

# 铝合金拉杆的热挤压工艺及模具设计\*

刘瑞华\*\*, 宋克兴, 郜建新, 贾淑果, 国秀花, 王 青

(河南科技大学 材料科学与工程学院, 河南 洛阳 471003)

**摘要:** 分析了高压开关零件 LW8-35SF6 铝合金拉杆的热挤压成形工艺及模具设计。与传统的加工工艺相比, 新工艺采用杆部反挤头部正挤的复合热挤压工艺进行生产, 使材料利用率和生产效率大大提高。对铝合金拉杆零件进行了实际生产试验, 结果表明, 对直径为 90 mm、高度为 85 mm 的棒料进行热挤压成形是可行的, 设计制造的挤压模具结构简单、通用性强。采用新工艺增加了坯料尺寸精度, 坯料重量减轻 72% 以上, 提高了经济效益; 同时, 为在小设备上成形变形程度较大的长杆件提供了一种新方法。

**关键词:** 铝合金; 拉杆; 热挤压; 模具设计

**中图分类号:** TG376.2

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-3940 (2007) 05-0098-03

## Hot extrusion technology and die design of aluminum alloy pull-rod

LIU Rui-hua, SONG Ke-xing, GAO Jian-xin, JIA Shu-guo, GUO Xiu-hua, WANG Qing

(School of Materials Science and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** The hot extrusion technology and die design of aluminum alloy pull-rod of the high-voltage switch accessory LW8-35SF6 were analyzed. Compared with the traditional manufacturing process, the new hot extrusion technology using bar backward extrusion and head forward extrusion was adopted, which improved the availability and productivity of the materials greatly. Through the commercial production experiment for aluminum alloy pull-rod, it is concluded that the bar with the diameter of 90 mm and the height of 80 mm can be extruded by hot extrusion forming, the structure of the extrusion die designed is simple and has a strong common utilization. By using this new process, the dimensional precision of billet is improved and the weight is reduced over 72%, which not only increases the economic benefits but also produces a new method to manufacture long pull-rod which is difficult to be deformed on a small machines.

**Keywords:** aluminum alloy; pull-rod; hot extrusion; die designing

## 1 引言

高压开关产品零件品种多、改型频繁<sup>[1]</sup>, 拉杆

是 LW8-35SF6 型户外断路器中的关键零件, 要求具有较高的导电、导热性能和良好的力学性能, 以降低能耗和提高产品的可靠性。铝合金材料不仅导电导热性好、力学性能优良, 而且比强度高、密度小, 因而在高压电器零部件的制造中, 除采用铜及其合金外, 大量采用铝合金。研究表明, 对于综合性要求较高的一类功能件, 如拉杆、接头、导体、

择非常重要, 它是能否顺利实现冲切的前提。

(2) 关于切断模具中凸模的设计不但要充分考虑凸模的强度和刚度, 而且要根据不同截面形状的型钢来确定刃口部分的形状, 首先保证切断过程中凸模和工件合理地力作用, 同时也要考虑冲切时产生的废料形状及走向, 使废料能顺利排出, 不影响后续的切断。

### 参考文献:

[1] 钱志平. 一种冷弯型钢剪切机的设计 [J]. 现代制造工程, 2005, (8): 92-93.

[2] 王孝培. 冲压手册 (第2版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

[3] 中国模具读者论坛大典编委会. 中国模具设计大典 (第三卷) — 冲压模具设计 [M]. 江西: 江西科学出版社, 2003.

[4] 李福禄, 田福祥. 汽车真空助力器前壳成形工艺及切舌模设计 [J]. 锻压技术, 2006, 31 (6): 78-79.

[5] 戴源德, 卢险峰. 关于冲裁凸模抗压弯强度校核公式 [J]. 锻压技术, 2005, 30 (6): 49-52.

[6] 成虹. 冲压工艺与模具设计 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2000.

[7] 肖景容, 姜奎华. 冲压工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

触头座等, 一般采用铝合金挤压棒(管)经切削加工制成, 2A50 合金就是其中常用材料之一。2A50 合金在热态下具有良好的可塑性, 可通过铸造、挤压等变形工艺改善组织, 提高性能, 且可以热处理强化, 工艺性较好, 因而成为高压开关类零部件的首选材料。

拉杆的挤压件如图 1 所示, 传统上采用棒料直接切削加工而成, 材料的利用率一般在 16%~40%, 浪费严重、效率低。新工艺采用杆部反挤头部正挤的复合热挤压方法, 能使坯料尺寸精度大幅度提高, 毛坯重量减轻 72% 以上, 产品的导电率、硬度及强度等完全达到设计标准。

