

某壳体断裂原因分析

姜春茂, 夏克祥, 刘海艳, 卢凤生, 赵广军

(黑龙江北方华安工业集团有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161046)

摘要: **目的** 分析某产品壳体在靶场试验中出现断裂疵病的原因, 并提出预防和改进措施。**方法** 通过对断口进行宏观观察、金相组织检查和化学成分分析检测、力学性能试验、验证试验及强度计算等, 初步确定了壳体断裂性质和原因。**结果** 对改进结构的壳体进行了结构强度的验证试验, 经对射击试验后回收的壳体进行拆分检测, 原发生断裂现象的位置无破坏、裂纹现象, 变形量满足产品图定要求, 改进结构的壳体结构强度满足要求。**结论** 通过验证试验再次确定了断裂原因: 壳体密封圈槽处壁厚差超差; 壳体材质C元素含量偏高, 材料的脆性较大; 断口处材料偏析严重; 结构设计强度裕度不足。根据壳体断裂原因, 提出了相应的预防措施。

关键词: 壳体强度; 原因分析; 断裂; 脆性

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2019.02.011

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2019)02-0061-06

Cause of Shell Fracture

JIANG Chun-mao, XIA Ke-xiang, LIU Hai-yan, LU Feng-sheng, ZHAO Guang-jun

(North Hua An Industrial Group Co., Ltd., Qiqihar 161046, China)

ABSTRACT: The paper aims to analyze the causes of the fracture defects of a product shell in the range test, and put forward preventive and improvement measures. The fracture properties and reasons of the shell were preliminarily determined by fracture macro, microscopic observation, metallographic examination and chemical composition analysis, mechanical properties test, verification test and strength calculation. Structural strength test was carried out on the shell of the improved structure. After the shell was split and tested after the firing test, the original fracture phenomenon was not destroyed and no crack was found. The deformation amount met the requirement of the product map, and the strength of the improved structure also met the corresponding requirement. Through the test, the reason of the fracture is confirmed again: the wall thickness difference of the shell sealing ring is too bad; the C element content of the shell material is high; the brittleness of the material is large; the material segregation at the fracture surface is serious and the intensity of the structure design is insufficient. According to the cause of shell fracture, corresponding preventive measures are put forward.

KEY WORDS: shell strength; cause analysis; fracture; brittleness

壳体作为某产品的重要零件。在进行靶场射击试验时, 某发产品壳体出现异常现象, 即产品未到达预定射程落点。观察回收的壳体前端螺纹中留有壳体的部分残骸, 初步认定是壳体在密封槽处发生断裂。

