

# 衔铁连续冷挤压模具失效分析及工艺改进

吴金平<sup>1,2</sup>, 伍权<sup>1,2</sup>, 张祥林<sup>2</sup>

(1. 贵州师范大学, 贵阳 550014; 2. 华中科技大学材料成形及模具技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**摘要:** 通过对衔铁连续冷挤压工艺进行试验, 对挤压过程中模具失效进行了分析, 并提出了合理的工艺改进, 对薄壁、非对称零件连续冷挤压工艺设计及试验有参考作用。

**关键词:** 衔铁; 连续挤压; 模具失效; 工艺改进

**中图分类号:** TG376.3; TG375+.41 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-6457(2010)05-0010-03

## Failure Analysis of Die and Process Improvement for Successive Cold Extrusion of Armature Part

WU Jin-ping<sup>1,2</sup>, WU Quan<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiang-lin<sup>2</sup>

(1. Guizhou Normal University, Guiyang 550014, China;

2. State Key Laboratory of Materials Process and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Experiment for successive cold extrusion of armature part has been done. Failure of die is analysed, and process improvement is suggested. It can provide reference for process design and experiment of successive cold extrusion for thin and asymmetric shaped workpiece.

**Key words:** armature part; cold extrusion; die failure; process improvement

衔铁是某型号电磁继电器中的一个关键零件, 它的形状和表面精度直接影响继电器的工作性能, 如图1所示。该零件的传统加工工艺方法包括落

料、弯曲、铣、磨、钻孔等工序, 工艺繁杂, 生产效率低, 成本高, 很难满足企业现代化生产的需求, 迫切需要一种新的加工工艺, 在保证零件质量的前提下, 提高生产效率和降低生产成本。

衔铁是一种薄壁、壁厚不均、非对称零件。对于这种零件的挤压, 模具型腔非常复杂, 金属在型腔中的变形极不均匀, 挤出件常有扭拧现象。目前国内外还没有关于非对称薄壁钢铁零件挤压成形工艺的成熟理论, 文献[1]在构造出坯料和成形零件的有限元模型的基础上, 利用 DEFORM-3D 软件对其进行有限元分析, 得到了最优模角和最佳工作带长度, 优化型腔结构, 并进行了实验研究, 获得单坯料挤压的合格零件。

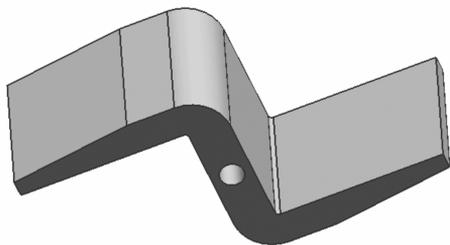


图1 衔铁零件

Fig. 1 Armature part

衔铁的单坯料挤压存在许多不足,首先,需要挤一件顶出一件,生产效率低;其次,凹模型腔锥形部分的金属不能成形,被作为废料切除掉,材料利用率低;更主要的一点,由于衔铁挤压凹模型腔复杂,需要很大顶件力,导致卸料杆极易失效,正常生产难以实现。为了提高挤压效率和材料的利用效率,在文献[1]工作的基础上,尝试将单坯料挤压改为多件连续挤压,从挤压过程中发现了许多问题,主要是挤压过程中的凹模失效。

文中在对衔铁连续挤压工艺过程进行分析的基础上,提出了合理的改进方案。

## 1 衔铁连续挤压工艺

由于衔铁冷挤压变形力比较大,凹模承受了较大的单位压力,同时凹模的弹性变形较大,须采用预应力结构三层组合凹模,以提高凹模的承载能力和减小弹性变形,同时对凹模纵向剖分,既可以方便凹模内表面研磨抛光,又可以释放角部应力,防止模具开裂,如图2所示。

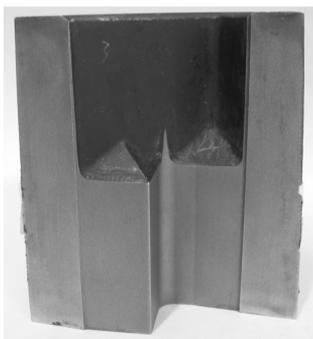


图2 纵向剖分的一半凹模  
Fig. 2 Vertical dissection of die

凸凹模材料选用 Cr12MoV, 抗拉强度为 245 MPa, 抗压强度为 981~1 569 MPa。内应力圈材料为 40Cr, 外应力圈采用 45 钢。

为了进一步降低挤压力,采取了以下 3 个方面的措施。

- 1) 坯料与零件之间采用断面包容原则;
- 2) 对坯料采用软化热处理工艺;
- 3) 坯料采用磷化皂化处理,并在挤压时刷涂二硫化钼润滑剂。

挤压过程中,第 1 块坯料顺利挤出,挤压力为

1 150 kN 左右。放入第 2 块坯料进行挤压时,挤压力急剧上升,达到 1 600 kN 左右时凹模对角纵向开裂,如图 3 所示。拆开模具,发现凹模的容料腔和锥形过度部分还有横向裂纹,如图 4 所示。

