



# 目 录

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 绪 言 .....                   | (1)   |
| 第一章 孟子制造 .....              | (5)   |
| § 1.1 概述 .....              | (5)   |
| § 1.2 冲孟 .....              | (9)   |
| § 1.3 冷挤孟 .....             | (17)  |
| § 1.4 热挤孟 .....             | (31)  |
| § 1.5 覆铜钢板制造 .....          | (42)  |
| 第二章 变薄引伸原理 .....            | (44)  |
| § 2.1 概述 .....              | (44)  |
| § 2.2 变薄引伸变形过程的力学分析 .....   | (45)  |
| § 2.3 总引伸应力与引伸力的确定 .....    | (54)  |
| § 2.4 变薄引伸的加工极限 .....       | (56)  |
| § 2.5 多模变薄引伸的力学分析 .....     | (61)  |
| § 2.6 单模连续引伸的力学分析 .....     | (67)  |
| § 2.7 变薄冲孟的变形力学分析 .....     | (69)  |
| 第三章 药筒(弹壳)制造 .....          | (73)  |
| § 3.1 工艺过程综述 .....          | (73)  |
| § 3.2 工艺设计 .....            | (79)  |
| § 3.3 药筒材料 .....            | (81)  |
| § 3.4 毛坯尺寸确定 .....          | (86)  |
| § 3.5 末次引伸模具设计 .....        | (90)  |
| § 3.6 末前次引伸模具设计 .....       | (94)  |
| § 3.7 中间各道引伸模具设计 .....      | (107) |
| § 3.8 计算机辅助多模引伸模具设计 .....   | (114) |
| § 3.9 计算机辅助药筒末前引模模具设计 ..... | (117) |
| § 3.10 弹壳的打凹与平底 .....       | (125) |
| § 3.11 药筒的压锥及压底 .....       | (132) |
| § 3.12 收口 .....             | (142) |
| § 3.13 切口 .....             | (153) |
| § 3.14 冲传火孔 .....           | (155) |
| § 3.15 弹壳的检验与验收 .....       | (158) |
| 第四章 弹头零件制造 .....            | (161) |
| § 4.1 弹头壳制造 .....           | (162) |
| § 4.2 铅件制造 .....            | (171) |
| § 4.3 钢心制造 .....            | (175) |
| § 4.4 斜轧基础知识 .....          | (179) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| § 4.5 斜轧钢心.....                   | (185) |
| <b>第五章 热处理</b> .....              | (193) |
| § 5.1 再结晶退火.....                  | (193) |
| § 5.2 低碳钢的淬火与调质.....              | (196) |
| § 5.3 低温退火.....                   | (201) |
| § 5.4 无氧化加热 (保护炉气) .....          | (204) |
| <b>第六章 表面处理</b> .....             | (208) |
| § 6.1 概述.....                     | (208) |
| § 6.2 表面净化处理.....                 | (209) |
| § 6.3 磷化处理.....                   | (214) |
| § 6.4 钝化.....                     | (218) |
| § 6.5 电泳涂漆.....                   | (219) |
| <b>第七章 枪弹装配</b> .....             | (224) |
| § 7.1 弹头装配工艺.....                 | (224) |
| § 7.2 燃烧剂与曳光管.....                | (229) |
| § 7.3 弹头装配的主要工序.....              | (233) |
| § 7.4 枪弹底火制造.....                 | (239) |
| § 7.5 成弹装配工艺.....                 | (240) |
| § 7.6 成弹装配的主要工序.....              | (241) |
| <b>第八章 枪弹药筒验收与主要质量问题分析</b> .....  | (250) |
| § 8.1 枪弹的验收.....                  | (250) |
| § 8.2 靶场射击试验.....                 | (256) |
| § 8.3 枪弹射击试验中出现的弹壳质量问题及其原因分析..... | (262) |
| § 8.4 枪弹射击试验中出现的弹头质量问题及其原因分析..... | (269) |
| § 8.5 枪弹射击试验中出现的底火质量问题及其原因分析..... | (275) |
| § 8.6 药筒的验收试验.....                | (277) |
| § 8.7 药筒验收时出现的质量问题及其原因分析.....     | (280) |
| <b>参考文献</b> .....                 | (283) |

# 绪 言

## 一、我国枪弹、药筒制造业取得的成就

40 多年来,我国的枪弹、药筒制造业经历了仿制、改进和自行研制三个阶段。目前已能研制各种枪弹和药筒,能生产质量很高的枪弹和火炮药筒装备部队。并具有外贸出口的能力。40 多年来取得的主要技术成就如下:

(1) 研制成钢弹壳、钢药筒。过去药筒都是用黄铜制造的,枪弹则有黄铜和覆铜钢材料制造。由于研制成用钢棒为原料生产钢弹壳(药筒),因此材料利用率高,省去了铜板或覆铜钢轧制设备(解放前由于没有覆铜钢轧制设备,从国外进口覆铜钢孟子生产枪弹),增加了材料的战时动员性,降低了产品成本。

钢药筒(弹壳)的研制攻克了原材料(成分、性能等)、冲压中的润滑、模具寿命、产品防腐、产品图的更改、射击性能等许多技术难题,是一项重大研究成果。枪弹、药筒工厂是我国最早掌握钢冷挤压工艺的工厂。这项研究始于 50 年代末,60 年代中期已成功地进行生产。然后在民品中逐渐推广。

