

承受高冲击载荷铝合金薄壁件开裂的原因与预防

崔长齐, 杨丽红, 王秋菊, 尉少荣, 龚瑞, 林晨华, 张晓丹
(北方华安工业集团有限公司, 齐齐哈尔 161006)

摘要:通过分析找出了承受高冲击载荷 7A04 铝合金薄壁件的开裂原因,提出了其制造工艺应与零件的使用目的相匹配的原则,以及确保零件金属组织的流线方向与所承受冲击载荷方向相互垂直的观点,实现了在不改变零件结构的前提下,显著提高铝合金工件抗冲击能力的效果。

关键词: 7A04 铝合金; 壳体; 开裂; 预防

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.06.003

中图分类号: TG146

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)06-0011-04

Cause and Prevention for Crack of Aluminum Alloy Thin-walled Housing Bearing High Impact Load

CUI Chang-qi, YANG Li-hong, WANG Qiu-ju, WEI Shao-rong, GONG Rui, LIN Chen-hua, ZHANG Xiao-dan
(North Hua'an Industry Group Co., Ltd., Qiqihar 161006)

Abstract: The crack cause of 7A04 aluminum alloy thin-walled housing bearing high impact load is found out through analysis, the principle that the manufacturing technology of the part should match with its use purpose and the view that metal flow line should be perpendicular to the impact load direction are put forward. The ability of the aluminum alloy part to bear impact is improved significantly under the premise that the structure of the part doesn't change.

Key words: 7A04 aluminum alloy; housing; crack; prevention

在新型远程化大威力弹药的不断发 展过程中,越来越多的钢质零件被铝合金材质的零件所替代。随着铝合金材料在产品中的大量应用,根据不同结构铝合金零件的结构特点,研究相对应的成形工艺,成为解决问题、提高产品质量、降低产品生产成本所必须面对的课题。

1 问题的提出

某型号新产品中的铝合金薄壁零件(以下简称壳体)在科研过程中,曾采用 7A04T6 的铝合金棒料车制成形工艺生产,该型号壳体的使用要求为:在弹

药发射的过程中壳体必须保持完好,在到达预定目标后,壳体在爆管的作用下应尽可能破碎。

用 7A04T6 铝合金棒料车制的壳体在进行强度试验的过程中,出现了开裂、掉底现象(见图 1),这种情况说明,用 7A04T6 铝合金棒料车制成形的壳体无法满足产品在使用过程中必须保持完好的要求。

2 壳体开裂的原因分析

在新产品进行强度试验的过程中,每件产品都出现壳体开裂现象,且同一产品中成串联形式装填

收稿日期: 2013-08-20

作者简介: 崔长齐(1962-),男,河北省乐亭县人,高级工程师,主要研究方向为冷、热成形。

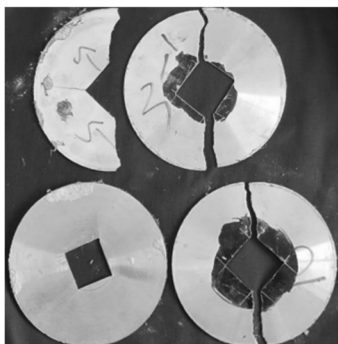


图1 强度试验中损坏、掉落的壳底残片

Fig. 1 Damaged and failed relics of the housing bottom in the pressure experiment

的壳体都不同程度出现壳底开裂、破损、变形。这种情况说明,采用 7A04T6 铝合金棒料车制成形工艺生产的壳体,其抗冲击过载的能力没有达到新产品的设计要求。造成这一问题的具体原因可能为以下三个方面。

2.1 原材料的问题

经反复检查、验证,机加成形车制的壳体用料为 7A04T6,材料的各项指标均符合国家相关标准要求;在壳体开裂部位的断口中未发现缺陷组织。因此,排除了因材料不合格因素而导致壳体开裂的原因。