文中通过断口宏/微观观察、金相组织检查和化学成分分析检测、力学性能试验、验证试验及强度校核等方法, 确定了壳体发生断裂的性质和原因, 提出了预防和改进措施。

收稿日期: 2018-12-15

作者简介: 姜春茂(1981—), 男, 高级工程师, 副部长, 主要研究方向为冲压技术。

1 断口宏、微观分析

回收的壳体结合部结构和前端面分别见图 1 和图 2。

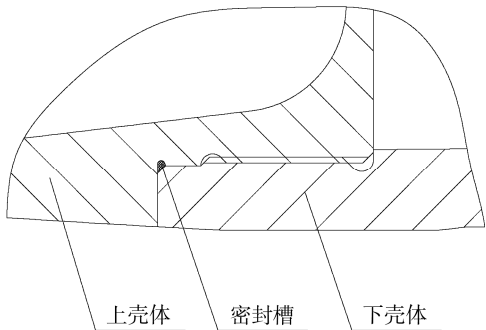


图 1 上、下壳体结合部结构
Fig.1 Structure of upper and lower shell binding

1.1 宏观分析

根据回收壳体残骸判定，壳体断裂产生在密封圈槽处。对火炮、发生问题产品力学性能、装配质量、密封胶圈槽设计强度及壳体残骸中留有的壳体断裂

部位的壁厚进行了排查和检测，并对 5 发同批壳体进行了解剖，排查、检测和解剖结果见表 1。



图 2 回收壳体前端面
Fig.2 Front end of recovery shell

根据表 1 结果，可以在宏观上初步确定为壳体发生断裂是由于密封槽处壁厚超差造成的。

经分析，造成壳体密封圈槽处壁厚超差的主要加工工序为壳体冲拔，该工序加工设备的精度是影响断裂处壁厚差大小的主要因素。

表 1 排查、检测和解剖结果
Tab.1 Results of examination, detection and dissection

排查、检测和解剖内容	结 果
火炮	炮口制退器等无异常现象
壳体密封胶圈槽设计强度	图定：屈服强度 ≥ 1200 MPa，理论计算最大应力为 1132 MPa；设计强度满足要求。
壳体性能	图定：屈服强度 ≥ 1200 MPa，实测热处理性能 1210 ~ 1350 MPa；性能满足要求。
装配质量	复查产品实物，并核实有关检验记录，产品装配质量满足要求。
壳体密封胶圈槽壁厚	图定：密封胶圈槽壁厚 7.984 mm，壁厚差 ≤ 0.8 mm；最小壁厚为 7.184 mm。回收的壳体密封胶圈槽壁厚为 6.5 ~ 8.1 mm，壁厚差 1.6 mm，不满足图定要求。 同批 5 发壳体：壁厚 6.6 ~ 8.2 mm，不满足图定要求。

检查壳体冲拔用水压机，设备滑块滑板与滑道间隙 II 级精度要求为 0.46 mm，实测间隙为 0.85 mm，不满足设备加工精度要求；对机加工工艺也进行了复查，工艺未规定 100%检测（发生断裂位置）的壳体壁偏差（ ≤ 0.80 mm），在加工过程中不能有效控制断裂处的壁厚差，工艺设计不满足产品图定要求。

1.2 微观分析

经专门检测机构对断裂试样进行检测，分析认为断裂试样为一次性加载断裂，所受的力为拉应力。断口布满“人字”花样，根据人字花样的走向，可以判定，裂纹源在断口的凹陷位置，见图 3 中的 1#区域，内、外壁有薄的剪切唇，说明材料本身有一定的韧性，断裂源位置有红棕色的锈蚀，这可能是断口放置产生的锈蚀。

在扫描电镜下观测，断裂源断口凹陷区域有较多的二次裂纹，说明材料的脆性较大，断口主要是解理

断口，但在局部区域存在沿晶断口形貌，见图 4 和图 5。2#区域比 1#区域的断口脆，沿晶断口面积占的比例较大，见图 6。

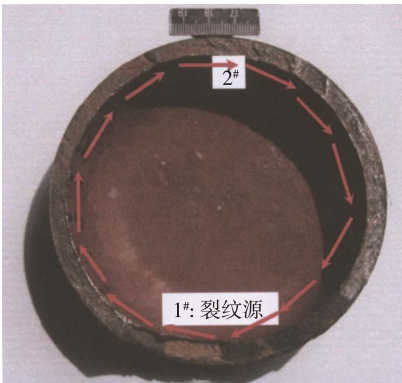


图 3 试样的宏观形貌
Fig.3 Macro morphology of specimen

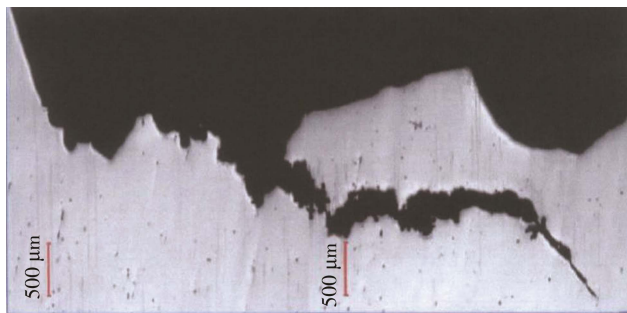


图 4 断裂源（1[#]区域）的裂纹形貌
Fig.4 Crack morphology of fracture source (1[#] region)