(2) 合并和简化工序。最早仿制的覆铜钢弹壳工序多达 36 道。经过改进后工序缩减了近一半,这就大大节省了设备、人力和厂房,缩短了生产周期。

(3) 研究成多模引伸工艺。最早弹壳或药筒引伸次数多达 4~5 次,每次引伸后都要退火和酸洗(去除氧化皮),因此工序数很多。采用多模引伸工艺后可以把引伸次数缩减至 1~2 次。这就极大地减少了辅助工序(非冲压工序),同时也增加了末次引伸的加工率,提高了弹壳下体部的强度。未采用多模引伸的药筒厂则减少引伸次数也取得了成果。

(4) 设计制造出多冲头、多工位、高转数、高效率的机床,代替了旧的单冲头、单工位的机床。还制造了组合机床,使几个工序合并在一台机床上,由一个工人操作,节省了人力和场地。还设计制造了弹头壳制造、弹头装配和成弹装配转子自动线。

(5) 采用了中频、高频感应加热,代替了过去电阻加热炉,提高了热效率,改善了劳动条件,缩短了加热时间,提高生产效率 20 多倍。

(6) 采用涂内口工艺,解决了过去枪弹密封性不良的问题,改善了枪弹的长期储存性能。

(7) 采用了电泳涂漆工艺,解决了钢质弹壳的长期储存问题。

(8) 采用了不少热处理新工艺,提高了产品性能,解决了不少产品质量问题。如低碳钢调质提高钢的综合机械性能,低碳钢淬火获得低碳马氏体提高钢的强度,穿甲钢心局部回火提高穿甲率等。此外还有利用药筒热挤孟后的余热进行淬火等工艺,既利用了余热,又改善了产品性能。

(9) 利用冲压加工代替切削加工。如小口径穿甲弹钢心用冲型后磨尖代替过去的切削加工;大口径穿甲弹心热斜轧成型代替过去的车削钢心。

(10) 采用电子技术进行检测,提高了精度和效率,如电校量机、光电检孔机、靶场的电子测时仪等。

## 二、与国外先进水平的差距

近年来与国外的商贸洽谈和技术交流明显增加，使我们有机会见到国外的枪弹药筒生产情况。对比之下，我国还存在以下不足：

(1) 生产设备数量多而陈旧。与国外相比，同样产量条件下，我国所需的设备台数、工人总数和所占厂房总面积多。劳动生产率等技术经济指标不高。从外贸角度看也是缺乏竞争力的。

此外，我国枪弹厂的设备更新缓慢，超期服役（以 15 年计）的设备超过 40%，大部分是 50 年代的设备。因此精度差，互换性差，生产效率低。

(2) 工模具加工精度不高。国外模具加工精度以  $\mu$  计，相当于我国的量具公差。由于精度高，生产出的枪弹一致性高。

(3) 包装和检验工序的手工操作多，包装还没有机械化。

(4) 成品表面处理质量和色泽不如国外。尤其是黄铜制品，日久即失去光泽。

(5) 尚未实现无氧化退火，实现此工艺后可以省去酸洗等表面处理工序。

## 三、国外枪弹生产的基本模式

从已掌握的技术资料分析，国外小口径枪弹有三种模式。

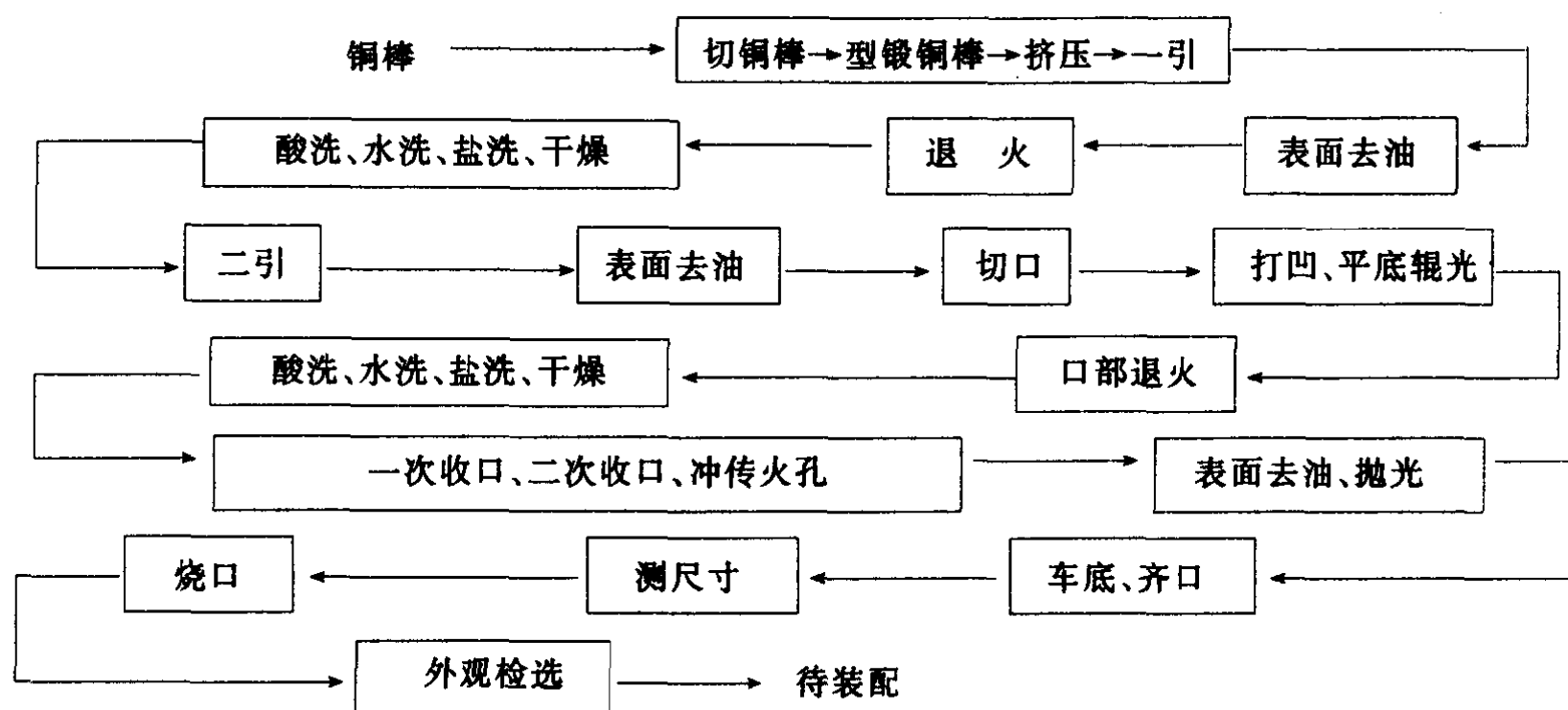
(1) 美国湖城兵工厂枪弹生产模式。美国湖城兵工厂耗资 1.02 亿美元建成当今世界上自动化程度、生产效率和可靠性最高的小口径枪弹制造系统（SCAKP 系统），该系统中每条生产线每分钟生产 1200 发，生产工人 328 名，辅助工人 142 名，枪弹废品率仅为 2~3%，生产效率比常规方法高十倍。

