

冷挤压技术应用

第三机械工业部三〇一研究所編

PDG

冷挤压技术应用

(内部资料)

第三机械工业部三〇一研究所

1972·1

技术經驗交流資料选編

冷 挤 压 技 术 应 用

*

第三机械工业部三〇一研究所編印

(內部資料)

*

1972年 1月 书号: 002

前 言

经过无产阶级文化大革命，一个推广冷挤压加工的技术革新运动，正在我部迅速开展。目前，一些工厂在应用这项技术方面取得了不少成绩和经验，为实现毛坯精化、少切削无切削加工又向前迈进了一步。实践证明，冷挤压成形的零件比切削加工的零件质量好，效率高，节省材料。这是一项体现多快好省地建设社会主义总路线精神的重要革新，它的应用为改变我部产品零件机械加工“细脖子”开创了一条新途径，有广阔的发展前途。

虽然冷挤压有很多突出的优点，但目前在我部的应用还不够普遍，在工艺上主要是机床压力、模具寿命和零件成形这三个问题还没有很好地解决。伟大领袖毛主席教导我们：“社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间的困难总是可以解决的。”只要我们坚决地按照毛主席的教导去努力，这些问题一定会很快得到解决的，冷挤压这项先进技术，一定会在我部广泛应用起来。

今年八月底在宝成仪表厂召开了三机部冷挤压技术经验交流会。为了进一步推广冷挤压技术革新的经验成果，使其为战备生产服务，我们把会议的经验交流材料汇编成这本资料。同时，我们将上海交通大学、五机部嘉陵机器厂和一机部济南铸造锻压机械研究所在会上的发言也选编在内。由于我们思想和业务水平有限，缺点错误在所难免，请同志们批评指正。

目 录

前 言

- (一) 冷挤压方案的选择及模具设计……………宝成仪表厂、三〇三所 (1)
- (二) 有关冷挤压的几个问题
……………根据上海交大在三机部冷挤压技术经验交流会上的发言整理 (28)
- (三) 托板螺母芯子的自动冷挤压……………松陵机械厂 (45)
- (四) 薄壁深圆筒形零件的冷挤压……………长凤机械总厂 (49)
- (五) 长铝管的冷挤压……………涪江机器厂 (52)
- (六) “帽”零件的冷挤压……………长虹机器厂 (57)
- (七) 摇臂的冷挤压……………武汉仪表厂 (63)
- (八) 铝质环状电容器和电工钢外壳的冷挤压……………新兴仪器厂 (66)
- (九) 棘轮零件的冷挤压……………长江机器制造厂 (76)
- (十) 不锈钢的电解磷化工艺……………庆安公司 (80)
- (十一) 磷化工艺和冷挤压模具新材料的选用、制造……………五机部嘉陵机器厂 (82)
- (十二) 试用新钢种提高模具寿命……………新兴仪器厂 (85)
- (十三) 采用摩擦压力机进行冷挤压……………宝成仪表厂、三〇三所 (86)
- (十四) 我国冷挤压压力机主要参数及生产厂……………一机部济南铸造锻压机械研究所 (92)

(一) 冷挤压方案的选择及模具设计

宝成仪表厂 三〇三所

一、概 述

冷挤压是冷冲压的一种，它是使金属毛坯在凸凹模压力的作用下，从模具型腔中挤压出零件的一种压力加工方法。冷挤压按金属流动方向与凸模的运动方向之间的关系，通常分为正挤压和反挤压两大类。

正挤压：金属的流动方向与凸模的运动方向相同。一般又分为实心件正挤压和空心件正挤压，如图1所示。

反挤压：金属的流动方向与凸模的运动方向相反，如图2所示。

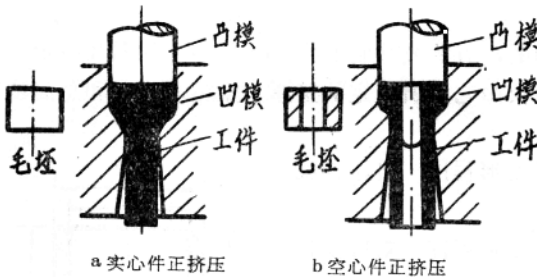


图1 正挤压

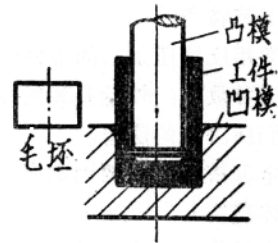


图2 反挤压

在实际生产中，单纯的正挤压和反挤压并不多，一般都是将正挤压和反挤压复合起来或其他变形方式如镦粗、拉深、缩口等复合起来，制造各种各样不同形状的复杂零件。随着这一工艺的发展，这种分类方法越来越不能满足实际生产的需要，尤其是反挤、正挤和镦粗复合起来，基本上可以制造现在用切削加工的大部分零件的毛坯。这一工艺如能和切削加工很好的结合起来，可以多快好省地制造各种各样的产品零件。这样，这一工艺从发展来看，统称为冷锻较为合适（为习惯起见，以下仍称冷挤压）。

