

# 铝合金铸锻联合成形工艺毛坯冲制质量控制研究

崔长齐, 徐洪山, 尉少荣, 龚锐, 王秋菊, 林晨华

(北方华安工业集团有限公司 技术部, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:** **目的** 提高铝合金铸锻联合成形工艺毛坯冲制良品率。**方法** 采用优化模具设计、设备配置, 增加模具保温、坯料预润滑和坯料预处理工序等综合治理方法, 开展生产实验研究。**结果** 铝合金铸锻联合成形工艺毛坯冲制良品率由原来的不足 85.63%, 提高到了 97% 的稳定水平。**结论** 7A04 铸铝坯料的冲制成形条件, 比 7A04 挤压棒材的冲制成形条件要求高, 用 7A04 铝合金铸造坯料代替 7A04 铝合金棒材冲制工件时, 必须对毛坯冲制成形工艺进行细致的完善。

**关键词:** 铝合金; 冲制毛坯; 质量控制

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.04.015

**中图分类号:** TG292; TG316 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2014)04-0079-06

## Roughcast Quality Control of the Aluminum Alloy Cast Forge Composite Forming Technology

CUI Chang-qi, XU Hong-shan, WEI Shao-rong, GONG-rui, WANG Qiu-ju, LIN Chen-hua

(The North Hua'an Industry Group Co., Ltd., Qiqihar 161006, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To increase the roughcast conformity rate of the aluminum alloy cast forge composite forming technology. **Methods** Comprehensive measures including optimization of mould design, equipment configuration, increasing temperature holding feature of the mould, beforehand lubricating and pretreatment of the blank material were adopted, and production experimental study was conducted. **Results** Aluminum alloy cast forge composite forming technology increased the roughcast conformity rate from below 85.63% to stably 97%. **Conclusion** The cast forming condition of 7A04 cast aluminium material had higher requirements than those of 7A04 extrusion bar material. When 7A04 aluminium alloy casting material was used to replace the 7A04 aluminium alloy bar material for workpiece casting, the casting and forming technology for the semifinished material should be refined.

**KEY WORDS:** aluminum alloy; roughcast; quality control

为提高某型号铝合金罐体的抗冲击性能, 确保产品的使用效能, 某公司采用 7A04 铸铝代替 7A04 挤压棒材冲制罐体毛坯的工艺技术<sup>[1]</sup>。该技术的应用, 最大限度改变了罐体底部的铝合金织构<sup>[2]</sup>组织(见图 1、图 2)。由于罐体底部金属织构组织的

改变, 实现了在不改变罐体结构的前提下, 将罐体的抗冲击能力提高了一倍以上<sup>[3]</sup>, 确保了罐体的使用性能, 同时还降低了罐体的生产成本, 为提质降耗工作开辟了一条新途径, 其长远的经济效益十分显著。

收稿日期: 2014-01-06

作者简介: 崔长齐(1962—), 男, 河北乐亭人, 大专, 高级工程师, 主要研究方向为冷、热成形。

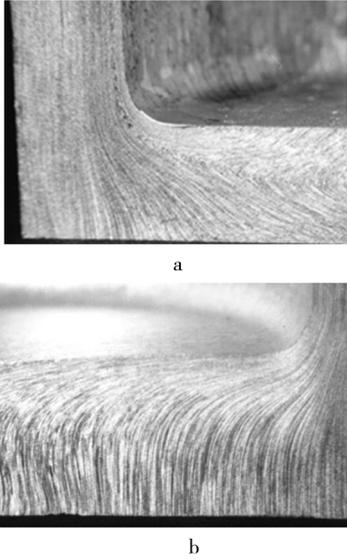


图1 用棒料冲制的罐底金属内部组织结构

Fig.1 Structure of metal internal organization at the bottom of a can casted with bar material



图2 用铸料冲制的罐底金属内部组织结构

Fig.2 Structure of metal internal organization at the bottom of a can casted with cast material