2.2 壳体的结构设计问题

对用于强度试验的产品经解剖检查发现,成串联形态装填的壳体被破坏的程度是不同的,最下方的壳体破损最严重,最上方的壳体破坏最轻微。这种情况表明,壳体在使用过程中,在瞬间巨大过载力的作用下是依次破坏。这一结果说明,以串联方式装填的壳体,其总体的抗过载能力不能完全按照所有壳体累加的方式计算,应当以单个壳体的抗过载能力是否达到总载荷标准为判断依据。因此可以判定,原有的壳体存在结构强度不足、抗过载能力差的设计缺陷,这是导致壳体在使用过程中失效的原因之一。

从壳体底部开裂的形态来看,除底部与壁部交界部位有剪切断裂现象外,在底部方口处沿方口对角线方向还有折断现象(见图1),这种情况说明,壳体底部的方口型设计在壳底受力过程中存在应力集

中现象。

由于 7A04 超硬铝合金对应力集中敏感^[1],应力集中现象也是降低壳体底部承受冲击过载能力的原因之一。

2.3 壳体加工工艺的问题

由于铝合金棒料的金属组织为纵向纤维状结构(丝织构),见图2,丝织构使铝合金棒料具有明显的各向异性^[2],见表1。经测试 7A04T6 铝合金棒料在纵、横方向其强度指标平均差约 10%;伸长率指标平均差约 100%~200%;其纵向的抗冲击能力为 28 J/cm²,横向的抗冲击能力为 72 J/cm²。

采用棒料车制生产的壳体,其壳体内部的金属组织结构也应是纵向纤维状结构,壳体壁部的金属组织与壳体底部的金属组织形态(织构)为不连续结构,见图3。这一结构特征极大地降低了壳体底部的抗冲击(剪切)载荷的能力,因此壳体的加工工艺不合理是壳体在使用过程中出现底部开裂,导致产品失效的主要原因。

综合以上的分析判定,造成壳体在使用过程中开裂的原因是:壳体的整体设计存在不足,其整体结

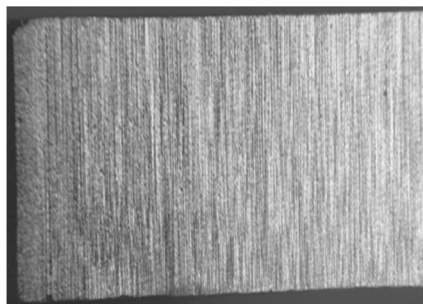


图2 铝合金棒料的低倍组织形态

Fig. 2 Macrostructure of aluminum alloy bar

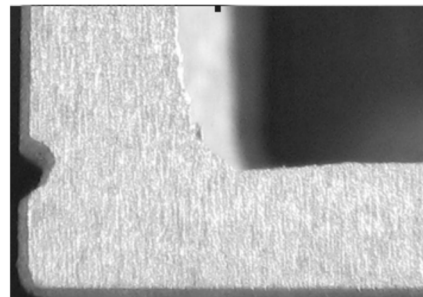


图3 用棒料车制的壳体壁部与底部交界处的低倍组织形态
Fig. 3 Macrostructure at the junction of machined housing wall and bottom

表1 7A04T6 棒材的纵向、横向力学性能指标

Table 1 Mechanical property of 7A04T6 bar in longitudinal and transverse directions

序号	纵向		横向	
	R_{pm}/MPa	伸长率/%	R_{pm}/MPa	伸长率/%
1	528	8.8	503	4.0
2	599	18.0	519	4.4