切削加工是一种应用极为广泛的加工方法，但是随着战备生产任务的大幅度增长，这种加工方法越来越满足不了形势发展的需要，它主要有两大缺点：

1. 材料利用率极低，一般只有10~30%或更低。如我厂生产的某产品的浮子壳体，原材料利用率只有5.4%，而大部分金属材料却被切削掉。

2. 生产效率不高。即使是利用自动机加工，也不能满足社会主义建设日益增长的需要。

毛主席教导我们，要“多快好省地建设社会主义”。我们不能眼看着大量宝贵的金属材料变成废屑，不能依靠增人增设备来完成生产任务，我们要在无切削、少切削加工工艺上想办法、找出路，而冷挤压就是这样一种少切削、高效率的先进工艺方法。

采用冷挤压方法加工零件，材料利用率可高达90%以上，有时甚至可达100%，一般也能达到70%左右。生产率最高可达150件/分，一般一个工作班也可达数千件。

任何事物都是一分为二的，冷挤压也有它的局限性。如一些中间带凹槽的零件和精度较高的零件（2~3级精度以上），不能直接用冷挤压的方法加工出来。从挤压件材料来看，目前冷挤压的大都是一些塑性较好和较软的金属。当然随着冷挤压技术的发展，这些局限性将会逐渐被克服。

尽管冷挤压有很多优点，但目前这一工艺在我国应用还不够普遍，这除了上面提到的局限性外，还受到冲床压力，一些复杂件的金属流动规律的掌握和模具寿命的影响。总之，力量、成形和模具寿命这三大关键还没有彻底解决，尤其是模具寿命更为重要。

我们相信，随着革命形势的发展和生产技术的不断改进，这些问题都会很快得到解决的，冷挤压这一先进工艺一定会在我国广泛应用起来。

在毛主席革命路线指引下，我们根据战备生产的需要，在切削加工车间选了一些零件进行冷挤压试验。这里仅将我们在确定工艺方案和模具结构过程中的一些感受作以下介绍，应该说明的是，这些还仅仅是初步的，尤其是模具结构，还有待进一步考验。

二、反挤压工艺方案及模具

1. 工艺特点

通常用反挤压加工的零件一般为圆的，方的或其它形状的杯形件，如图3所示。反挤压件的几何参数有：外径D和内径d，以及由它们所决定的壁厚，空腔高度h和总高度H，以及由它们所决定的底厚。

决定反挤压的主要因素有三个，即变形程度，挤压件底厚和空腔高度h。

变形程度有很多表示方法，如百分变形程度，对数变形程度等，我们习惯采用百分变形程度。

$$\text{即 } \varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\%$$

式中： F_0 为凹模型腔断面积

F_1 为挤出部分断面积

对于圆形件反挤压，变形程度的计算公式可简化为

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\% = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)}{\frac{\pi}{4} D^2} 100\% = \frac{d^2}{D^2} 100\%$$

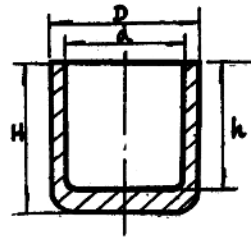


图3 反挤压件

一次挤压所允许的变形程度主要取决于被挤压材料的性能和模具寿命，而且在很多情况下，取决于模具寿命。如反挤压低碳钢件时变形程度达到85%或更高时仍能挤成零件，但模具寿命却很低，不能用于生产。

一般对于低碳钢，变形程度可控制在80%以下，纯铝可达95~99%，硬铝为80~90%，紫铜为90%以下，黄铜为80%以下等等。但是这些数据都是在一定条件下的产物，条件变了，所允许的变形程度也将起变化。

随着模具结构的改进，模具材料的改善，一次挤压所允许的变形程度，将逐渐接近于金属材料在这一条件下的塑性所允许的变形程度。

反挤压件的底厚，一般不要小于它的壁厚，其原因有二：

1. 当底厚小于壁厚时，挤压力急剧增大，这对模具寿命极为不利。

2. 当底厚小于壁厚时，在挤压件靠近底部的壁上，出现金属供不应求的现象，形成大圆角(如图4所示)，即挤压件底部形状与凹模底的形状不一致(不贴模)。

挤压件空腔高度 h 的数值由凸模的强度决定。

凸模的强度除取决于变形程度、挤压材料外，还在很大程度上取决于压力机的刚度、导向精度以及模架的精度和刚度。因而在实际生产中是一个变动较大的数值，我们挤低碳钢时 H 值达 $2d$ 。

