

# 冷挤压成型在阀芯生产中的应用

姜文权

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 从工艺方案和模具设计原则等方面探讨了冷挤压工艺应用于阀芯生产的原理与优势, 介绍了一种典型阀芯的冷挤压工艺试验结果。试验证明采用冷挤压成型工艺能够解决影响阀芯密封性和产品质量稳定性的塑料与金属脱离等问题。

**关键词:** 阀芯; 冷挤压成型

中图分类号: V46

文献标识码: A

文章编号: (2004)06-0042-05

## Cold Pressing Forming for Valve Core Manufacturing Application

Jiang Wenquan

(Shaanxi Power Machine Design & Research Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Investigations on cold pressing forming technology applied to valve core manufacturing are conducted based on processing concept and die design principles. Experimental results of a typical valve core cold pressing forming are presented, which indicates that problems of separating between plastic and metal can be solved by using of cold pressing forming process..

**Key words:** valve core; cold pressing forming

### 1 引言

阀芯是各种阀门中起密封作用的关键零件。阀芯主要有三类: 塑料—金属阀芯、橡胶—金属阀芯、纯塑料阀芯, 其中本文涉及的塑料—金属阀芯又可分为主要的两大类: 按成型加工方法分为冷压阀芯和热压阀芯, 其中热压

阀芯采用的成型工艺是: 将塑料原料加热加压与金属件结合成型; 而冷压阀芯过去一贯采用的成型工艺是将已成型的塑料件在常温下加压使其镶入金属件中, 依靠塑料变形产生的压力与金属件结合在一起。

在多年的生产实践中, 经常遇到的质量问题是, 虽然冷压的方法有很多优点, 但由于塑料的变形过程是先压缩后膨胀, 而在这个过程中永久

收稿日期: 2003-11-05; 修回日期: 2003-11-21。

作者简介: 姜文权 (1970—), 工程师, 研究领域为机械加工工艺、模具设计。

变形的发生影响了回弹,所以经常会由于回弹不够等原因导致塑料与金属脱离的现象,影响了阀芯密封性和产品质量的稳定性。

为解决这一问题,对国内多个厂家进行了考察调研。结果发现,这种现象是困扰同行业的普遍问题,并没有更多的、彻底的解决办法。要想从根本上解决这个问题,必须从源头着手,采用新技术、改善工艺方法。

经过试验,一种新的工艺手段——冷挤压成型方式被采用。这种工艺的基本原理是:通过金属基体的永久变形,使塑料件产生弹性和塑性变形,将塑料件压缩在半封闭型腔中。

这种方法的优点是显而易见的,由于塑料件只有被压缩变形的过程,无需像以前冷压时还需要用一定的膨胀来填充半封闭型腔,这样,与金属件的结合强度就大大增强了。

## 2 工艺过程及主要影响因素分析

### 2.1 工艺过程分析

在冲压工艺学中,冷挤压是指在室温下利用模具迫使金属材料产生塑性流动,通过凸模与凹模间的间隙或凹模出口,制造空心零件或剖面比毛坯断面小的零件的一种塑性成型加工方法。

通过对冷挤压的工艺过程进行分析,不难发

现,它和常用的冷压工艺方法有着本质的差别。以前采用的工艺方法是:将塑料环挤入金属基体上的环形倒锥燕尾槽中,塑料件首先要被挤压变薄,进入型腔后,再被加压变厚直至填充满全部燕尾剖面的型腔,而塑料的弹性模量要达到全部过程只发生弹性变形是不可能的,这种变形又伴随着一定的回弹,使塑料与金属型腔之间的压力变得很小,甚至出现间隙乃至脱落。

新工艺方案中,塑料只发生一次变形,其应力变化方向是一致的。首先,塑料被以较小的压力压入金属件的环形直槽中,再通过模具对金属基体施压,使基体发生永久变形,环形直槽被挤压成燕尾槽,使本来敞开的型腔变成半封闭的型腔,塑料被挤压在体积变小的型腔中发生永久变形并保持弹性变形,由于应力的保持,塑料与金属之间始终存在着压力,就不会发生脱离的现象。