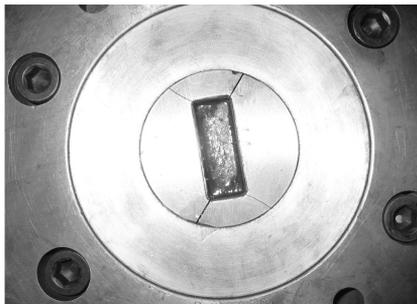


图3 凹模纵向破裂  
Fig. 3 Vertical broken die



图4 凹模的横向裂纹  
Fig. 4 A transverse crack in die

## 2 模具失效原因分析

### 2.1 坯料

1) 坯料硬度。对未经挤压的毛坯进行测试,硬度为 HB68,一般完全软化退化的纯铁硬度可降低到 HB63。正常情况下单块坯料挤压力为 1 070 kN 左右,此次第 1 块坯料挤压力达到 1 150 kN,原因之一是坯料硬度较高。

2) 润滑效果。毛坯的磷化皂化效果不理想,磷化层厚度过小,而且分布不均,导致挤压过程中有部分工件表面未被覆盖,挤压力增加。

### 2.2 模具

1) 凹模材料或热处理存在缺陷,从图 4 中看到凹模有明显的横向裂纹,如果材料内部组织和硬度分布均匀,不会产生这种失效形式。

2) 凸凹模角部间隙过大。凸凹模间隙过大导致毛坯出现显著的反挤现象,如图5所示。连续挤



图5 第1块坯料的角部反挤现象

Fig. 5 Backward extrusion phenomenon on the corners of the first blank

压过程中前一块坯料的4个角形成严重的反挤现象,反挤现象极大地影响了第2块坯料的成形,也造成挤压力大幅上升,最终导致凹模的局部开裂。

Cr12MoV有很高的硬度和韧性,淬火后硬度可达60HRC以上,但抗拉强度相对下降,为245 MPa,模具破裂的原因在于挤压时的模具内应力超出了模具材料的抗拉强度极限。在挤压第1块料挤压力已经比较高的情况下,加入第2块料时出现严重角部反挤现象,造成连续挤压过程金属挤出困难,挤压力急剧增加,模具损坏。

### 3 改进措施

要使连续挤压能顺利实现,首先必须克服角部反挤现象,其次要大幅度降低挤压力。

#### 3.1 反挤现象的克服

加强模具制造过程的监督、检测,确保模具材料内部组织和硬度分布均匀,严格控制凸模工作部分尺寸与凹模型腔的相应尺寸,使凸凹模间隙在0.1~0.2 mm的合理范围内,避免坯料出现反挤。

#### 3.2 进一步减小挤压力

坯料与零件之间采用最小包容原则,在原坯料上再切去2个角,进一步减小坯料断面尺寸,从而减小挤压比,降低挤压力。改进前后坯料与零件断面关系如图6所示。

改进前后挤压比的计算。

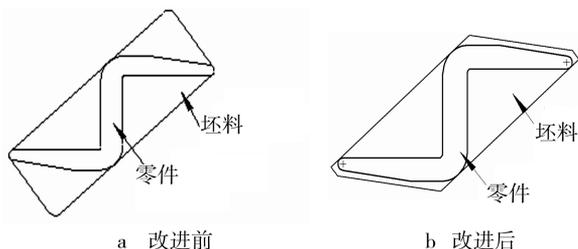


图6 零件与坯料断面关系

Fig. 6 Relation between part and blank section

$$\text{改进前: } r_a = \frac{F_0}{F_1} = 3.34$$

$$\text{改进后: } r_b = \frac{F'_0}{F_1} = 2.69$$

采用实验公式<sup>[2]</sup>  $P = S_0 x n \sigma_b$  计算挤压力,其中: $S_0$ 为坯料断面积; $x$ 为形状系数,取1; $n$ 为挤压系数; $\sigma_b$ 为纯铁的抗拉强度,取值为313.6 MPa。

$$\text{改进前: } P = S_0 x n \sigma_b = 1.088 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\text{改进后: } P = S_0 x n \sigma_b = 7.588 \times 10^5 \text{ N}$$