这条生产线生产 5.56 毫米枪弹，是以转子型结构为主组成的自动线，单班年生产力为 1.5 亿发。包括弹壳制造子系统、压底火子系统、弹头制造子系统、装药及装配子系统、弹道试验子系统、过程质量子系统、包装子系统，共计 43 台转子设备。是目前世界上生产枪弹专业化最强的生产模式。由于投资费用昂贵，生产能力过大，技术难度大，我国不宜仿效此种模式。

(2) 西德、比利时模式。西德维茨、惠勒公司给泰国皇家军队枪弹厂提供的小口径枪弹生产线报价单，是以单工序、单台设备为主的连线生产模式，其中用于弹壳生产 42 台、弹头生产 26 台、装配生产 16 台、共计 34 个工序、84 台设备，设备有效利用率为 75%，每分钟理论产量为 480 发。

比利时 FN 公司的生产模式也是以单机为主连线生产方式，其中弹壳生产线 22 台设备，弹头生产线 22 台设备，成弹装配线 13 台设备，共计 57 台单机或组合机床。

(3) 法国模式。法国马特拉·麦努汉公司枪弹厂的生产模式是以单机和组合机床连线组成的 5.56×45 毫米枪弹生产线。其中弹壳生产线由 12 台单机和 4 台组合机床连线组成，弹头生产线由 14 台单机和一台组合机床连线组成，成弹装配由 3 台组合机床连线组成，共计 26 台单机和 8 台组合机床，即由 34 台机床组成，单班年生产能力为 3000 万发。这个模式是我国枪弹厂技术改造的方向。以 5.56 毫米铜弹壳为例，其工艺流程和所用的设备如下（一个方框即为一台设备）：



我国枪弹生产基本上是这种单机与组合机床联线模式，并采用多冲、高转数，只是组合的工序略有不同。

#### 四、枪弹药筒生产的特点

战时弹药的消耗量是惊人的，据二次世界大战的资料介绍，50架飞机空战一分钟可以消耗30万发枪弹。当今战争中每杀伤一个有生目标和每摧毁一个工事所消耗的枪弹和炮弹（含药筒）数量将大大增加。

弹药的消耗量大，对其质量的要求也高。每个军工生产人员必须牢固树立“军工产品，质量第一”的思想，决不能因产品质量而影响部队的战斗力，甚至贻误战机。

弹药制造中不可能对每一个产品都进行性能试验，因为目前对弹药的性能试验都是破坏性的（称为试验的不可复性），这就给生产提出更高的要求，即生产出的产品（至少在同一批中）应具有一致性，这样才能使抽验的产品具有代表性。为此生产工艺必须稳定，并严格控制各种工艺参数（包括工具公差等）。

由于枪弹、药筒具有需要量大、质量与互换性要求高以及试验的不可复性（有的药筒在非战争时期，经整修后可以复装使用）等特点，因此决定其生产特点为：

（1）工艺上采用冷冲压和冷锻（冷挤压）方法。因为冷锻和冷冲压工艺具有生产率高、省材料（属少无切屑加工）、便于实现生产自动化等优点。更主要的是可以利用冲压加工中的加工硬化提高产品的强度，使之达到钢药筒要求的70MPa以上，这是其它加工方法无法实现的。药筒要求在各个不同部位具有不同的强度（对弹壳则用硬度表示），就是利用冲压与热处理（退火或淬火）相结合的方法达到的。

（2）设备方面：采用高生产率的冲床和机床，这些机床的特点是自动送料、高转数、多头（多冲）、多工位、多工序组合。热处理设备多采用高频或中频感应加热方式，并向无氧化加热方向努力。工序间采用自动传送工件。在国外为了节省厂房面积甚至把表面处理和冲压都安排在同一厂房内。

（3）检验方面：工序中的检验广泛采用界限量规和专用量具。零部件及成品100%的进行检验，尺寸及重量的检验采用专用的较量机和称量机，可以自动剔出不合格品，并分类堆放。外观检验已半机械化，并向全自动化方向努力。由于射击试验的不可复性，采取编批后抽样检验法。