采用冷挤压的工艺方案可以解决冷压时产生的诸多问题,但其工艺难度也是显著的。从调研的情况来看,掌握金属—塑料复合材料的冷挤压技术是成功的关键。

### 2.2 主要影响因素

影响冷挤压成型的主要因素有:(1)冷挤压零件的材料和结构;(2)模具结构设计;(3)冷挤压工艺过程控制。

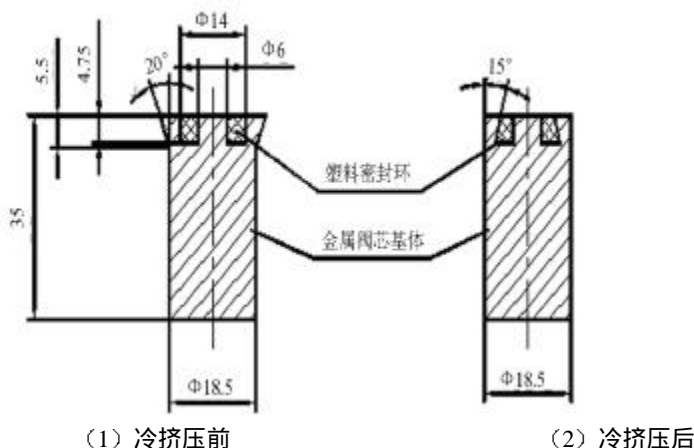


图1 一典型阀芯冷挤压前后示意图

Fig.1 Schematic of a typical valve core before and after cold pressing forming

#### 2.2.1 冷挤压阀芯零件的材料和结构特点

为了满足阀芯零件的工作和加工要求,设计人员选择的材料是:不锈钢 1Cr18Ni9Ti, 奥氏体

化热处理。在冷挤压过程中不允许再次进行热处理。同样,为了达到预期的金属变形量,以满足对塑料件的压缩封闭量,设计人员在结构上将零

件设计成便于挤压的锥体(图1)。因此,可以这样认为,在满足工作要求的情况下,该零件的设计已尽可能地考虑到了冷挤压对材料的要求和结构上的良好挤压工艺性了。

不锈钢材料 1Cr18Ni9Ti(强度极限  $\sigma_b=600\sim 900\text{MPa}$ ; 屈服极限  $\sigma_s=200\text{MPa}$ ) 的冷挤压特性是: 第一, 机械强度较常用于冷挤压的有色金属、碳素工具钢要高许多, 这样在冷挤压时其变形抗力势必很高, 使冷挤压时的单位挤压力相应增大; 第二, 1Cr18Ni9Ti 这种材料的冷作硬化敏感性很高, 且有“粘刀”现象, 从可参考的各种材料冷挤压真实应力曲线看, 在冷挤压过程中会造成挤压力显著上升, 从而降低模具寿命, 这是十分不利的。

### 2.2.2 模具结构设计

模具结构设计直接影响冷挤压成型。关于阀芯类零件, 所面临的难题是: 第一, 金属材料要全部挤出, 不允许有料头; 第二, 为保护塑料、挤压力不能过大。

正因为如此, 所采用的凸模直径将不允许大于挤出后零件的直径, 这样就必须改常规的全封闭正向挤压为半封闭正向挤压, 并且不允许出现超出零件材料损失允许的反向挤压, 以及在挤压的过程中出现拉延现象。这些都是阀芯类零件的挤压难度所在。

### 2.2.3 冷挤压工艺过程控制

配合模具结构设计、模具基体的材料选择和热处理方案选择, 冷挤压工艺过程中的润滑方案也应重点考虑。

在正常的挤压中, 常在挤压前将被挤压零件毛坯进行表面磷化处理, 以减小摩擦阻力, 再辅以润滑剂, 可以防止工件表面裂纹, 防止材料粘附在模具上, 提高模具寿命。但由于阀芯零件的特殊性, 这种表面磷化技术不能采用, 只能从润滑剂着手。经过查找对比和参考经验, 初步选用动物油脂与无机盐混合配比作为润滑剂。

## 3 冷挤压成型模具设计方案

### 3.1 理论计算

为了给模具设计提供准确依据, 应进行理论计算。

#### 3.1.1 变形程度

计算中, 变形程度采用最常见的断面缩减率来表示, 即

$$e_F = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中,  $e_F$  为冷挤压的断面缩减率, %;  $A_0$  为冷挤压变形前毛坯的横截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $A_1$  为变形后产品的横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

#### 3.1.2 挤压力

$$F = C f A$$

式中,  $F$  为总的挤压力, N;  $f$  为单位挤压力, MPa;  $A$  为凸模工作部分横截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $C$  为安全系数, 一般取 1.3, 这是由材料性能差异、软化热处理质量波动和润滑不良等因素决定的。