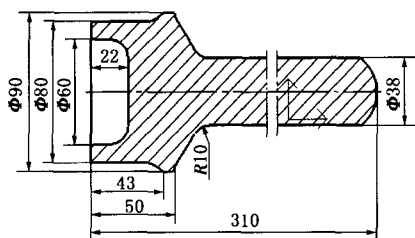


图 1 高压开关拉杆挤压件图

Fig. 1 Extruded part of high-voltage switch pull-rod

## 2 拉杆热挤压工艺分析

拉杆零件材料为 2A50 (LD5) 合金, 属于 Al-Mg-Si-Cu 系, 具有良好的锻造性能, 在热态下易变形, 且抗蚀性能、焊接性能和切削性能良好, 中等强度, 塑性很好<sup>[2]</sup>。在生产过程中, 将圆柱形毛坯表面涂上水剂石墨, 然后感应加热至 490 °C, 放入组合凹模的模具中挤压成形。工作前把模具预热至 250 °C 左右, 每次挤压前, 需向模腔喷洒润滑剂。挤压变形后可进行固溶时效热处理, 以提高其硬度, 固溶温度为 (515±5) °C, 时间为 3 h, 时效温度为 (160±5) °C, 时间为 5 h。

拉杆挤压可以采用正挤压或反挤压的方法成形杆部。由于拉杆变形程度大, 且杆部长径比大于 7, 正挤压时, 金属的流动方向与凸模运动方向相同, 坯料与凹模之间存在摩擦力, 则挤压力中不仅有变形力, 还包括该摩擦力。在坯料与凹模温度过高及润滑不良时, 因坯料与凹模之间有相对运动, 会进一步增大挤压力。由于该零件的杆部较长, 直接顶出时容易失稳弯曲, 若间接顶出模具结构复杂, 操作困难<sup>[3]</sup>。

采用一次复合挤压成形工艺, 即杆部反挤头部正挤的复合挤压成形工艺可以解决上述问题, 其工

艺流程如图 2 所示。由于采用了杆部反挤, 坯料与凹模之间无相对运动产生的摩擦力, 从而降低了挤压力。该方案模具结构简单, 生产效率高。YA32-315 四柱式万能液压机活动横梁到工作台面距离为 1250 mm<sup>[4]</sup>, 行程长, 凸模设计为中空结构, 成形杆部的模腔在凸模上, 可以完成脱模。拉杆热挤压工艺的生产过程是: 下料→加热→挤压→热处理→精加工。

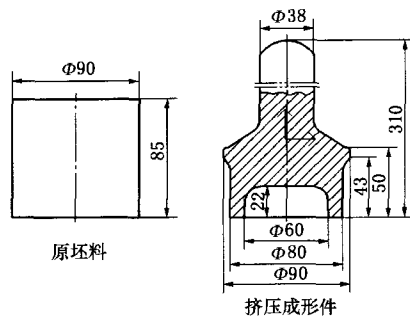


图 2 工艺流程图

Fig. 2 Process flow

## 3 拉杆热挤压工艺设计

### 3.1 模具结构及工作过程

热挤压工艺设计是热挤压模具设计的第一步, 直接影响到制件质量、生产效率、模具寿命、生产成本等<sup>[5]</sup>。根据挤压件形状, 凸模设计为空心状, 采用二层组合凹模结构。复合热挤压模具结构如图 3 所示, 挤压时, 先将坯料放入凹模型腔内, 随着凸模 4 的下行, 坯料在组合式凹模内正挤成形, 同时杆部反挤成形, 随着挤压变形力逐渐增大, 当金属正向流动到顶件器时, 头部成形结束, 此时金属反向继续流动。当挤压完成后, 上模回程, 工件留在凹模 7 中, 压力机下缸动作, 通过顶杆 11 将头部大直径部分顶出凹模 7, 即可完成脱模。工件头部内形与顶件器口之间应留有一定的斜度, 以保证工件与顶件器不发生抱死现象, 顶杆 11 兼作头部正挤压的凹模。

### 3.2 坯料尺寸的计算

根据拉杆零部件的要求, 考虑到 2A50 在热处理后的零件尺寸和留机加工余量, 挤压件内外各留 2 mm 的单边加工余量。根据原材料供货情况, 决定在生产中坯料采用  $\Phi 90$  mm 的棒料, 高度取 85 mm。

### 3.3 许用变形程度的计算

采用热挤压成形工艺, 需对材料的许用变形程度进行验证, 许用变形程度用断面收缩率  $\epsilon$  来表示。

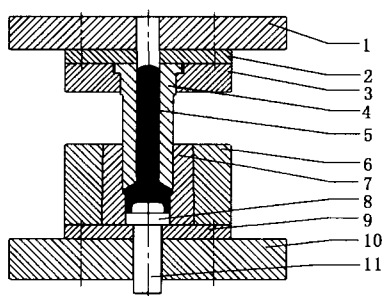


图 3 复合热挤压模具结构简图

1. 上模板 2. 上垫板 3. 凸模固定板 4. 凸模  
5. 制件 6. 凹模预紧圈 7. 凹模 8. 顶件器  
9. 下垫板 10. 下模板 11. 顶杆