(4) 模具方面：采用容易装卸和调整的结构，及寿命高的硬质合金凹模，以减少换模时间和提高产品的一致性。

(5) 生产组织方面：每个车间在一段时间内只生产一个零部件，机床按加工顺序作流水线布置。

(6) 工艺规程必须仔细而慎重地制定，并在操作中严格执行。对于生产中每个环节的任何一点疏忽都会造成很大的损失。

战时对枪弹药筒的需要量是很大的，因此平时应有较大的储备，并更加注意提高质量，改进工艺和设备，研制新产品。非战争期间枪弹仅供给部队训练和演习的消耗，因此产量是不大的，可以进行民品生产，以充分利用现有设备和人力，但由于枪弹、药筒生产设备中专用设备较多，开展民品生产的难度较大。药筒厂生产高压气瓶是较适宜的，枪弹厂则生产小冲压件，尤其是变薄引伸件，或深引伸件。

枪弹的年产量是以亿计数的，因此生产中点滴的节约累计起来也是非常可观的。

# 第一章 孟子制造

## § 1.1 概 述

药筒和枪弹零件都是圆筒形，制造这些零件时首先要制得一个杯形毛坯（这在军工厂中称为孟子）。杯（孟）形零件的传统制造法是冲下一个圆片，再拉深成孟子（军工厂称为冲孟），见图 1-1 (a) 这种成型方法的最大缺点是材料利用率低，例如对小口径枪弹，采用长料七行交错排样时，材料利用率只有 70% 左右。对大口径零件由于行数少、长度短，材料利用率更低。

弹药是大量消耗的，枪弹成本中原材料占 80%，充分利用材料，降低消耗，无疑具有很大的经济意义。为此，长期以来人们在提高材料利用率（主要是改变毛坯形状）方面作了许多努力，现简述如下：

### 一、各种成孟方法简介

#### 1. 长方形片料挤圆后冲孟（图 1-1 b）

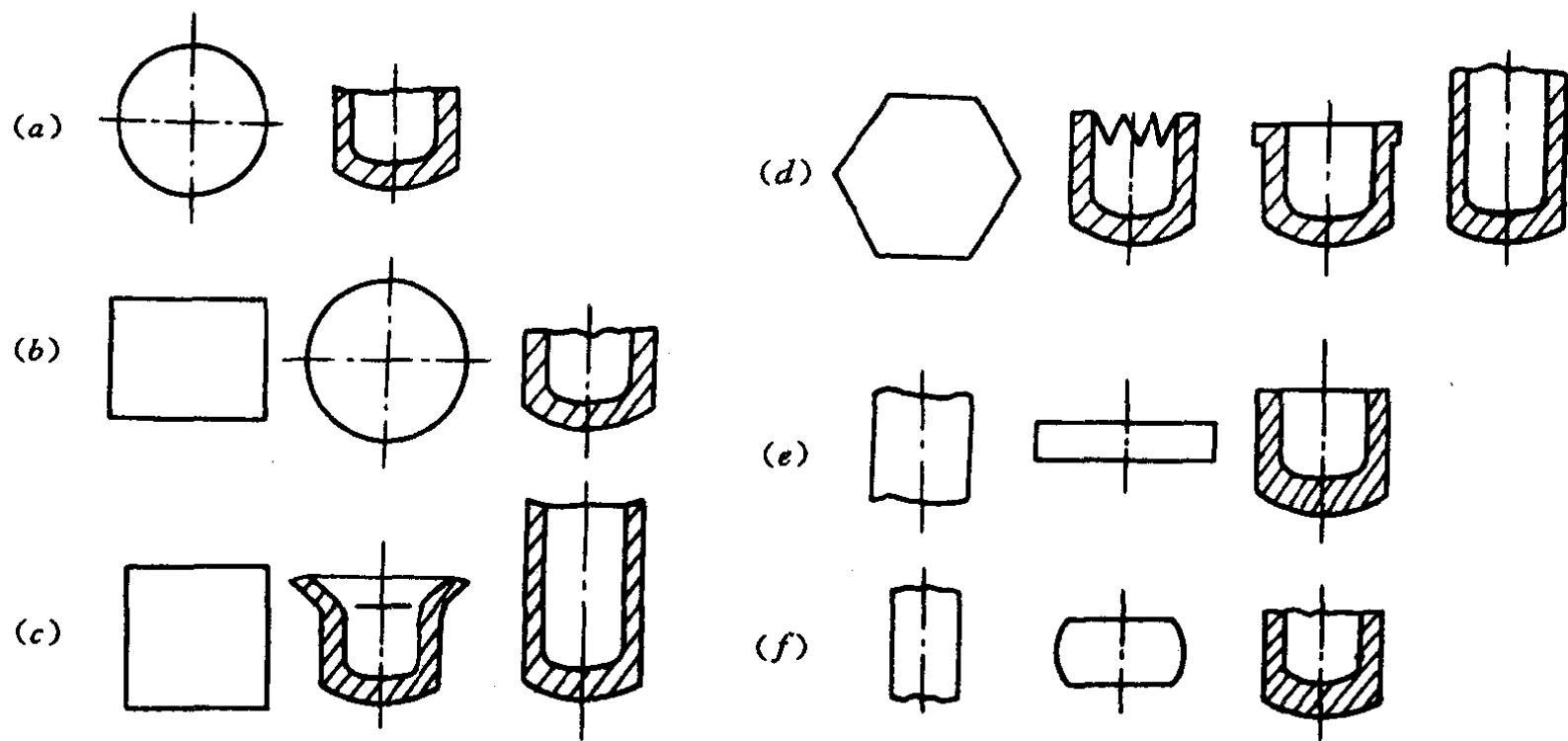


图 1-1 各种成形孟子的方法

(a) 圆片冲孟；(b) 长方片挤圆后冲孟；(c) 四方片挤孟；

(d) 六角形片料冲孟后微平；(e) 棒料微成片料后冲孟；(f) 棒料挤压成孟

长方形片料可以用剪床切下，这种形状的毛坯，理论上讲材料利用率可达 100%。挤圆是利用图 1-2 所示的两个带半圆的模板的错动，把长方片挤成圆形的。此法在大口径黄铜弹壳制