2. 模具结构

在冷挤压试验生产中，我们采用了通用模架以适应多品种生产的需要和便于更换模具工作部分(见“采用摩擦压力机进行冷挤压”，过程不再叙述)。

这里所说的模具结构主要是模具工作部分即凸模、凹模、顶杆以及它们的组合。

(1) 凸模

在反挤压时，凸模承受较大的负荷，凸模工作部分的几何形状对单位挤压力、凸模的稳定性以及凸模的强度有很大的影响，因此设计模具时，必须充分注意。

在某种意义上讲，产品零件的使用要求基本上决定了凸模工作部分的形状。但从冷挤压工艺特点，即从单位挤压力，凸模稳定性及强度来看，有它的最佳几何形状。

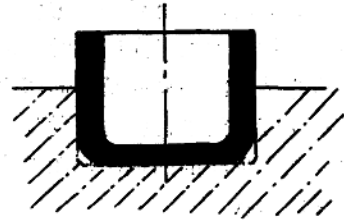


图4 当底厚小于壁厚时，反挤件不贴模

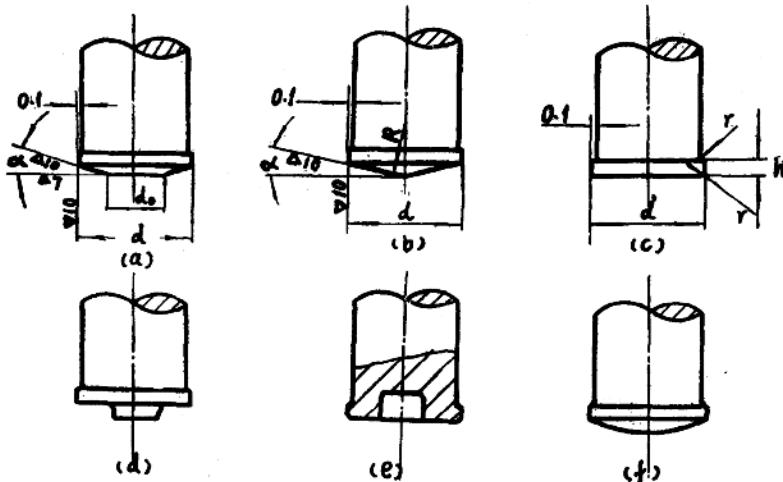


图5 反挤压凸模

从我们经常遇到的如图5所示的几种凸模工作部分的几何形状来分析：图5的a、b、f三种几何形状对降低单位挤压力和凸模强度有好处，但b和f在稳定性上不如a。而c、d、e三种结构所需单位挤压力较大，应尽量少用，必要时在变形程度小时可采用。若零件内径精度要求较高，需要辅以切削加工时，最好采用最佳凸模几何形状。

还有几点应注意的:

1) 圆角

凸模底部与定径带圆柱相连的部分要用圆角连接, 不能做成尖角。否则容易引起应力集中, 在挤压过程中剥落。另外尖角对金属流动和润滑不利。

2) 锥面和斜面

如图 5 c 所示的全平底部形状的凸模, 不利于金属的流动, 而且对凸模强度也不利。试验表明, 在材料承受三向压力时, 所表现的强度较好, 若将凸模底部做成倒锥台形状如图 6 所示, 这样挤压时凸模就受多向压力, 凸模内部就形成三向压应力状态, 在这种情况下, 凸模就能承受较大的单位压力, 并为金属流动提供了便利条件。

对于其它形状的凸模, 如图 5 中 e、d 所示的, 最好也有点倒锥的形状。

3) 空隙

凸模工作部分的定径带一般只有 2~4 毫米长就够了。而在其后直径较定径带部分小 0.1~0.2 毫米, 使其与挤压件内壁形成一定的空隙, 这样使金属流出定径带部分后, 就不再与凸模接触, 以减少其摩擦力, 从而也就减小了挤压力。但有时为了某些尺寸或封闭方面的需要, 也有不做成带空隙的。

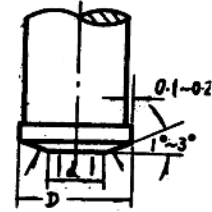


图 6 反挤压凸模

在反挤压时负荷较大, 为提高凸模稳定性和强度, 尽量将其做得短些。凸模各段的直径相差最好不要过大, 其过渡部分用较大的圆弧和锥面连接, 如图 7 b 所示, 以减少应力集中的影响。

