的研究和应用[J]. 现代兵器, 1981(12): 42-47, 36.
ZHAO Chuangye. Research and Application of American Aluminum Alloy Shell[J]. Modern Weaponry, 1981(12): 42-47, 36.
- [34] 王玉松. 7050 铝合金弹壳成形工艺优化及热处理工艺的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
WANG Yusong. Research on the Heat Treatment Process and Optimization of Forming Process of 7050 Aluminum alloy cartridge[D] Chongqing : Chongqing University, 2015.
- [35] 范才河, 陈喜红, 戴南山, 等. 变形条件对喷射成形 Al-9Mg-0.5Mn 合金动态再结晶的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(1): 80-83.
FAN Caihe, CHEN Xihong, DAI Nanshan, et al. Dynamic Recrystallization Behavior of Spray-Formed Al-9Mg-0.5Mn Alloy during Hot Compression Deformation Process[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2016, 36(1): 80-83.
- [36] 余美琼. 铝及铝合金表面处理技术新进展[J]. 化学工程与装备, 2008(6): 84-88, 95.
YU Meiqiong. Recently Progress on Surface Treatment Technology of Aluminum and Its Alloys[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2008(6): 84-88, 95.
- [37] 任 锐, 贺子凯. 铝硬质阳极氧化新工艺的研究[J]. 电镀与涂饰, 2003, 22(4): 11-13.
REN Rui, HE Zikai. A New Process of Aluminum

- Hard Anodizing[J]. *Electroplating & Finishing*, 2003, 22(4): 11-13.
- [38] 曹歆昕, 李吉丹, 张 晶, 等. 2A12 铝合金硬质阳极氧化工艺研究 [J]. *电镀与精饰*, 2017, 39(9): 38-41. CAO Xinxin, LI Jidan, ZHANG Jing, et al. Technical Study on Hard Anodic Oxidation of 2A12 Aluminum Alloy[J]. *Plating and Finishing*, 2017, 39(9): 38-41.
- [39] 陈 梁, 廖重重, 刘晨岑, 等. 5052 铝合金硬质阳极氧化工艺研究 [J]. *浙江化工*, 2016, 47(3): 38-41. CHEN Liang, LIAO Chongchong, LIU Chencen, et al. Study of Hard Anodizing of 5052 Aluminum Alloy[J]. *Zhejiang Chemical Industry*, 2016, 47(3): 38-41.

(责任编辑: 黄海波)

Forming and Failure Analysis of Aluminum Alloy Cartridge Case

FAN Caihe, SHEN Tong, HU Zeyi

(School of Metallurgical and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: With the urgent need of lightweight weapons in modern warfare, the development of high-strength and light-weight aluminum alloy cartridge cases has become the key research directions in the world. The forming process of aluminum alloy cartridge cases is generally characterized by ironing process, extrusion and spinning. The failure modes in the forming process are complex and changeable, and the causes of failure are various. Based on the self-developed aluminum alloy cartridge cases with high strength and high tenacity, this paper introduces the preparation technology and die stamping technology of aluminum alloy cartridge case material, summarizes the forming process, failure mode and performance characteristics of aluminum alloy cartridge cases, while analyzes the failure reasons of metal cartridge case in detail and the solving measures, and prospects the development trend of lightweight aluminum alloy cartridge cases.

Keywords: aluminum alloy cartridge case; forming process; failure analysis; performance characteristic

关于警惕《包装学报》假冒网站的声明

近期,《包装学报》编辑部接到举报,有不法网站假冒本刊欺骗作者投稿,并收取高额审稿费和版面费。这种行为严重侵害了《包装学报》的名誉和出版权,影响了广大读者和作者对本刊的信任,造成不良社会影响,性质恶劣。

本刊特此郑重声明:

1. 本刊合法投稿邮箱为: baozhuangxuebao@163.com,您也可以通过本刊官方网站 <http://journals.hut.edu.cn:6688/bz/ch/index.aspx> 进行在线投稿,微信订阅号为:包装学报。

2. 本刊编辑部电话:0731-22183037/22183909,如有任何疑问,请拨打电话咨询。遇类似不法网站请向我刊举报。

3. 本刊不收取审稿费、版面费、样刊费等费用。

4. 本刊编辑部严正警告盗用本刊名义的任何不法行为,本刊将采取法律措施维护正当权益,对继续侵害本刊权益的人员和行为依法追究其法律责任。如有作者已付款上当,请联系本刊编辑部,便于一并取证追究不法网站的责任。

请广大读者和作者相互告知,避免上当受骗。

《包装学报》编辑部

2019年1月6日