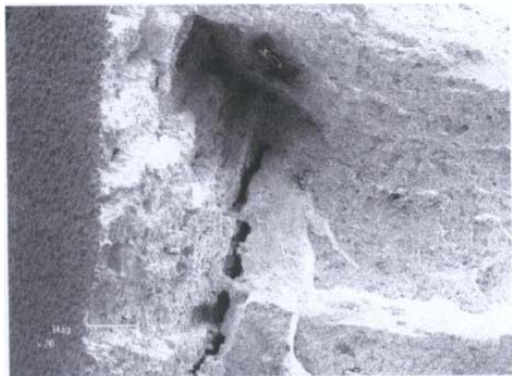


图 5 断裂源处断口微观形貌
Fig.5 Micro topography of fracture source

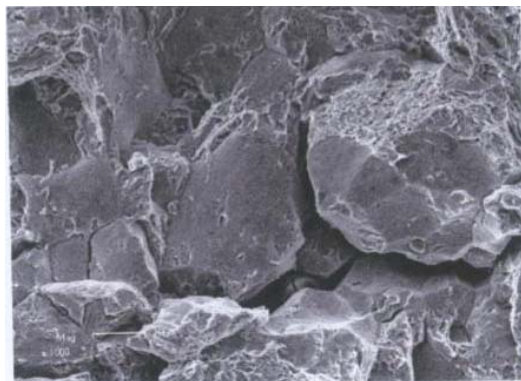


图 6 2[#]区域断口高倍形貌
Fig.6 High magnification microtopography of 2[#] fracture

2 材质理化检验

2.1 力学性能试验

在断裂试样壳体上取 V 型缺口试样及力学性能试样，试验结果见表 2。可以看出，该壳体的力学性能符合图定的要求。

表 3 壳体化学成分（质量分数）
Tab.3 Chemical composition of shell (mass fraction) %

	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Cu	P	S
要求≤	0.46 ~ 0.52	0.95 ~ 1.30	1.35 ~ 1.7	0.15 ~ 0.35	≤0.30	0.02 ~ 0.06	≤0.20	≤0.030	≤0.035
06-84	0.50	0.36	1.0	0.20	0.04	0.04	0.15	0.021	0.005

表 2 壳体力学性能试验结果
Tab.2 Test results of mechanical properties of shell

炉号	编号	屈服强度/MPa	断面收缩率/%
09-84	84-1	1270	27.5
		1210	42.0
09-84	84-2	1270	40.5
		1260	36.5
要求		≥1200	≥20

2.2 化学成分分析

对同批次壳体材料采用化学粉末法对其化学成分进行了检测，结果见表 3。由表 3 可知，壳体的化学成分符合技术要求。

2.3 金相组织分析

将解剖试样沿纵向剖开，侵蚀后检验，发现纵向剖面流线畅顺，未见涡流和端流，但在底部中间有一小裂纹，材料偏析严重，见图 7。腐蚀后，材料内部有较严重的带状偏析，裂纹呈锯齿形态扩展与材料中的偏析有一定关联。纵向剖面的金相组织为回火马氏体。

磨制 2[#]样品断口的金相，腐蚀后可以看到断口面上偏析严重，见图 8，横向金相与纵向金相组织相同，均为回火马氏体。

3 分析与讨论

综合以上检查、检测、分析及试验结果表明，经对发生断裂批次的壳体材料进行化学成分分析，分析结果符合材料标准要求；经对断裂原件取样进行力学性能测试，测试结果表明，力学性能满足产品使用要求，符合相关要求。根据检测和解剖结果，可以确定壳体断裂的原因如下：① 根据回收壳体残骸进行宏观分析判断，断裂部位位于壳体密封槽处，经对在残骸上残留的壳体断裂处壁厚进行测量可知，断裂处壁厚不对称且壁厚差超差，导致壁厚单侧变薄，造成强度不足，是断裂的主要原因；② 根据微观金相分析检查可知，断裂源断口凹陷区域有较多的二次裂纹，说明材料的脆性较大，断口主要是解理断口，同时材料内部有较严重的带状偏析，裂纹呈锯齿形态扩展与材料中的偏析有一定关联，且金相组织有一定的回火马氏体，且材料的 C 元素含量偏高，材料有一定的脆性，也是壳体发生断裂的原因之一。