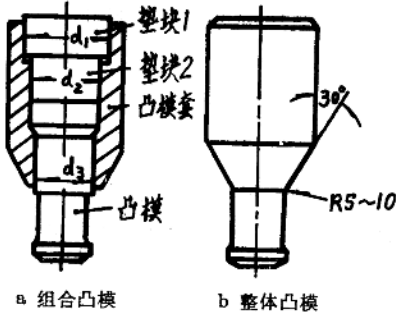


图 7 反挤压凸模

为此, 还可以采用组合凸模, 如图 7 a 所示。这样既可以减少应力集中的影响, 又可以在模具损坏时更换较小的凸模部分, 减少模具材料的消耗。

在组合凸模中, 套和垫分别用 45 号钢和优质高碳工具钢制造, 淬火后硬度分别为 HRC 48~52 和 HRC 52~56。

d_1 、 d_2 和 d_3 与凸模套的配合间隙为 0.01~0.03 毫米。

(2) 凹模

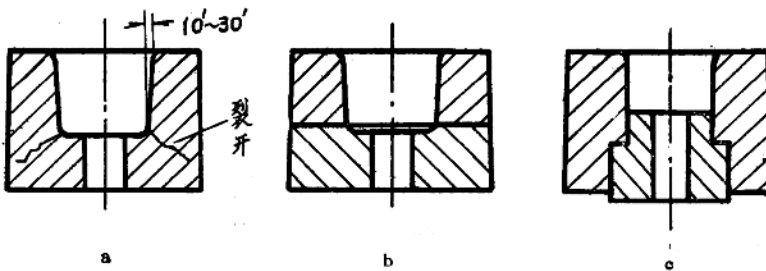


图 8 反挤压凹模

图 8 a 所示为整体凹模。在挤压时容易从壁部和底部的连接处开裂, 故在实际生产中很

少采用。

图 8 b 所示为水平分模的组合凹模。这种组合凹模在挤压过程中，金属容易挤入分模面，因而也很少采用。

图 8 c 为垂直分模的组合凹模，这种组合凹模克服了金属被挤入分模面的缺点，使用价值较大，但这样组合后，凹模底和下垫板的承压面积减小了，从而增大了垫板所承受的单位压力。为增大凹模底与垫板的接触面积，我们采取了增高凹模底厚和加大底部直径的办法，基本上解决了这一问题。同时也在凹模底的下部加予应力压圈，以加强凹模底的强度，如图 9 所示。

为了便于金属流动和易于顶卸零件，凹模腔壁应做成 $10\sim 30'$ 的倒锥度，有时为了使挤压件留在下模，也有将模腔做成直的。但绝对不能将模腔做成上小下大，这样将对金属流动不利和造成顶卸零件的困难。

凹模腔底的形状，对挤压力也有一定的影响。

平底的凹模腔如图 10 a 所示，金属流动困难。带有锥面的凹模腔底如图 10 b 所示，金属易于向外流动，可以减小挤压力。而球面的凹模腔底如图 10 c 所示，更利于金属向外流动，但金属毛坯在这种凹模腔中不稳定，容易使凸模漂移，形成挤压件壁厚不均，甚至使凸模折断。因此，若凹模腔底为球面时，毛坯和凹模腔需要有较紧密的配合才行。