## 1 问题的提出

在采用铸锻联合成形工艺冲制罐体的初期,第一批共冲制罐体毛坯2004件,在毛坯冲制及后续的表面质量检验过程中,共检出了废品288件,废品率高达14.37%,废品分类见表1。在热处理和喷砂工序后的检验中,其废品的数量又增加了许多,这种情况,远没有达到对铝合金冲制毛坯良品率97%以上的标准要求。

这些问题在相同的毛坯冲制条件下,采用铝合金棒料进行冲制罐体的过程中并没有出现过。出现废品率高的情况说明,7A04铸铝坯料的冲制成形条件比7A04挤压棒材的冲制成形条件要求高。这就

表1 罐体冲制毛坯废品分类

Table 1 Classification of waste roughcast cans

	数量	占废品的 比率/%	占产品总数 的比率/%
壁厚超差	111	38.54	5.54
偏口(高度不足)	54	18.75	2.69
外表面裂纹	112	38.89	5.59
内表面裂纹	9	3.13	0.45
底薄	2	0.69	0.10
废品率合计	288	100	14.37

带来了新的研究课题,需要对出现的问题进行研究,对工艺进行完善,以达到提高7A04铸铝坯料冲制成形的良品率的目标。

从表1的数据中可以看出,解决好壁厚超差、偏口及外表面裂纹这三种问题,罐体冲制毛坯的良品率指标就能够达到97%以上的考核标准。

## 2 废品超标的原因分析

### 2.1 导致罐体冲制毛坯壁厚超差的原因

毛坯冲制工序的简明过程为:坯料加热(420~440℃)→模具预热→模具润滑→坯料润滑→上料→冲制(630t水压机反挤压成形)→坯料顶出→冷却毛坯。

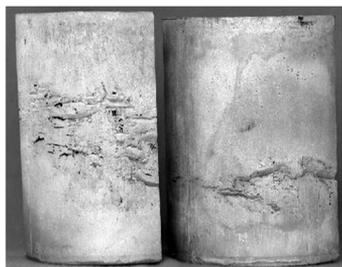
在第一批毛坯的冲制过程中,采用的工装与试验阶段的工装有所不同。主要是为了解决在试验阶段频繁出现的毛坯抱模现象,撤掉了630t水压机上的导向装置,在相同的位置换装了退料装置。毛坯抱模的现象解决了,但由于水压机上没有了导向装置,难以把握冲头的运动方向的准确性,因此,出现了冲制毛坯壁厚超差的问题。

用撤掉水压机上的导向装置,换上退料装置的办法来解决抱模的问题,从实际结果看,这种考虑不周全的解决问题的办法效果不好,是不可取的。重新设计合理的工装结构才是解决抱模问题的最好办法。

### 2.2 导致罐体冲制毛坯出现外表面径向裂纹、偏口现象的原因

罐体冲制毛坯外壁产生径向裂纹、裂口和偏口

现象(见图3—4)。



a 裂纹的外观形态



b 裂纹标本的解剖面

图3 罐体冲制毛坯外表面裂纹标本

Fig.3 Specimens of external surface cracks on the roughcast cans

最好的部位最大限度保留在罐体上,发挥其效能,因此,提出了罐体的内腔形状由冲制工序保证,毛坯冲制成形后内腔不再进行机械加工的规定。由于产品的设计人员没有考虑到这一变化,在设计中仍采用机械加工成形的惯性思维,习惯性地 将界面交接部位的圆角半径设计为 $\leq 2\text{ mm}$ (见图6),这一结构设计不符合铝合金冲压成形工艺的理论要求(见图7)。



图5 铸造组织转化为锻造组织的分布情况

Fig.5 Distribution of cast organization transformed into forging organization



a 罐体冲制毛坯裂口现象的典型标本



b 罐体冲制毛坯偏口(高度不足)现象的典型标本

图4 罐体冲制毛坯的典型缺陷标本

Fig.4 Roughcast can specimens with typical flaws

### 2.2.1 冲头的转角设计过小

在研究新工艺技术的过程中,工艺人员经低倍组织检查发现,由于受产品的形状限制,采用铸造毛坯进行罐体冲制时,其挤压比<sup>[4]</sup>(变形系数)只有2.7~2.9,远没有达到采用7A04铝合金铸造坯料冲制工件时,材料的变形强化要求挤压比达到10的条件<sup>[5]</sup>,因此,罐体冲压成形后,毛坯铸造组织转化为锻造组织(纤维化组织)的部位都集中在罐体内壁5~8 mm的范围内(见图5)。为了将性能