造中曾经试用过。但挤圆模具复杂，挤出的圆片厚度不均，故没有推广。

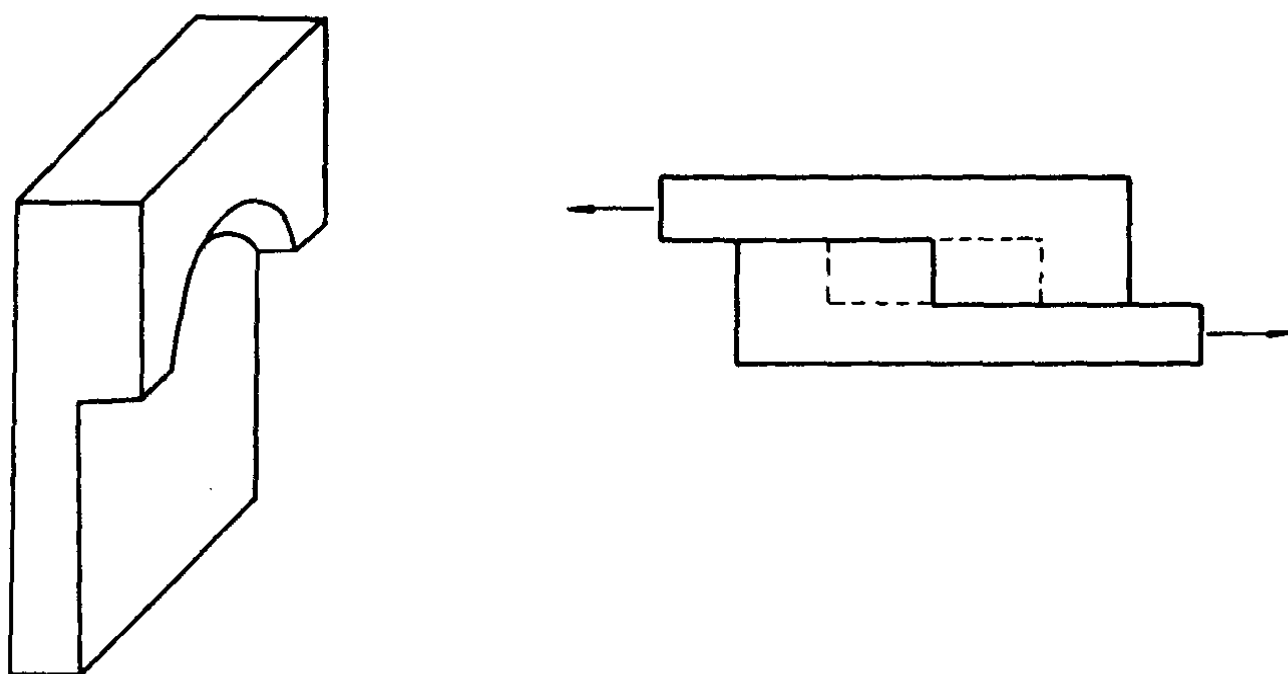


图 1-2 长方坯挤圆方法

### 2. 方形片料冲挤成圆盂 (图 1-1 c)

如果用方形片料直接冲盂，则孟子口部出现四个尖角，如果冲盂到一定深度后在方形凸缘处沿厚度方向进行挤压 (图 1-3)，根据最小阻力规律，方形凸缘将变圆，用这种孟子引伸后的口部是平齐的。这种方法极大地提高了材料利用率。由于口部挤薄，因而可以减少引伸次数。因为由方变圆需要有一定的厚度变薄量，因此适于较厚材料的成形，如弹壳。其缺点是很难实现送料自动化 (因是无搭边排样)，多排冲压时模具结构复杂，更主要的是它不适合覆铜钢零件的生产，因为在凸缘挤压时厚向流出的金属都无覆铜层，给防腐处理增加了难度，也影响美观。