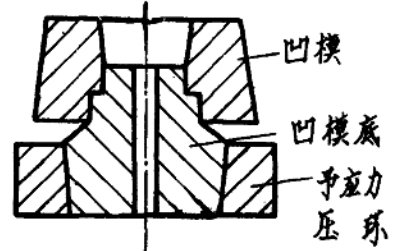


图 9 组合凹模

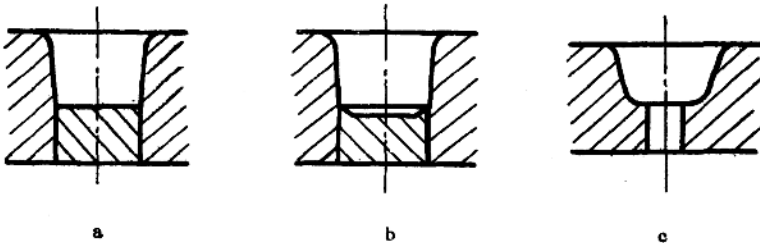


图 10 反挤压凹模型腔

凹模型腔的深度比毛坯挤满型腔的高度深 $1\sim 2$ 毫米就可以了。过深的凹模型腔必然导致凸模增长，这对凸模强度是不利的。

(3) 顶杆

顶杆和凹模组成下型腔，除了通常用的顶杆形式（如图 11 a 所示）外，我们还采用了另外两种形式的顶杆。

如图 11 b，是将凹模镶块底作顶杆，这样作强度较好，但需要在其下面加一厚大的底，以增大与下垫板的接触面积。

图 11 c 也是我们经常采用的一种顶杆。

这两种形式的顶杆，对于挤压件为平底或凹底时采用较为合适。

顶杆和凸模一样，应尽可能减小小应力集中的影响。

3. 典型零件实例

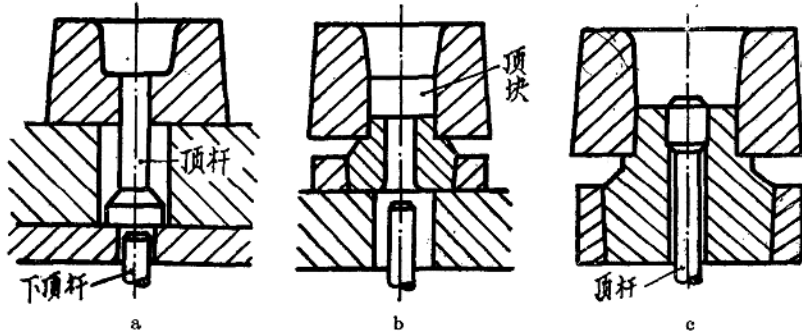


图11 各种顶杆

我厂反挤压的零件，一般有两种形式，即实心毛坯反挤压和空心毛坯反挤压，现分别举例如下：

(1) 转子帽盖的冷挤压

挤压件形状如图12所示

零件材料：硬铝LY11

变形程度 $\epsilon=80\%$

工艺流程：

1) 下料：毛坯选自棒料，在剪料模上用冲床下料。

2) 校形：剪料后两端面很不平整，须经整形工序校平。

3) 退火软化。

4) 冷挤压。

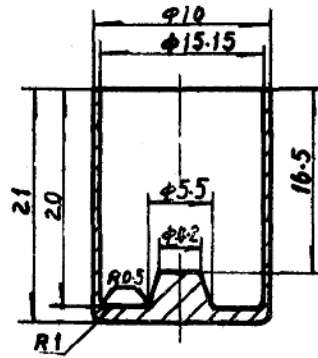


图12 帽盖挤压件

工艺分析及挤压时应注意的问题：

该零件是一个底部带有锥形凸台的零件，从零件形状、材料和变形程度等各方面分析，均具有良好的挤压工艺性，为此，我们确定采取一次成形挤出零件。

薄壁的铝和铝合金零件，在挤压时（特别是反挤压时）对润滑和凸凹模间隙等工艺参数的敏感性很强。因此，从机床、模具、毛坯制备到润滑等各方面都应严加注意，尤其是凸凹模之间的间隙、润滑剂的均匀和毛坯的准确平整更为重要，否则挤压件容易出现壁厚不均和弯扭开裂现象。

(2) 浮子壳体和浮子盖的冷挤压

浮子壳体和浮子盖挤压件形状如图13所示。

零件材料：原为38CrMoAlA挤压时改为20号钢。

变形程度 $\epsilon=80\%$

两零件原为车削加工，效率低，周期长，特别是内外球面难以加工，材料利用率很低，只有5.4%。如果能够改为冷挤压成形则可大大提高生产率和材料利用率。

从零件形状来看，这两个零件具有较好的挤压工艺性，但从零件材料和变形程度来看，则对冷挤压较为不利。所以我们决定用低强度高塑性的20号钢进行冷挤压试验，充分利用挤压时冷作硬化这一有利条件，提高挤压件的强度，使其达到38CrMoAlA的强度要求，试验

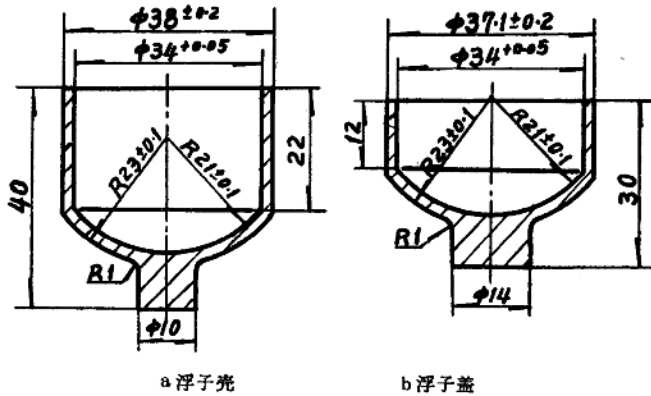


图 13

证明，这一办法是完全可行的。如原 38CrMoAlA 切削加工的零件硬度为 Hv88，而 20 号钢挤压后零件硬度为 Hv97。

由于两零件变形程度比较大，我们最初考虑挤压方案时，准备采取两道变形工序，即先挤压后变薄拉深使零件成形，这样会使辅助工序增多。后来，经过分析，我们认为虽然变形程度较大，但结合航空工业批量小的特点，即使模具寿命稍低，采取一次挤压成形还是可行的。

投产后的实践证明模具寿命能够满足生产的需要。

工艺流程如下：

- 1) 下料—在剪料模上用冲床下料；
- 2) 退火（按需要进行）；
- 3) 预成形；
- 4) 退火；
- 5) 去氧化皮（在振动去毛刺机上进行）；
- 6) 磷化；
- 7) 挤压。

下料后根据原材料供应状态不同，如为冷拔钢棒则需进行退火，然后预成形。如为热轧钢棒则可直接进行预成形。

在挤压这类零件时，毛坯预成形非常重要。由于零件底部为球面，因此凹模型腔也必须相应做成球面的，如图 14 所示的这种球面的凹模型腔如用一般片状毛坯进行冷挤压的话，则毛坯易于在型腔中滑动，定位不稳，从而引起凸模漂移，造成挤压件壁厚不均，甚至会使凸模折断。因此要求毛坯形状必须和凹模型腔的形状相吻合。