改进前计算的挤压力与实验结果相吻合,而改进后的挤压力只有改进前的75%,实际挤压力大幅度降低。

严格执行坯料软化退火制度。衔铁零件材料为DT4E电工纯铁,软化热处理规范如图7所示<sup>[3]</sup>。

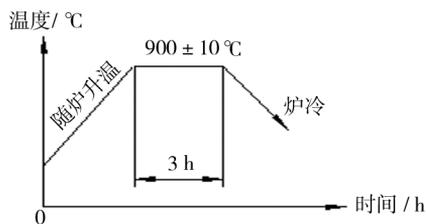


图7 毛坯软化热处理规范

Fig. 7 Softening treatment criterion of blank

保证润滑处理质量,确保磷酸盐处理层的厚度在1.1~2.2 mg/cm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。

### 4 结语

连续冷挤压技术主要集中应用在强度较小的有色金属,如铝、铜型材的生产,黑色金属特别是黑色金属非对称件国内极少见到报道。

衔铁连续挤压,与单件坯料挤压比较,效率提

(下转第16页)

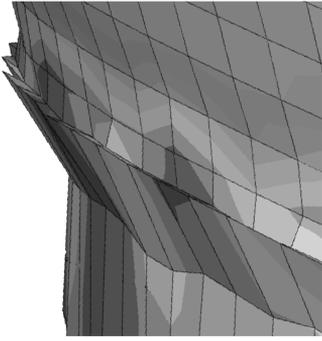


图6 大减薄率下的起皮

Fig. 6 Peeling at large thickness reduction

### 3 筒形件旋压成形实验研究

在对筒形件强力旋压进行有限元模拟研究基础上,设计并制造了相应的模具(包括芯模、旋轮等),并在由C630车床改造后的数控旋压机床上进行了相应的工艺实验。对比试件加工前后照片如图7所示,发现旋压件表面光洁度较好,并达到了预期减薄

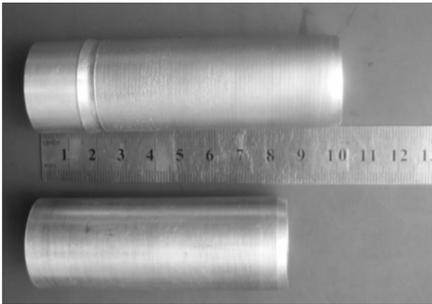


图7 试件加工前后对比

Fig. 7 The comparison of original blank and workpiece

效果。毛坯原始壁厚为2.8 mm,加工后壁厚为2.1 mm,减薄率为25%,与模拟结果相符。

(上接第12页)

高1倍以上,材料利用率至少提高30%。由于衔铁是大宗使用的电工零件,实现连续挤压,能产生巨大的效益,开发连续挤压工艺具有重大意义。

文中的第一次尝试尽管未能成功,但通过试验积累了比较丰富的经验,并提出了改进意见,供进行薄壁、非对称零件连续冷挤压工艺设计的同行们参考。

#### 参考文献:

[1] 张祥林,伍权,王文杰,等. 衔铁零件挤压成形工艺理论

## 4 结语

文中采用有限元法与工艺实验相结合的主要研究成果和结论如下。

1) 通过ABAQUS有限元模拟获得的不同的加工结果,并分析了旋压进给率、减薄率2个工艺参数对筒形件强力旋压成形过程的影响规律:旋压件的扩径随着旋轮进给比的增大而减小,但却随着材料减薄率的增大而增大;旋压时材料的起皮程度随旋轮压下量的增大而增大。研究所获得的结果对生产具有一定指导意义,有助于提高成形质量。

2) 在筒形件强力旋压成形数值模拟研究的基础上,设计制造了工装及模具,进行了工艺试验,得到了壁厚减薄效果良好的筒形件强力旋压样件。

#### 参考文献:

- [1] 李克智,李贺军,薛克敏,等. 筒形件反旋时工艺参数对残余应力分布的影响[J]. 锻压技术,1997,22(4):23-25.
- [2] 赵宪明,吴迪,吕炎. 筒形件强力旋压变形机理的有限元分析[J]. 塑性工程学报,1998,5(3):61-65.
- [3] 张利鹏,刘智冲,周宏宇. 筒形件强力旋压成形特点及变形规律[J]. 农机化研究,2006,2(2):128-131.
- [4] 卫原平,王轶为. 工艺参数对筒形件强力旋压过程的影响[J]. 模具技术,2000,8(4):12-17.
- [5] 徐洪烈. 强力旋压技术[M]. 北京:国防工业出版社,1984:169-171.

与实验研究[J]. 中国机械工程,2006,17(增刊):147-149.

- [2] 杨长顺. 冷挤压模具设计[M]. 北京:国防工业出版社,1994:16-17.
- [3] 蒋美良. 新编模具钢金相热处理[M]. 北京:机械工业出版社,2000:77-82.
- [4] 上海交通大学《冷挤压技术》编写组. 冷挤压技术[M]. 北京:机械工业出版社,1976:70.