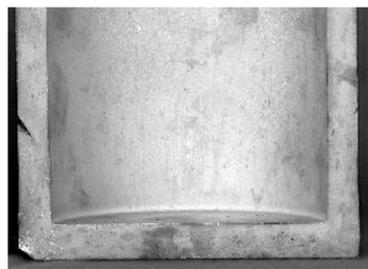


图6 罐体内壁底部界面交接部位的圆角半径不足2 mm的情况

Fig.6 Connection site of the inside wall and the bottom plate of the can with a Cape radius of <math>< 2\text{ mm}</math>

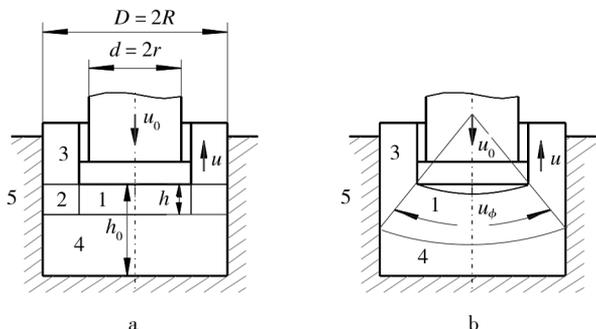


图7 冲压(反挤压)成形工作原理

Fig.7 Work principle of extrusion (backward extrusion) forming

对铝合金锻件来说,设计圆角半径尤为重要,小的圆角半径不仅使金属流动困难,纤维折断,而且会使锻件产生折叠、裂纹,降低锻模寿命,所以在可允许的条件下,应尽量加大圆角半径<sup>[6]</sup>。

冲头表面交接部位转角角度的减小,加大了铝合金冲压成形过程中的局部应力,容易导致铝合金在冲压成形过程中被拉断、拉裂的情况出现<sup>[7]</sup>。结合罐体冲制毛坯的裂纹(裂口)现象均出现在毛坯的中下部位的实际情况(见图3,4,6),冲头的圆角设计过小的因素就更加明显。这是因为在等温锻造(反挤压成形)的过程中,在接近变形终了阶段时的挤压应力最大。

图7a中:在冲孔时的任意瞬间,直径为 $d=2r$ ,高度为 $h$ 被压缩的圆柱区域1和直径为 $D=2R$ ,高度也为 $h$ 的圆环2都受内压力作用。2区的金属挤到已经变形完了的3区中,而使其体积不断增加,这时4区为刚性区。这样变形区1和2的高度在整个冲孔的过程中是不变的(等于 $h$ ),因此,“刚性”区的高度( $h_0-h$ )在整个冲孔过程中是不断减少的<sup>[8]</sup>。

图7b中:是将图7a中1区和2区结合,更接近实际冲压过程的工作原理示意图。从图7b中也可以观察到,在坯料进行冲压成形的初始阶段,在坯料上部的边缘部位的一定区间内,金属不会承受挤压应力的作用,因此,采用铸造坯料进行罐体冲制时,在该区域金属的铸造状态组织不会转化成锻造组织形态(见图8);因此,在该区域也不易产生金属不连续(断裂)的情况,这也是罐体冲制毛坯的裂纹均出现在冲制毛坯中下部位的原因。

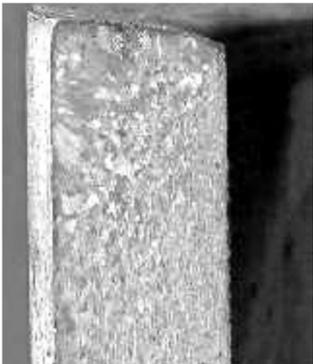


图8 在罐体冲制毛坯口部外侧存在的铸态组织

Fig. 8 Cast organization on the external side of the opening of the roughcast can