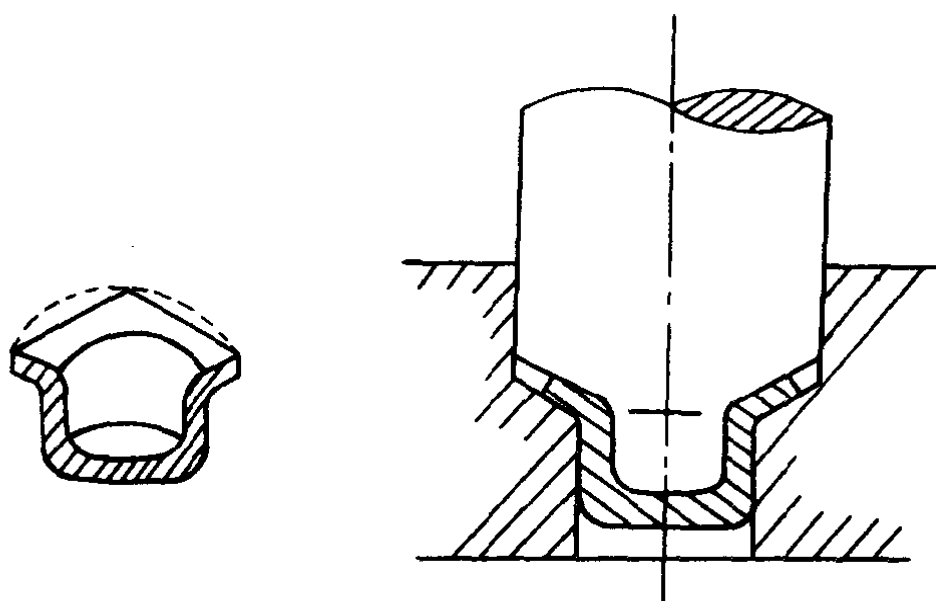


图 1-3 方形片料冲挤成圆盂

### 3. 六角形片料冲盂后锻平成盂 (图 1-1 d)

六角形毛坯的排样属少搭边排样，多行排样时其材料利用率可达 90% 以上。六角形毛坯

冲孟后孟子口部有六只  $120^\circ$  的尖角，必须予以墩平后才能使用。

图 1-4 是一次能冲出七个孟子的六方毛坯的排样。冲压的第一步是预冲，即冲去端部的边料。第二步是正常的下料冲孟。由于凹模有一定壁厚，为使凹模能布置得下，只能 1 行和 8 行同时冲压。因此正常冲压开始三个行程只冲下 2、4、6 行的毛坯，第四个行程开始时 1、8 行同时冲压，进入正常冲压。可以想象当条料冲完时，剩下的料头将是由 1、3、5、7 组成的四个长料。因此必须进行第三步，即冲料头。

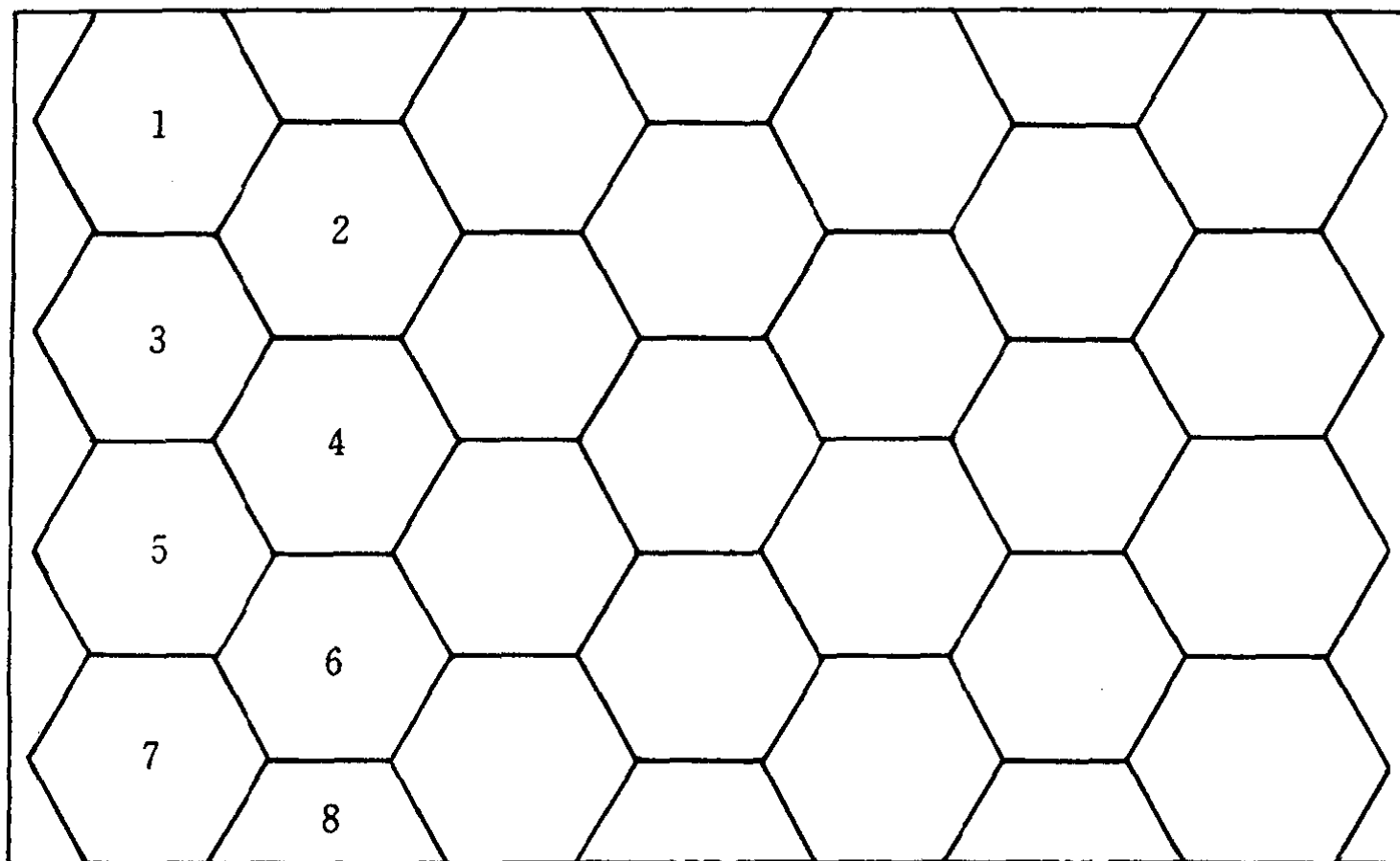


图 1-4 六角形毛坯的下料冲孟

用六角形毛坯制造孟子虽可节省不少原材料，但缺点不少，因此没有推广。其缺点是：

- (1) 模具数量多，至少需要三套。
- (2) 下料冲孟凹模制造困难。
- (3) 送料自动化难于实现，因是少搭边排样。
- (4) 口部墩平工序废品率高，金属很难密合，在以后的加工或射击时产生破口。