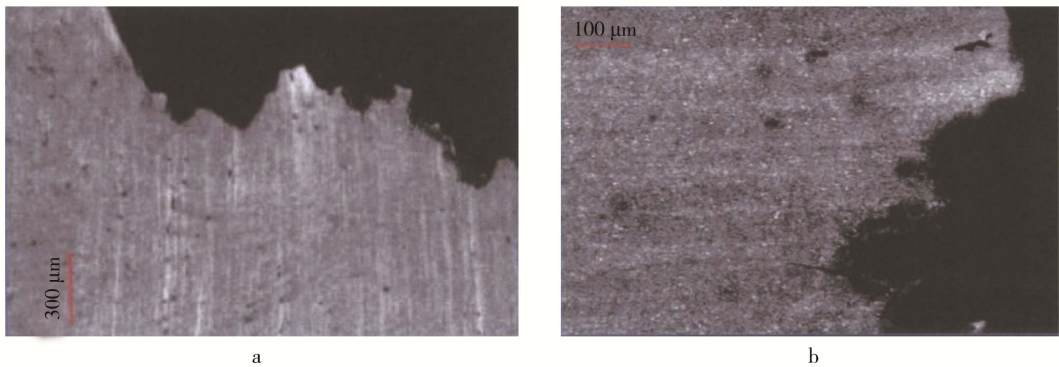


图 7 1#区域断裂源的金相组织
Fig.7 Metallographic organization of 1# regional fracture source

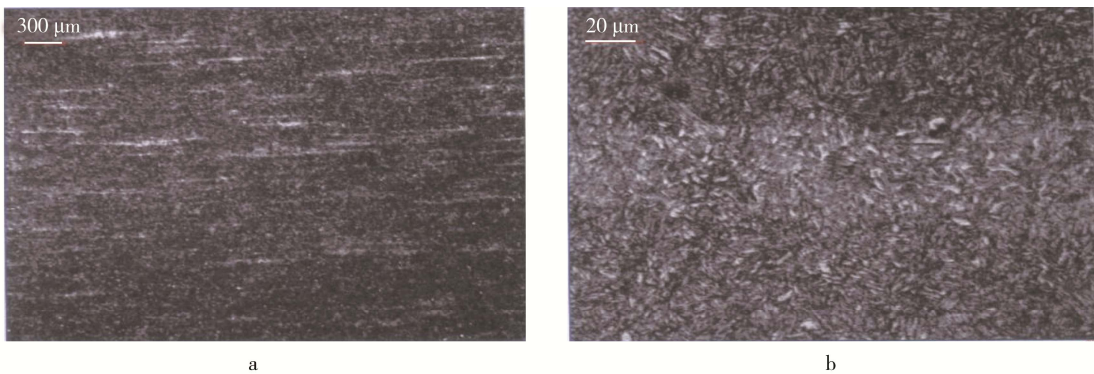


图 8 2#区域断口金相组织
Fig.8 Metallographic organization of 2# regional fracture source

4 改进措施

- 1) 检修水压机。对壳体冲拔用水压机进行了重新检查和维修, 更换了滑块滑板, 并将其与滑道间的间隙调整到 0.43 mm, 使其满足使用要求。
- 2) 工艺上增加壁偏差检测位置。在加工工艺上增加对壳体密封圈槽处壁偏差的检测要求, 以防止断裂处再次发生壁偏差超差。
- 3) 取消密封槽结构。理论计算壳体密封圈槽处设计强度满足要求, 但裕度较小, 为增大裕度, 将壳