#### 3.1.3 单位挤压力

正挤压实心件的单位挤压力  $f$  的计算公式如下:

$$f = 2\sigma \left( \ln \frac{d_0}{d_1} + 2m \frac{h_1}{d_1} \right) e^{\frac{2m h_0}{d_0}}$$

式中,  $f$  为单位挤压力, MPa;  $\sigma$  为变形抗力(真实流动应力), MPa, 图表资料可查;  $d_0$  为毛坯直径, mm;  $d_1$  为挤压后工件直径, mm;  $h_0$  为毛坯高度, mm;  $h_1$  为凹模工作带高度, mm;  $m$  为摩擦系数, (有润滑时  $\mu=0.1$ )。

考虑到阀芯零件与常规冷挤压零件的不同, 以上公式仅作为初步设计的理论参考依据。

### 3.2 结构设计

为了保持阀芯的机械强度和形状, 把正向挤出方式 半封闭压力腔挤出作为第一方案(图2); 把正向全封闭挤出作为第二方案(图3)。如果要进行全封闭挤出, 凸模的设计和制造难度将很大, 而且, 还需要进行更多的安全性设计, 如果半封闭挤出的效果不很理想, 那么采用复合凸模的第二方案还需要进一步研究。

采用第一方案时, 凸模的设计主要考虑的是:

(1) 凸模的强度要远大于单位挤压力的要求, 可选用 W18Cr4V 和 Gr12MoV 等材料, 淬火至 HRC58~65, 表面经磨削并抛光至  $R_a \leq 0.4$ , 为了

便于材料流动,端面上可加工  $R0.2$  的圆弧,并抛光至  $R_a \leq 0.4$ 。

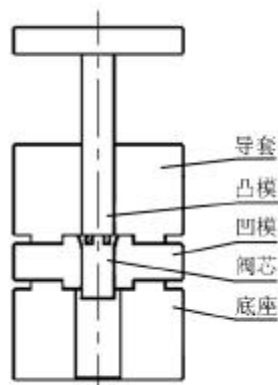


图2 半封闭挤压示意图

Fig.2 Schematic of half-closed pressing

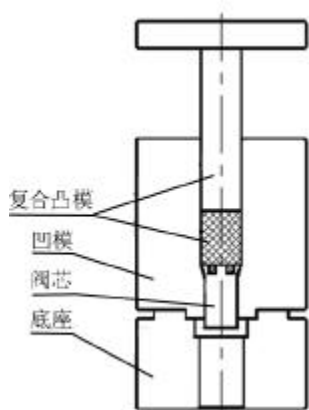


图3 全封闭挤压示意图

Fig.3 Schematic of full-closed pressing

(2) 凸模的设计重点是其与凹模的间隙。合理的间隙是降低零件在挤压过程中切向应力的关键因素。为了最大程度地减少零件锥面与圆柱面相交处(即最薄处)的拉延现象,必须控制好凹、凸模间隙,使剪切、拉延和挤压处于较合理的状态。根据理论和经验,暂定为双边间隙  $0.05\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$ 。在针对阀芯零件时,考虑到其与常规零件的区别和特殊性,在间隙的设定上作了较多的试验和大胆的尝试,实践证明,在间隙选择上取得的经验是极其宝贵的。

凹模的设计尤为重要。冷挤压时凹模的内腔受到变形金属的径向应力,其受力状态与厚壁圆筒承受径向内压的受力状态相似。根据有关厚壁

圆筒理论,冷挤压时,凹模内引起的切向应力与径向应力分别是:

在半径  $r$  处的切向应力为

$$\hat{\sigma}_t = f \frac{1+a^2}{a^2-1}$$

径向应力为

$$\hat{\sigma}_f = f \frac{1-a^2}{a^2-1}$$

其中

$$a = \frac{r_2}{r_1};$$

式中,  $f$  为凹模内表面处的径向单位压力, MPa;

$r_2$  为凹模的外半径, mm;  $r_1$  为凹模的内半径, mm。

根据分析,凹模强度的危险部位在它的内表面处,加大  $a$  值在一定程度上可增加凹模强度,但在  $a=4$  后,根据经验,即使再增加  $a$  值,强度也几乎不再减小了。