#### 4. 棒料切断后墩成圆片冲孟 (图 1-1 e)

这种方法与板料冲孟之不同处在于片料不是由板料截取，而是从棒料直接制取，其优点是材料利用率高，尤其对大口径药筒，因为大口径药筒板料冲孟的材料利用率很低。但它增加了加热和表面处理工序。此法多应用于中口径药筒的制造。

#### 5. 棒料切断后直接挤压成孟 (图 1-1 f)

随着表面处理、防腐处理和模具制造水平的提高，钢的冷挤压工艺已为人们所掌握。目前三七口径以下的药筒（弹壳）都用钢棒作原料，直接冷挤成孟子。这种方法的优点是材料利用率最高，是最理想的毛坯形状和生产方法。小口径药筒棒料毛坯的切断是采用无切屑加工方法，因此材料利用率接近 100%，直径大的棒料切断采用车切或锯切，材料利用率略低些。由于冷挤压需要较大吨位的压力机，所以大口径药筒都采用热挤孟成型。

成孟的方法虽然很多，但目前在枪弹与药筒制造中仅用冷冲孟（包括棒料下料后墩成片料再冷冲孟）、冷挤孟和热挤孟三种，现对这三种成孟方法作一对比。

## 二、冷冲、冷挤、热挤三种成孟方法的对比

### 1. 冷冲孟法（指由板料直接冲孟方法）

优点：

- (1) 孟子精度和表面质量好；
- (2) 模具寿命高；
- (3) 生产率高，便于自动送料，可采用复合工序（下料冲孟）和多冲（七冲）下料冲孟；
- (4) 劳动条件好。

缺点：

- (1) 材料利用率低；
- (2) 允许变形程度较小；
- (3) 金属流线不理想，在孟子底部金属流线与板料轧向平行，制成弹壳后如抓壳钩作用在与流线垂直的位置，则对强度是很不利的。

对于用棒料下料后锻成薄饼再冷冲孟的方法，它具有冷冲孟的优点，还有材料利用率高和金属流线有所改善的优点，其缺点是增加了热锻饼工序和由此带来的加热、酸洗等设备和辅助工序。

### 2. 冷挤孟法

优点：

- (1) 材料利用率很高；
- (2) 孟子精度和表面质量高；
- (3) 金属流线对抽壳时受力有利；
- (4) 室温下操作，劳动条件好，便于自动化，故生产率高。

缺点：

- (1) 挤压力大，使压力机吨位大；
- (2) 模具寿命低。

### 3. 热挤孟法

优点：

- (1) 挤压力小，比冷挤小4~8倍，因此使用的压力机吨位较小；
- (2) 允许变形程度大，可以一次挤压出薄壁、长体的孟子，减小引伸次数；
- (3) 与冷挤压相同，有理想的金属流线；
- (4) 可以利用挤压后的余热进行热处理（如调质），改善机械性能。

缺点：

- (1) 孟子精度和表面质量差，必须增加外旋工序（车去孟子的外层），因而降低了材料利用率；
- (2) 劳动条件差，因为高温操作，所以高温、润滑油的挥发、石墨（润滑剂）的污染，使工作环境很差；
- (3) 模具寿命低；
- (4) 生产率低，不易实行机械化。

这三种孟子成型方法可作一对比（见表1-1）：

表 1-1 三种孟子成型方法优缺点的对比

| 比较项目  | 冷冲孟 | 冷挤孟 | 热挤孟 |
|-------|-----|-----|-----|
| 变形力   | 最小  | 最大  | 较小  |
| 尺寸精度  | 很好  | 最好  | 最差  |
| 表面质量  | 很好  | 最好  | 最差  |
| 模具寿命  | 最高  | 较低  | 最低  |
| 机械化程度 | 最高  | 较高  | 最低  |
| 生产率   | 最高  | 较高  | 最低  |
| 劳动条件  | 最好  | 较好  | 最差  |
| 材料利用率 | 最低  | 最高  | 较高  |

由上面的对比可以看出,各种成型方法都有其突出的优点和缺点。其中热挤孟的缺点较多,但其突出的优点是成型所需压力机的吨位小(见表1-2)。为避免使用大吨位水压机,我国大、中口径药筒都采用热挤孟工艺,其中中口径药筒也有采用棒料热锻饼后冷冲孟工艺(大口径药筒因锻薄饼难度较大,故不采用此冷冲孟工艺)。冷挤孟的优点较多,且我国已熟练地掌握了此项技术,故从小口径药筒(37mm以下)和各种口径的弹壳都用冷挤压工艺制造孟子。板料冷冲孟的突出优点是生产率高(能自动送料和多模同时冲孟)因此广泛用于产量极大的各种枪弹零件的孟子制造。