## 2.2.2 冲压速度过快

在新工艺应用初期罐体毛坯冲制的过程中,采用的是630 t水压机,该设备是一台老设备,在冲制过程中已经无法对冲头的运行速度进行有效控制,冲压速度很快。由于铝合金的挤压应力与金属的流动速度有关,金属流动速度越快,所需的挤压应力越大<sup>[9]</sup>,挤压成形的速度越快,金属的挤压应力就越大。挤压应力过大,容易造成金属被拉断、拉裂的情况出现。

## 2.2.3 模具的预热效果不好

在以往的铝合金毛坯冲制的过程中,没有专用的模具预热设备,模具的预热都是采用坯料进行预热,由于无法对预热参数进行工艺规定,因此在具体的操作过程中也无法进行确实有效的监督检查,只能靠一线工人的经验进行控制,且随意性强。这种条件下一旦遇到新工艺、新技术、新问题时,毛坯冲制的质量自然就无法得到保障。

## 2.2.4 坯料的周边的组织状态较差

由于坯料为7A04铸造状态,因此在坯料的边缘有一很细的等轴晶薄层区,虽然该层组织致密,机械性能好<sup>[10]</sup>,但由于7A04铝合金是脆性材料<sup>[11]</sup>,因此该层组织的热加工性能较差,塑性很低,在冲压过程中容易导致金属不连续的缺陷组织出现(断裂现象)。同时,在铸造坯料的表面,有时会有铸锭热裂纹<sup>[12]</sup>(见图9)、夹渣、气孔、偏析等缺陷组织存在,而这些缺陷组织在铝合金棒料的组织中是很少存在的,因此,铝合金铸造坯料的锻造加工性能比铝合金棒料差。所以,采用铝合金铸造坯料代替棒料进行罐体冲制时,其锻造成形工艺的条件要求,比采用棒料冲制罐体时提高很多。

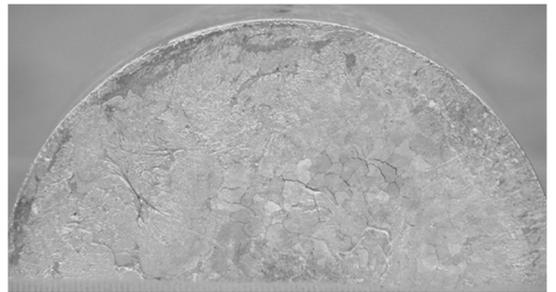


图9 铝坯料表面存在的铸锭热裂纹缺陷

Fig. 9 Cast ingot thermal crack flaws on the surface of aluminum semifinished material

### 2.2.5 坯料的润滑效果不好

在以往的铝合金毛坯冲制的过程中,通常只对模具进行润滑,没有对坯料进行预润滑处理的工序。由于铝合金的在锻造成形过程中的摩擦因数为0.06~0.48之间,因此,没有进行润滑处理的坯料在冲压成形过程中,摩擦力会增大,摩擦力的增大,也是造成铝合金在挤压变形的过程中,向各个方向上的流动速度不一致,严重时产生断裂的原因。

## 3 解决问题的办法

### 3.1 冲头的转角设计过小的问题

由于工件底部的内表面在使用过程中不存在结构配合的问题,因此将工件底部的结构设计由原有的R2调整为R5。

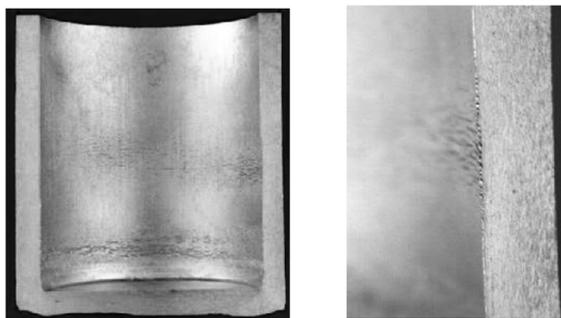
### 3.2 冲压速度过快的问题

通过理论计算,在不考虑摩擦阻力的前提下,该工件毛坯的挤压成形载荷约为110~160 t,考虑到摩擦因数最大为0.48的因素,罐体的最大挤压成形载荷约为165~240 t。根据这一结论,结合设备的工作负荷不应超过设备最大能力的80%的要求,新引进一台315 t的油压机代替原有陈旧的630水压机进行罐体毛坯冲制,有效地解决了冲压速度过快的问题。