构设计存在薄弱环节,在使用过程中存在应力集中的问题;壳体的加工工艺不合理,没有最大限度发挥出材料自身强度。

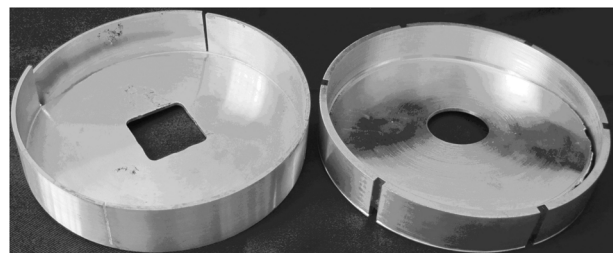
3 解决问题的办法

针对壳体存在的结构设计及加工工艺不合理的问题,制定了以下几方面解决问题的办法。

3.1 改进壳体的结构设计,增强壳体整体强度

在确保新产品使用效果的前提下,通过优化装配方式,改变壳体结构,将壳体的底厚由原有的 1.4 mm 增加到 2.0 mm。

将壳体底部起传火、防止壳体在使用过程中旋转程度不一致的方口改为圆口(见图4),解决壳体受力过程中出现的应力集中现象。防止壳体在使用过程中旋转程度不一致的作用改由其他方法实现。



a 改进前

b 改进后

图4 壳体的结构设计结果对比(静压试验后的试样)

Fig. 4 Structural design results comparison of the housing (samples after static pressure experiment)

3.2 改进壳体的成形工艺,提高壳体的抗冲击载荷

从理论上讲,锻造成形工件的力学性能比车制成形工件的力学性能好,但由于壳体的用料为 7A04 铝材,且壳体为薄壁件结构,因此该壳体并不适合采用铝合金棒料反挤压成形工艺进行冲制。通过试

验,用与 7A04 铝材相近似的 7075 铝板,采用热加工冲盂、压形的工艺代替车制工艺加工壳体,能够提高壳体抗冲击能力。

由于超硬铝系列的铝合金材料为脆性材料,导热系数大,锻造温度范围窄,且选用铝合金板材的厚度较薄,因此,采用热成形工艺时,坯料加热后的转移时间一定要控制在较短的范围内,同时模具的预热温度控制在 370 ~ 410 °C,防止坯料因温度过低导致冲制成形过程中出现脆性断裂现象。

4 可行性分析

1) 增加单个壳体的底厚,能够达到提高单个壳体的抗冲击过载的能力;壳底的方口形设计改为圆口,能够消除壳底在受力过程中的应力集中现象,结构设计的这种改进提高了壳体底部的抗冲击过载的能力。

2) 经过性能测试及金相组织检查证实,7075 板材的横向组织特征(板织构)体现在板材的厚度方向,在板材的横向和纵向方向,其性能指标没有显著差异(见表2),组织形态均体现为纵向组织特征。因此,壳体的成形工艺由棒料车制改变为板料热加工冲盂、压形,能够改变壳体底部的金属内部组织形态,壳体底部与壁部交界部位的组织形态由原工艺的纵向不连续结构变为与壳体外形完全一致的连续结构(见图5)。具有这种金属结构的壳体,能够最大限度发挥材料的各项异性的特性,在不改变壳体结构的前提下,将壳体的抗冲击载荷的能力提高 100% ~ 200%,确保达到提高壳体抗冲击过载能力的目标。

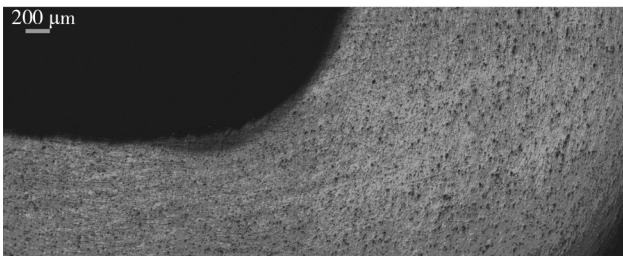


图5 采用 7075 板料经热加工冲盂、压形工艺生产的壳体底部与壁部交界部位的金属组织形态

Fig. 5 Macrostructure at the junction of housing wall and bottom processed by hot punching and pressing with 7075 sheet

表2 7075T6 板材的纵向、横向力学性能指标

Table 2 Mechanical property of 7075T6 sheet in longitudinal and transverse directions

序号	纵向		横向	
	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	伸长率/%	R_{pm}/MPa	伸长率/%
1	430	11.5	430	12.0
2	470	16.0	450	13.0