- 体密封圈槽取消, 通过调整壳体内腔尺寸, 改为 R 圆角过渡, 使壳体危险断面的最小壁厚由 7.184 mm 增加到 10.567 mm。
- 4) 调整热处理参数。为防止壳体热处理过程中 C 元素偏高, 造成壳体材料脆性较大, 在热处理加工过程中采取控制措施, 回火温度采用上限, 适当延长保温时间, 减小回火脆性及残余应力。
- 5) 强度校核。对改进前、后的壳体断面进行了强度校核, 计算结果表明, 改进后, 抗扭剪切裕度由 3.01 提高到 4.21, 计算结果见表 4。

表 4 改进前、后进行了强度计算结果
Tab. 4 Strength calculation results before and after improvement

	轴向应力/MPa	径向应力/MPa	抗扭剪切应力/MPa	抗扭剪切裕度
改进前	249.96	1132	1857.6	3.01
改进后	249.96	699.4	1330.51	4.21

5 验证试验

5.1 试验器材准备

对改进结构设计的壳体重新加工, 生产过程中严格执行机加工工艺和热处理工艺, 加强原材料的探伤及在加工过程中的探伤等检验, 逐道工序进行 100% 检

验, 并对加工完成的壳体随机抽取 5 发进行解剖, 经检测壁厚差小于 0.45 mm, 满足图定≤0.80 mm 要求。

5.2 验证试验

对改进结构的壳体进行了结构强度试验。试验使用了不同寿命当量的火炮各射击 1 组, 目的是考核壳体在不同寿命当量的火炮上射击时, 在弹炮间隙和壳

体初始扰动变化的条件下,壳体的各项性能是否满足要求。

5.3 试验结果

经对射击试验后回收的壳体进行拆分检测,原发生断裂现象的位置无破坏、裂纹现象,变形量满足产品图定要求,改进结构的壳体结构强度满足要求。

6 预防措施

对壳体冲拔用水压机进行了定期检查和维修,满足产品使用要求;调整热处理参数,回火温度采用上限,适当延长保温时间,减小回火脆性及残余应力,优化结构设计,满足产品强度对壳体冲拔用水压机进行了定期检查和维修使其满足使用要求。

7 结论

壳体断裂的原因是:壳体密封圈槽处壁厚差超差导致弹壁较薄而产生强度余量不足造成;壳体材质C元素含量偏高,材料的脆性较大;经检测分析断口主要是解理断口,同时断口处材料偏析严重;结构设计强度裕度不足。

参考文献:

- [1] 王科伟,杨正才,王海军,等.低温环境下电作动器壳体破口失效机理研究[J].火工品,2017(5):4—7.
WANG Ke-wei, YANG Zheng-cai, WANG Hai-jun, et al. Study on Failure Mechanism of Electric Actuator Shell in Low Temperature Condition[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2017(5): 4—7.
- [2] 钟奇鸣,李翔.减震胶套壳体的断裂原因分析[J].理化检验(物理分册),2016(11):825—827.
ZHONG Qi-ming, LI Xiang. T2 Analysis on Fracture Reasons of Shells of Damping Rubber Sleeves[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2016(11): 825—827.
- [3] 荣润烈.材料成形加工技术的发展趋势[J].精密成形工程,2009,1(2):6—11.
RONG Run-lie. Introduction to Developing Trend of Material Forming Technology[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2009, 1(2): 6—11.
- [4] 张志明,黄少东,庞丹,等.弹体热冲拔成形工艺数据库研究与开发[J].精密成形工程,2013,5(6):36—41.
ZHANG Zhi-ming, HUANG Shao-dong, PANG Dan, et al. Research and Development of Shell Body Hot Extrusion-draw Forming Database[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5(6): 36—41.
- [5] 姜超,单忠德,庄百亮,等.热冲压成形22MnB5钢板的组织和性能[J].材料热处理学报,2012,33(3):78—81.
JIANG Chao, SHAN Zhong-de, ZHUANG Bai-liang, et al. Microstructure and Properties of Hot Stamping 22MnB5 Steel[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2012, 33(3): 78—81.
- [6] 柴艳军,李如江,岳继伟,等.壳体壁厚线性变化对聚能射流形成的影响[J].科技通报,2017(9):12—14.
CHAI Yan-jun, LI Ru-jiang, YUE Ji-wei, et al. The Effect of Varying Linearly Wall Thickness Cases on the Formation of Shaped Charge Jet[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017(9): 12—14.
- [7] 孙欢庆.基于多电技术的民用飞机舱门电作动器研究[J].航空科学技术,2014(11):14—18.
SUN Huan-qing. The Electrical Motor Actuation System Research of Doors in Civil Aircraft[J]. Aeronautical Science and Technology, 2014(11): 14—18.
- [8] 赵方宣,李如江,薛伟,等.非对称壳体对聚能射流形成影响的数值模拟和试验[J].科学技术与工程,2016(10):1—5.
ZHAO Fang-xuan, LI Ru-jiang, XUE Wei, et al. Numerical Simulation and Test of the Influence of Asymmetric Shell to Shaped Charge Jet Formation[J]. Science Technology and Engineering, 2016(10): 1—5.
- [9] 张高峰,李向东,周兰伟,等.对称刻槽预控破片战斗部壳体爆炸过程质量损失率研究[J].兵工学报,2018,39(2):254—260.
ZHANG Gao-feng, LI Xiang-dong, ZHOU Lan-wei, et al. Research on the Explosion Mass Loss Rate of Pre-formed Fragment Warhead Shell with Symmetric Groove[J]. Acta Armamentarii, 2018, 39(2): 254—260.
- [10] 孙长海,郭超,郝相民,等.炼油厂催化裂化装置第二再生器旋风分离器断裂分析[J].金属热处理,2011(S1):215—218.
SUN Chang-hai, GUO Chao, HAO Xiang-min, et al. Breakage Analysis of Cyclone Separator in Catalytic Cracking Unit of Refinery Units[J]. Heat Treatment of Metals, 2011(S1): 215—218.
- [11] 方蕾.CFM56-7发动机起动机壳体螺杆断裂分析[J].航空维修与工程,2018(11):36—38.
FANG Lei. Analysis on Housing Bolt Fracture of B737NG Engine Starter[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2018(11): 36—38.
- [12] 翟雨生.采煤机摇臂壳体断裂原因分析及改进措施[J].煤矿机械,2014,35(10):192—193.
ZHAI Yu-sheng. Fracture Analysis and Improvement Measures of Ranging Shell for Shearer[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(10): 192—193.
- [13] 周绪绪,雷欢平,刘宝峰,等.某型号发动机壳体外

- 部零件钎焊断裂分析[J]. 航天制造技术, 2017, 60(3): 38—41.
- ZHOU Xu-xu, LEI Huan-ping, LIU Bao-feng, et al. T2 Analysis of Brazing Fracture of External Parts of A Certain Type of Engine[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2017, 60(3): 38—41.
- [14] 陈志闯, 李伟兵, 朱建军, 等. 40CrMnSiB 钢圆柱壳体膨胀断裂中间状态回收试验研究[J]. 兵工学报, 2018, 39(11): 2137—2144.
- CHEN Zhi-chuang, LI Wei-bing, ZHU Jian-jun, et al. Recovery Experiment Study of Cylindrical 40CrMnSiB Steel Shell in Intermediate Phase of Expanding Fracture Proces[J]. Acta Armamentarii, 2018, 39(11): 2137—2144.
- [15] 赵金兰, 李京川, 瞿婷婷, 等. 某 S135 钻杆管体断裂失效原因分析[J]. 焊管, 2018, 41(11): 48—54.
- ZHAO Jin-lan, LI Jing-chuan, QU Ting-ting, et al. Fracture Failure Analysis of a S135 Drill Pipe Body[J]. Welded Pipe and Tube, 2018, 41(11): 48—54.