由于计算结果表明,挤压力并不是很高,在凹模的结构设计上就可以舍弃复杂的组合凹模,去掉预应力圈,只采用单一整体凹模即可满足冷挤压要求了。

在冷挤压过程中,凹模的工作锥度至关重要。锥度过大,金属变形时易形成死区,不利于金属流动,并给润滑造成一定的困难;锥度过小,增加了凹模上的径向应力(在顶出时尤为显著)。

常规冷挤压采用的锥度常在  $60^\circ \sim 126^\circ$  之间。但在这里,分析认为,阀芯零件与常规挤压毛坯区别很大。首先,常规冷挤压毛坯都是圆盘状或圆柱状,底面是平的;第二,常规冷挤压并不要求全部金属都要挤出,还需要反向顶出零件及料头。这样,考虑锥度在  $60^\circ \sim 126^\circ$  就是合理的;而阀芯零件在这两点上都与其不同,可以在三种方案中进行对比选择。第一方案:凹模锥度与零件锥度相同;第二方案:凹模锥度大于零件锥度;第三方案:凹模锥度小于零件锥度。

为了减小摩擦阻力、降低切向应力、避免零件过度拉延,应尽可能减少挤压初期的接触面积。另外,为了降低凹模工作锥度与零件间的径向应力和切向应力,并避免死区、减少润滑难度,应尽量减小工作锥度。这样,第三方案就应作为首选了。其优点还包括:从模拟挤压看,在初始阶

段是零件的圆锥大端先接触，金属材料进行径向流动，避免了在这个过程中的根部（小端）拉延，在中间和最后阶段又尽可能地将金属全部挤出，是最理想的方案。

### 3.3 模具材料及热表面处理

经过计算和综合各方面的因素，按阀芯基体的毛坯锥度为  $20^\circ$ ，取凹模工作锥度为  $30^\circ$ 。考虑到凹模的工作压力和润滑条件，在材料选择上可以选用 Cr12MoV 和 CrWMn 等高速合金工具钢，淬火至 HRC58~65，磨削并抛光至  $R_a \leq 0.2$ 。在这里要强调的是，除了结构尺寸外，最影响冷挤压的莫过于圆弧半径和表面粗糙度要求了。综合多方资料和经验，凹模收口部分的圆弧半径暂定为 R3，表面粗糙度在现有手段上越高越好。

## 4 试验结果

使用按此方案设计加工的冷挤压模具，在 250kN 手动液压机上进行了阀芯零件的冷挤压试验。首批进行了 6 件阀芯的试生产，其后又进行了 24 件的批生产，其冷挤压的工艺参数为：

实际挤压力： $F=80 \sim 120$  kN；

挤压速度：凸模向下位移速度 30 mm/min；

试验结果如表 1 所示。

表 1 阀芯冷挤压加工检查统计表

Tab.1 Inspection results of cold pressed valve core

检查项目	检查结果
零件挤压封闭特性	封闭状况良好
零件结构尺寸	挤压后符合图样要求
零件表面状况	无拉伤、开裂现象
模具表面状况	轻微磨损

## 5 几点经验

### 5.1 模具寿命

在模具材料选择上，为了节省成本和缩短加工周期，采用 CrWMn 作为模具材料。实践证明，模具寿命无法达到预期的效果。

### 5.2 零件挤压材料损耗

零件材料损耗还应进一步减少，挤出后的零件仍有较大飞边，并有因飞边剪切划伤模具的现象。

### 5.3 改进

首先，模具材料要进行锻造，以使材料组织致密、均匀，保证工作表面的质量稳定性。第二，模具热处理不能完全采用一般切削刀具高速钢的淬火方法，因为对于高速钢冷挤压模来讲，过高的淬火温度会降低冲击韧性与抗弯强度。第三，零件结构应增加圆弧过度，除工作收口部分外，其余各部分均应圆弧过度。第四，模具表面磨削量要尽可能小，以保证减少磨削微裂纹。

## 6 结束语

实践证明，采用冷挤压新工艺生产塑料—金属复合阀芯是可行的，并且有利于提高阀芯的产品质量，从而保证阀的工作可靠性。

采用推荐的工艺方案和模具设计方法设计制造的冷挤压模具，能够满足典型产品阀芯冷挤压生产工艺要求，首批制造的产品满足了产品的设计和使用要求，并很好地解决了在冷挤压中常见的开裂、扯断等问题。

（编辑：陈红霞）