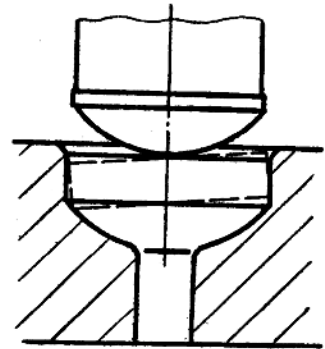


图 14 球面型腔

毛坯在预成形时可把零件端部 $\phi 10$ （浮子壳体）和 $\phi 14$ （浮子盖）的小轴挤压出一部分，这样使毛坯定位更为牢靠。

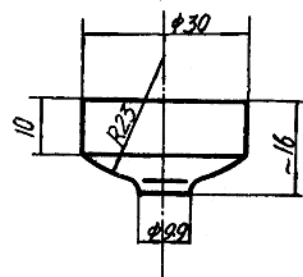


图 15 浮子壳、盖冷挤压毛坯

现在我们挤压该零件所选用的毛坯形状如图 15 所示。

由于零件底部是球面的，凹模本身难以组合，所以我们挤压时采用整体凹模，外面压有一层预应力压圈，如图16所示。凹模外径与预应力压圈内径配合部分采用 2° 的锥面配合，其轴向压合量为 $4\sim 6$ 毫米。使用时用油压机压平即可。凹模型腔直壁和球面相连接一定要圆滑，否则容易在连接处产生应力集中，而使凹模掉底。

浮子盖加工完后，在其内壁尚须焊接两V形块，如图17所示。两V形块的曲率半径须与浮子盖的内孔半径相一致，才能进行焊接，因此加工复杂，且焊接时也比较困难。我们遵照伟大领袖毛主席关于“人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进”的教导，在挤压成功浮子壳体和浮子盖的基础上，又对如图17所示的带两个V形块的零件进行了冷挤压试验，也已初步取得了成功。

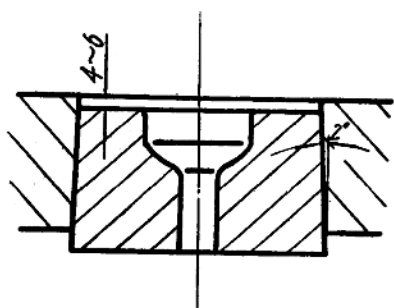


图16 浮子壳、盖冷挤凹模

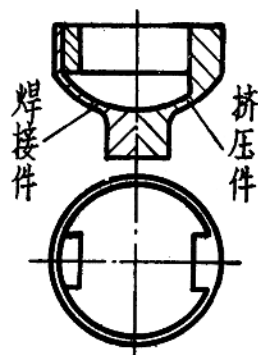


图17 带V形块的浮子盖

(3) 铜转子的冷挤压

转子1及转子2的挤压件图，分别如图18和图19所示，其材料原为50号钢，挤压时改为20号钢。

原工艺方法是用棒料在车床上加工，由于中间有个芯轴故不能钻孔，只能用车刀一点一点的车削，效率极低，每班只能加工二十余件。材料利用率转子1仅为29%、转子2为34%。改用冷挤后，一个班可生产400余件，材料利用率分别提高到80%和89%。

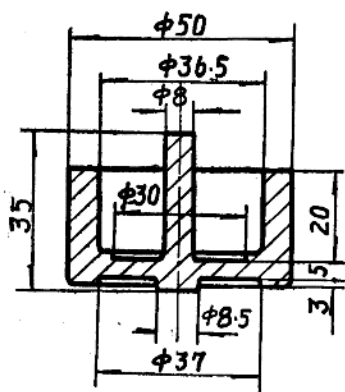


图18 转子(1)

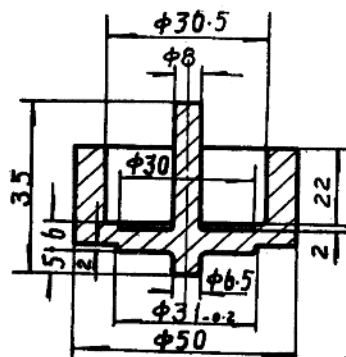


图19 转子(2)

关于这两个转子的冷挤压工艺过程，不在这里一一叙述了。仅将在试验中遇到的一些问题介绍如下。

两零件在反挤时主要问题是芯轴高度挤压不够，而外壁却挤压过高。达不到产品需要芯轴高于外壁的要求。

伟大领袖毛主席教导我们：“分析的方法就是辩证的方法。所谓分析，就是分析事物的矛盾。”芯轴挤不到产品要求的高度，矛盾在那里呢？经我们初步分析，主要原因是外壁的变形程度比芯轴的变形程度要小得多。在挤压过程中毛坯金属大量流向外壁，芯轴就挤不到应有的高度。为改变这种情况，我们采取了以下几个措施：

1) 在凹模底部增加阻力，适当减小金属向外壁流动的速度，将凹模底由锥面改为台阶，如图20a、b所示。

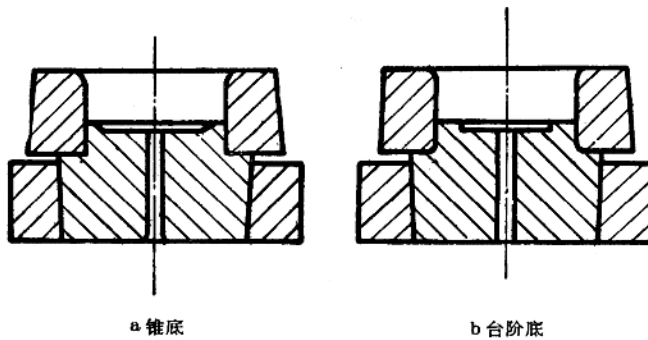


图20 转子凹模

2) 适当的增大芯轴的直径，将芯轴直径由5.5毫米改为6.5毫米，减小芯轴部分的变形程度。

3) 将凸模端面做成一定的锥面和增大凸模孔口的R，为金属流向凸模中心孔创造有利的条件。(图21)