经验证试验证明,7075 板材在热加工条件下实现冲盂、压形完全可行。壳体加工工艺的改变,能够实现在不改变壳体结构的前提下,最大限度提高壳体底部的抗冲击载荷能力。

5 效果检查

采用 7A04T6 铝合金棒料车制工艺和 7075 铝合金板料热冲盂、压形工艺制取壳体,用直径为 $\phi 92$ mm 的压头进行抗压试验(静态试验),其测试结果见表 3。

表3 静态抗压试验结果对比

Table 3 Static pressure experiment results comparison

	原设计	改进设计后	
	棒料车制	棒料车制	板料冲盂、压形
1	39 200 N	54 400 N	63 400 N
2	33 500 N	56 000 N	66 600 N

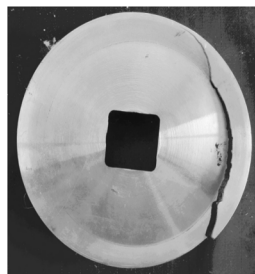
静态抗压试验壳体断裂形态宏观观察结果对比如下。

1) 原设计方案用棒料车制工艺生产的壳体,在抗压试验中的断裂形态为脆性断裂,断裂部位为压头的边缘部位,断口的起始点为壳体壁部的预应力槽之处,壳底在断裂的过程中有微量的塑形变形现象发生(见图 6a)。

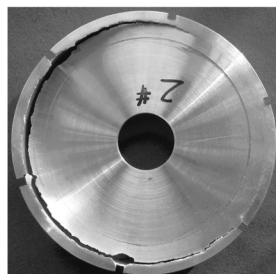
2) 采用新设计方案用棒料车制工艺生产的壳体,在抗压试验中的断裂形态为脆性断裂,断裂部位为壳底与壁部的交界部位,壳底在断裂的过程中未有明显的变形现象发生(见图 6b)。

3) 采用新设计方案用板料冲盂、压形工艺生产的壳体,在抗压试验中的断裂形态为塑性断裂和脆性断裂并存。壳体在试验过程中,首先沿压头的边缘发生塑形断裂,壳底在断裂前有明显的变形现象发生,在发生塑性断裂的瞬间,沿壳底与壁部交界部

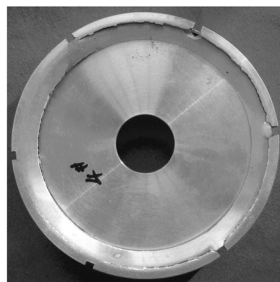
位同时发生脆性断裂(见图 6c)。



a 原设计棒料车制



b 改进设计棒料车制



c 改进设计板料冲盂、压型成形

图6 抗压试验中压坏的壳体

Fig. 6 Broken housing in pressure experiment

采用板料冲盂、压形工艺制造的壳体,经热处理后进行力学性能检测,其性能指标的测试结果见表 4。

表4 采用板料冲盂、压形工艺制造的壳体的力学性能测试结果

Table 4 Test results of mechanical property of the housing processed by punching and pressing with sheet

序号	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	伸长率/%
1	435	12.0
2	460	15.0

改进设计后采用板料冲盂、压形工艺生产的壳体,在强度试验中无一损坏,在其他各项指标检测试验中,测试结果均达到产品设计目标的要求。

6 结论

由于铝合金型材具有明显的组织各向异性的特点,因此,承受高冲击载荷的铝合金零件的制造工艺应与零件的使用目的相匹配,应当保证零件的金属组织流线(织构)的伸展方向与所承受冲击载荷方向相互垂直,这是确保在相同的结构设计条件下提

(下转第 41 页)