### 3.3 模具的预热效果及坯料的润滑效果不好的问题

对模具的预热效果不好的问题,引进了专用的模具加热、保温、监控设备。模具预热由坯料预热改为专用设备预热,同时模具预热参数也确定为270~400℃,接近变形铝合金等温精密成形时要求坯料与模具一起加热的要求<sup>[13]</sup>,模具预热效果不好的问题得到了解决。

对坯料的润滑效果不好的问题(见图10),增设了坯料预润滑处理工序,坯料经预润滑处理后,在坯料表面,均匀附着一层在250℃~650℃的范围内润滑效果比MoS<sub>2</sub>还要好的固体润滑剂<sup>[14]</sup>,并在实际生产中应用;同时将原工艺使用的润滑剂(石墨加机油)的配比调整为1.5:1.0(体积比)<sup>[15]</sup>。



a 润滑效果不好的外观形态

b a图的局部放大图

图10 因润滑效果不好形成的麻痕(法纹)(麻痕部位实质是成倒锯齿状的缺陷组织)

Fig. 10 Numb scars (spellweave) formed due to poor lubrication (the site with numb scars is essentially a retro-serrate defect structure)

### 3.4 铸造坯料边缘的组织状态较差的问题

对铸造坯料存在边缘组织状态较差的问题,将铸造坯料的尺寸适当放大3 mm,在坯料进行冲压前增加了一道修料工序,将铸造坯料边缘的不良组织通过切削加工掉,彻底消除冲压成形过程中产生金属不连续(断裂)的诱因。

## 4 效果检查

### 4.1 工装设计、产品结构微调及预热方法初步改进的效果

在7A04铝合金铸锻联合成形工艺应用后的第二批产品的生产过程中,通过对冲压工装结构设计的优化、产品结构设计的局部微调以及模具预热技术的强化管理,首先解决了冲制毛坯外表面裂纹的问题,同时,壁厚超差、口部偏斜的问题也得到初步的缓解。经统计,铝合金铸锻联合成形工艺应用于生产的第一年,毛坯冲制的综合良品率达到了91.6%,解决问题的措施初见成效。

### 4.2 更换冲压设备、引进模具预热及坯料预润滑技术、增加修料工序

为更好地解决工艺过程中存在的问题,在随后的设备能力改造的过程中,对工艺过程重新进行了调整,更换了冲压设备;引进了专用的模具预热、检测、控制设备,采用等温锻造成形及坯料预润滑技

术;清除铸造坯料表面组织较差的部分,在毛坯冲制前增加了一道修料的工序。在后续几年的生产中,工件冲制毛坯的良品率始终稳定在97%以上。

## 5 结论

通过实践检验证明,7A04 铝合金铸造坯料的冲压成形性能,与7A04 铝合金棒材相比差很多,用7A04 铝合金铸造坯料代替7A04 铝合金棒材冲制工件毛坯时,毛坯冲制工艺必须进行细致的完善,否则将会出现较多的质量问题。