采取以上措施后，情况有了基本好转，芯轴比以前挤得长了，但比产品要求的长度还短2~3毫米。

改变金属流动条件是取得了一定的效果。如果再在凹模上设法增加阻力或采取封闭挤法，即使壁部挤到所需高度后，让多余材料流向芯轴，效果会更好些，但这样挤压力大大增加，模具寿命不长。如再增大芯轴直径，但同时也就增加了切削余量，如在凸模上打注意，虽仍可再减小锥面锥度，不过凸模承受侧向压力势必增大，对凸模不利。

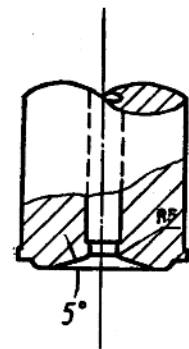


图21 转子挤压凸模

毛主席教导我们：“世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。”毛主席的伟大教导给我们开了窍，使我们认识到不仅要在模具设计上想办法，还得对毛坯形状进行变革，使它适应挤压变形的需要，于是我们将毛坯进行了预成形，其形状和尺寸如图22所示。这样一改变，芯轴顺利地挤到应有的高度，试验获得了成功。

我们曾用过小直径的圆柱形毛坯作过试验，芯轴成形亦较顺利。因毛坯定位困难，没有采用。

在反挤压这类零件时，我们认为底厚也是一个重要因素。芯轴的很大部分是最后挤出的，因挤到最后，金属向四壁流动的阻力增加了，而向中间孔流动阻力相对减小，最后形成芯轴。

对于芯轴要求更长的杯形件，如浮筒壳体的冷挤压，我们采用两次挤压成形，第一次先把芯轴挤到一定长度后，第二次反挤筒壁，其工艺流程如图23所示。

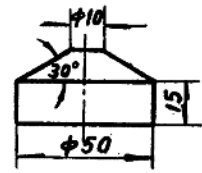


图22 转子1冷挤毛坯

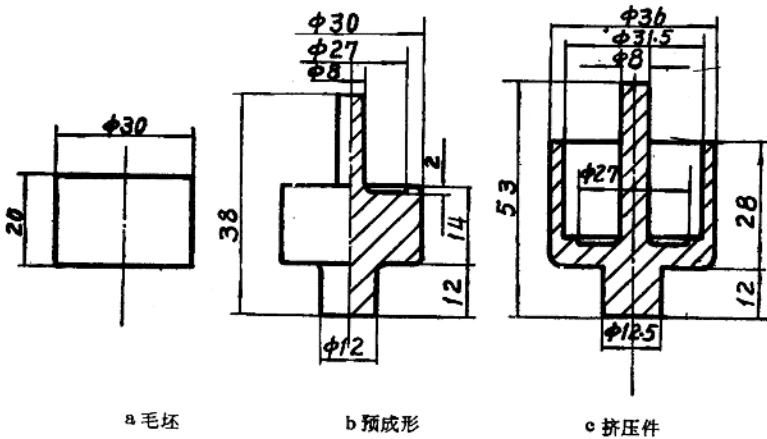


图23 浮筒壳体冷挤过程

另一个问题是，转子2的下半部有挤压不满的现象。为此我们在毛坯预成形时，将下部形状基本成形如图24所示。这样在挤压时只反挤壁部和芯轴了。

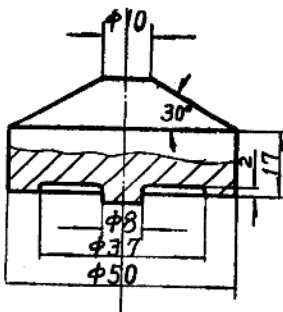


图24 转子2冷挤毛坯

(4) 定子壳体的冷挤压

定子壳体材料为20号钢，其挤压件形状与尺寸如图25所示。

1) 工艺分析

该零件用切削加工困难较多，工序长且材料利用率很低。采用冷挤压工艺较为合理，能节省材料，提高工效。

该零件的特点是内孔具有一对燕尾槽，形状较为复杂的筒形件。

如果采用正挤压，选用外径为60毫米，壁厚为8毫米的管料作毛坯，其变形程度 $\epsilon = 66\%$ ，对20号钢来说，可以一次挤压成形，但挤压件带在下凸模上，卸料装置较为复杂。