Fig. 3 Structure of hot extrusion die

挤压过程中毛坯的变形程度为:

$$\epsilon = (A_0 - A_1)/A_0 = 82.17\% \quad (1)$$

$$\epsilon < \epsilon_{\text{许}} = 97\%^{[6]} \quad \text{完全满足要求}$$

式中  $\epsilon$ ——断面收缩率

$\epsilon_{\text{许}}$ ——许用断面收缩率

$A_0$ ——挤压前毛坯与凸模的接触面积 ( $\text{mm}^2$ )

$A_1$ ——挤压后毛坯与凸模的接触面积 ( $\text{mm}^2$ )

### 3.4 挤压力的计算

在此复合挤压中,凸模下行,挤压力克服金属的变形阻力及毛坯与模具之间的摩擦力,金属开始流入型腔,拉杆头部预先成形,金属流经转弯处杆部反挤;凸模继续下行,当杆部成形结束时,挤压力达到最大,其复合挤压力为  $P_{\text{复}} = P_{\text{反}}$ 。由此可知,应计算出复合挤压中的反挤压力,挤压力计算采用经验公式<sup>[7]</sup>,反挤压力的计算:

$$P = K[8 + 1/(D/d - 1)]d^2\sigma_b \quad (2)$$

式中  $P$ ——反挤压时的挤压力 (kN)

$K$ ——校正系数 (根据试验情况而定)

$d$ ——反挤压模凸模直径 (mm)

$D$ ——反挤压模凹模直径 (mm)

$\sigma_b$ ——挤压终了温度时材料的极限强度 (MPa)

查表可得 2A50 在 490 °C 时强度极限  $\sigma_b = 355 \text{ MPa}^{[8]}$ , 此时的校正系数为  $K=0.4$ ,  $d=38 \text{ mm}$ ,  $D=90 \text{ mm}$ , 挤压力为  $P=1790 \text{ kN}$ , 故  $P_{\text{复}}=1790 \text{ kN}$ , 完全在 3150 kN 万能液压机的公称压力范围之内。

## 4 模具结构特点及工作过程中应注意的问题

本工艺采用一次挤压成形,采用通用模架,凹模设计为二层组合结构。实际生产证明,该模具结

构简单、使用方便。通过改变凸模与顶件器,可以挤压出不同头部形状和杆部直径及长度的零件。

由于凸模为空心结构,截面积小,单位挤压力高,又长时间工作在高温状态,易变形,因此,应采用热强度较高的 3Cr2W8V 材料,热处理硬度 50~55 HRC。凹模采用单层预紧结构,凹模材料选 5CrNiMo,热处理硬度 44~48 HRC。凹模预紧圈要求不高,材料选 40Cr 就可以了,热处理硬度 42~46 HRC。

设计合理的入模角度和工作带宽度,便于金属流动,以尽量减小金属与模具间的摩擦力,降低挤压力。凹模尺寸与顶件器应有斜度,工作中保持凹模与制件有一定的摩擦力,又不影响开模后制件脱模,同时应注意模具的预热。保证锥面摩擦的均匀,以避免在挤压过程中拉杆头部的偏移。在反挤过程中要保证坯料与模具的清洁度和间隙尺寸,减少成层和气泡。

## 5 结语

采用杆部反挤头部正挤的复合挤压工艺生产高压开关零件 LW8-35SF6 铝合金拉杆是一种值得推广的新工艺,不仅工艺合理,而且操作方便。该工艺最大限度地利用了 3150 kN 液压机的设备能力,一次成形顶出,模具结构简单、通用性强,且挤压力小,特别适用于变形程度较大的长杆件的热挤压成形。新工艺的采用,使生产效率大大提高,同时对于在小设备上生产成形变形程度较大的其他类似长杆零件有很好的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 冯哈, 张建林, 王振生. 高压开关屏蔽罩普旋成形工艺的研究 [J]. 锻压技术, 2006, 31 (1): 33-36.
- [2] 冯正海. LD5 合金厚板热处理工艺研究 [J]. 轻合金加工技术, 1998, 26 (2): 30-31.
- [3] 周娟芳. 细长杆零件挤压及模架设计 [J]. 锻压技术, 2006, 31 (4): 68-69.
- [4] 王孝贻. 实用冲压技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [5] 洪慎章, 曾振鹏. 方柱塞冷镦挤压工艺及模具设计 [J]. 金属成形工艺, 2002, 20 (4): 52-54.
- [6] 王祝堂, 田荣璋. 铝及铝合金加工手册 [M]. 长沙: 中南工大出版社, 2000.
- [7] 贾宪安, 胡九锡. 热挤压工艺与模具设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [8] 虞莲莲. 实用有色金属材料手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.