### 参考文献:

- [1] 崔长齐,徐洪山,王哲,等. 承受高冲击载荷铝合金锻压件失效分析与预防[J]. 国防技术基础,2010,4(增刊):56.  
CUI Chang-qi, XU Hong-shan, WANG Zhe, et al. Failure Analysis & Precautions of Aluminum Alloy Press Forging Bearing High Punching Pressure Payload[J]. Technology Foundation of National Defence, 2010, 4(Supplement): 56.
- [2] 杨中玉,张津,郭学博,等. 铝合金的织构及测试分析研究进展[J]. 精密成形工程,2013,6(1):1—4.  
YANG Zhong-yu, ZHANG Jin, GUO Xue-bo, et al. Research Progress on Aluminum Alloy Texture and Test Analysis[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 6(1): 1—4.
- [3] 崔长齐,杨丽红,王秋菊,等. 承受高冲击载荷铝合金薄壁件开裂的原因与预防[J]. 精密成形工程,2013,6(3):11—14.  
CUI Chang-qi, YANG Li-hong, WANG Qiu-ju, et al. Cause and Prevention for Crack of Aluminum Alloy Thin-walled Housing Bearing High Impact Load[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 6(3): 11—14.
- [4] 谢水生,刘静安,黄国杰. 铝加工生产技术500问[M]. 北京:化学工业出版社,2006.  
XIE Shui-sheng, LIU Jing-an, HUANG Guo-jie. The Aluminum Processes the Technology of Production 500 Ask [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [5] 李成功. 锻压技术手册(上册)[K]. 北京:国防工业出版社,1998.  
LI Cheng-gong. Forging and Pressing Technical Handbook (First Volume)[K]. Beijing: National Defence Industrial Press, 1998.
- [6] 王仲仁. 锻压手册(锻造)[K]. 北京:机械工业出版社,2002.  
WANG Zhong-ren. Handbook of Forging and Pressing (The Forging)[K]. Beijing: Mechanical Industrial Press, 2002.
- [7] 翟德海. 挤压工艺及模具[M]. 北京:化学工业出版社,2004.  
ZHAI De-hai. Extruding the Technology and Mould[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [8] 欧阳八生,沈欣,杨焯尧,等. 45 钢冷拔润滑工艺参数的优化试验分析[J]. 热加工工艺,2013,13:23—26.  
OUYANG Ba-sheng, SHEN Xin, YANG Ye-yao, et al. Experimental Analysis of Optimization Parameters of Lubrication Process for Cold-drawing 45 Steel[J]. Hot Working Technology, 2013, 13: 23—26.
- [9] JOHNSON W. Plane Strain Slip Fields[M]. Arnold, 1970.
- [10] BRAMLEY A, OSMAN F. The Upper Bound Method[C]. Numerical Modelling of Materials and Deformation Processes, 1992.
- [11] WANHEIM T. Physical Modelling of Metal Forming Processes[C]. Process Modelling. Proceedings of ASM Process Modelling Sessions, Materials and Processing Congresses, 1979.
- [12] HATZENBICHLER T, BUCHMAYR B. Vorformoptimierung Für Das Gesenkschmieden Mittels Numerischer Simulation[J]. Buchmayr, 2008(11): 413—417.
- [13] 黄树海,赵祖德,康风,等. 轻合金等温精密成形工艺及应用[C]. 2008 年轻合金加工工艺与装备技术研讨会论文集, 2008: 136.  
HUANG Shu-hai, ZHAO Zu-de, KANG Feng, et al. Light Alloy the Same Temperature Shapes up Technology and Uses[C]. Light Alloy Process Technology and Equipment Coueated Works of Technical Seminar in 2008, 2008: 136.
- [14] 姜巨福,王迎,罗守靖,等. AZ91D 镁合金托弹板半固态触变模锻研究[J]. 材料科学与工艺, 2007, 15(5): 658—661.  
JIANG Ju-fu, WANG Ying, LUO Shou-jing, et al. Research on Thixoforging of Magnesium Plate of AZ91D Magnesium Alloy[J]. Materials Science & Technology, 2007, 15(5): 658—661.
- [15] 何运斌,潘清林,刘晓艳,等. 镁合金等通道转角挤压过程中的晶粒细化机制[J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(8): 1785—1793.  
HE Yun-bin, PAN Qing-lin, LIU Xiao-yan, et al. Grain Refinement Mechanism of Magnesium Alloy During Equal Channel Angular Pressing Process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2011, 21(8): 1785—1793.