若采用棒料毛坯反挤成一般的杯形件，而后再冲孔或切削加工，其挤压变形程度 $\epsilon = 77\%$ ，由于挤压面积较大，挤压力也就要大。

我们认为采用管料毛坯反挤较为合适，它既可避免实心毛坯反挤时挤压力过大的缺点，又可使挤压件带在凸模上，利用卸料板退料，较为方便。

我们选用外径为50毫米、壁厚为10毫米的管料作毛坯，毛坯尺寸如图26所示。这样其挤压变形程度 $\epsilon = 64\%$ ，一次反挤就能挤出。

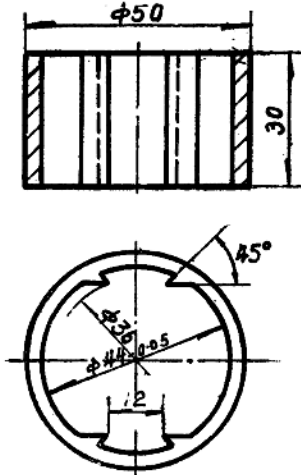


图25 定子壳体挤压件

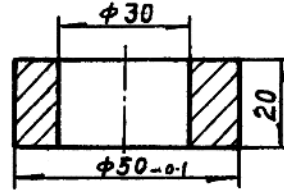


图26 定子壳体冷挤毛坯

该零件反挤成形的关键在于能否挤出合格的燕尾槽。这里要解决两个问题：

①从工作断面形状来看，在四个燕尾处比其它地方需要更多的金属材料，也就是毛坯金属在反挤过程中，除向上流动外，尚需要一部分材料流向燕尾处。

②反挤凸模在燕尾槽处有四个尖角，受力情况不佳，工作条件差。

2) 凸模设计

解决上述两个问题，矛盾的主要方面是凸模设计是否合理。

起先把凸模端部做成 120° 锥面，在燕尾槽端部其圆角半径做成2毫米，如图27所示。由于毛坯金属向外流动较快，燕尾处材料仍然是供应不足，因此挤压件四条燕尾棱角出现撕裂现象。我们遵照毛主席关于“一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成”的教导，抓住凸模设计这个主要矛盾，把燕尾槽处的圆角改成如图28所示的适当的圆弧，使材料便于向四个燕尾处流动，使燕尾成形问题基本得到解决。

凸模端部燕尾槽处的四个尖角，原设计是 30° 。（如图29所示）在试模中由于该处模具太单薄强度太低，造成凸模尖

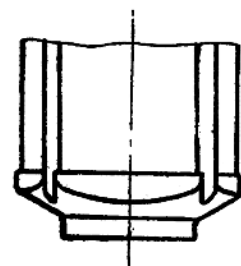


图27 定子壳体第一次试验用凸模

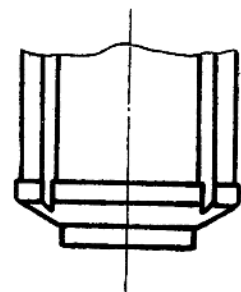


图28 改后的定子壳体凸模

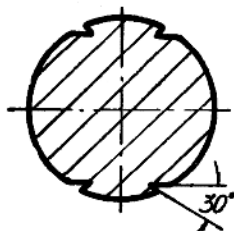


图29 定子壳体冷挤凸模

角处掉块的问题。在不影响产品使用的条件下，征得设计部门的同意，把30°尖角改成了45°，各转角处的清角改成为R0.5毫米的圆角。这样凸模强度有了较大的改善，减少了应力集中的影响，基本上解决了凸模尖角掉块问题。

3) 模具结构

用空心毛坯反挤定子壳体的模具结构如图30所示。

其特点

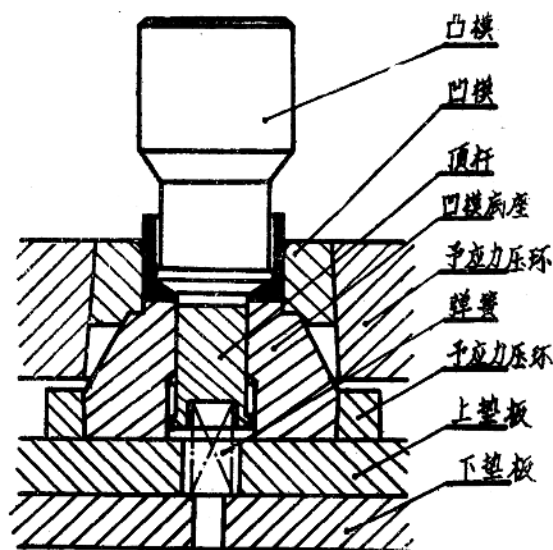


图30 定子壳体挤压模

①为避免空心毛坯内径在挤压过程中变形，我们采用了浮动顶杆。使凸模导芯和顶杆在挤压过程中始终接触，保证挤压件底部带孔。

②凸模端部带有一定长度的导芯，保证在挤压过程中毛坯金属不被挤入凸模与顶杆接触面之间而造成连皮。

三、正挤压工艺方案及模具

1. 工艺特点

正挤压件有两种基本类型（图31），即实心件正挤压 a 和空心件正挤压 b。

对于正挤压件来说，变形程度是个重要因素。

对于回转体实心件，变形程度为：

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\% = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) 100\%$$