- dustry, 2005(9):11-14.
- [3] KATAYAMA Tsutao, AKAMATSU Masami, TANAKA Yo-ji. Construction of PC-based Expert System for Cold Forging Process Design[J]. Materials Processing Technology, 2004, 155:1583-1589.
- [4] KIM Chul, KIM B M, CHOI J C. Development of an Integrated CAD Process Planning System for Press Working Products[J]. Materials Processing Technology, 2001, 111:188-192.
- [5] THIYAGARAJAN N, GRANDHI R V. Multi-level Design Process for 3-D Preform Shape Optimization in Metal Forming[J]. Materials Processing Technology, 2005, 170:421-429.
- [6] JOLGAF M, HAMOUDA A M S, SULAIMAN S, et al. Development of a CAD/CAM System for the Closed-die Forging Process[J]. Materials Processing Technology, 2003, 138:436-442.
- [7] LEEA B K, KWONB H H, CHOC H Y. A Study on the Automated Process Planning System for Cold Forging of Non-axisymmetric Parts Using FVM Simulation[J]. Materials Processing Technology, 2002, 130:524-531.
- [8] 江勇, 万敏, 李卫东. 基于 C/S 的飞机钣金成形数据库系统的研究与开发[J]. 航空制造技术, 2004(10):82-85.
- JIANG Yong, WAN Min, LI Wei-dong. Research and Development of Aircraft Sheet Forming Database System Based on C/S[J]. Aviation Manufacture Technology, 2004(10):82-85.
- [9] 张志明, 黄少东, 刘川林, 等. 弹体成形工艺数字化设计系统的开发与实践[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6):55-59.
- ZHANG Zhi-ming, HUANG Shao-dong, LIU Chuan-lin, et al. The Forming Process of Projectile Development and Practice of Digital Design System[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6):55-59.
- [10] 黄少东, 刘川林, 张志明, 等. 基于知识的金属精密塑性成形数值模拟[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6):13-16.
- HUANG Shao-dong, LIU Chuan-lin, ZHANG Zhi-ming, et al. Knowledge-Base Numerical Simulation of Precise Bulk Metal Forming[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6):13-16.

(上接第14页)

高铝合金零件抗冲击过载能力的必要条件,也是提高产品的质量、降低生产成本的最佳途径。

参考文献:

- [1] 王仲仁. 锻压手册——锻造[K]. 第2版. 中国机械工程学会锻压学会, 2002:211.
- WANG Zhong-ren. Handbook of Forging and Pressing Forging[K]. Chinese Mechanical Engineering Academic Association Forging and Pressing Academic Association, 2002:211.
- [2] 朱浩, 吕丹, 朱亮, 等. 6061 铝合金断裂机理的原位拉伸研究[J]. 机械工程学报, 2009(2):94-99.
- ZHU Hao, LYU Dan, ZHU Liang, et al. Investigation of Fracture Mechanism of 6061 Aluminum Alloy by Means of In-situ Observation[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009(2):94-99.
- [3] 朱浩, 朱亮, 陈剑虹. 铝合金在三种应力状态下的力学性能研究及断口分析[J]. 兰州理工大学学报, 2006(6):28-31.
- ZHU Hao, ZHU Liang, CHEN Jian-hong. Study of Mechanical Performance and Analysis of Fracture Surfaces of Aluminum Alloy in Three Patterns of Stress State[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2007(6):28-31.
- [4] 朱浩, 朱亮, 陈剑虹, 等. 韧性断裂机理的理论探讨与基于铝合金薄板韧性断裂准则的修正[J]. 兰州理工大学学报, 2007(5):34-38.
- ZHU Hao, ZHU Liang, CHEN Jian-hong, et al. Theoretical Inquiry into Ductile Fracture Mechanism and Modification of Ductile Fracture Criterion Based on Aluminum Alloy Sheet[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2007(5):34-38.
- [5] 姚春臣, 佐齐生, 易雄, 等. 2A12 铝合金托盘开裂失效分析[J]. 精密成形工程, 2013, 5(4):57-59.
- YAO Chun-chen, ZUO Qi-sheng, YI Fei-xiong, et al. Failure Analysis on Surface Cracks of 2A12 Disks[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(4):57-59.
- [6] 崔长齐, 林晨华, 武美, 等. 变薄拉深成形过程中毛坯开裂的原因分析与预防[J]. 精密成形工程, 2013, 5(3):73-76.
- CUI Chang-qi, LIN Chen-hua, WU Mei, et al. Analysis on the Cause of Blank Breaks Produced during Ironing and Preventive Measures[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(3):73-76.