表 1-2 冷挤与热挤的变形力对比(计算值)

| 药筒口径/mm   |           | 57    | 85    | 152   |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| 冷挤孟       | 单位挤压力/MPa | 1705  | 1744  | 1842  |
|           | 总挤压力/kN   | 11437 | 15396 | 39239 |
| 热挤孟       | 单位挤压力/MPa | 216   | 284   | 431   |
|           | 总挤压力/kN   | 1450  | 2509  | 9183  |
|           | 所用水压吨位/kN | 2940  | 4900  | 11760 |
| 冷挤压力/热挤压力 |           | 7.9   | 6.1   | 4.3   |

## § 1.2 冲 孟

### 一、弹壳(药筒)冲孟的特点

弹壳(药筒)冲孟工序的一个任务是分配其底部和体部的金属量,即冲孟后孟子体部的金属在成品时为药筒的体部,而底部的金属经以后的压底等加工而成为药筒的底部。由于药筒结构上的特点——厚底薄壁,因此其冲孟工序与一般板料冲压中的拉深相比有以下特点:

#### 1. 毛坯的相对厚度 $t/D$ 很大

毛坯厚度  $t$  比药筒的底厚还要厚,因为要利用压薄底部时的加工硬化来提高药筒底部强度,因此其相对厚度  $t/D$  很大,一般为  $0.12 \sim 0.15$  (取决于药筒结构),比一般板料冲压中的拉深毛坯高出十倍以上,例如 56 式 7.62mm 弹壳的  $t/D = 3.06/20.8 = 0.147$ , 122mm 药筒冲孟毛坯的  $t/D = 20.6/149.5 = 0.138$ 。

#### 2. 都采用壁变薄冲孟

由于  $t/D$  大,因此无压边装置。由于体部金属量很少,加之毛坯厚度大,所以被分配到

孟子体部的金属量是很少的，即冲孟的直径变形量  $(1-d/D)$  很小，对药筒为 0.25~0.30，对枪弹弹壳为 0.30~0.40。为了提高一次冲压中的变形程度，都采用壁变薄的冲孟，即在冲孟模中同时使毛坯直径和壁厚都减小，并在冲孟模下再增加一个凹模使壁再变薄。

### 3. 孟子内角的圆角半径很小

从板料拉深成型工艺性出发，要求孟子内圆角半径（即冲孟凸模圆角半径）为  $(3\sim5)t$ 。而弹壳（药筒）冲孟凸模圆角半径为  $(0.3\sim0.8)t$ 。这是因为成品的内底圆角半径很小（如 56 式 7.62mm 弹壳为 0.8mm），两圆角之间应有一定的配合关系。

### 4. 生产率高

小口径枪弹弹壳及其零件的孟子成型都在双动冲床上采用多冲下料冲孟复合模冲出的，生产率极高。

## 二、冲孟加工率的计算

加工率即变形程度，冲孟时毛坯的直径和壁厚都减小，加工率可按下面方法计算（图 1-5）。

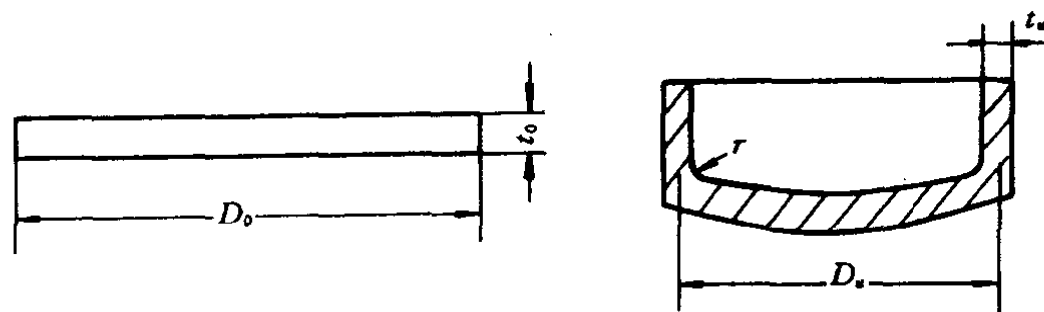


图 1-5 冲孟加工率计算

$$\text{冲孟加工率 } K_u = \frac{F_o - F_u}{F_o} = 1 - \frac{F_u}{F_o} = 1 - \frac{D_u t_u}{D_o t_o}$$

$$\text{冲孟直径加工率 } K_d = 1 - \frac{D_u}{D_o}$$

$$\text{冲孟壁厚加工率 } K_t = 1 - \frac{t_u}{t_o}$$

式中  $F_o$ ——毛坯周向面积 ( $F_o = \pi D_o t_o$ )；

$F_u$ ——孟子口部截面积；

$D_o$ ——毛坯直径；

$D_u$ ——孟子平均直径（可近似地用孟子外径或内径代替）；

$t_o$ ——毛坯厚度；

$t_u$ ——孟子口部壁厚。

$$K_u = 1 - \frac{D_u t_u}{D_o t_o} = 1 - (1 - K_d)(1 - K_t)$$

$$K_u = K_d + K_t - K_d K_t \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 知，冲孟加工率计算时  $K_d$ 、 $K_t$  和  $K_u$  的关系不是简单的相加关系。例如某次冲孟的直径加工率为 0.35，壁厚加工率为 0.25，则该次冲孟的总加工率不是  $0.35 + 0.25 = 0.60$ ，而是  $0.35 + 0.25 - 0.35 \times 0.25 = 0.51$ 。

据冷冲压资料介绍，壁不变薄的冲孟（拉深），其直径加工率  $K_d$  的最大值为 0.45~0.55（即  $D_u/D_o = 0.50 \sim 0.55$ ）。壁变薄冲孟由于增加了一个凸模与工件内表面的方向向下的摩擦

力(图 1-6),减小了危险断面上的拉应力,因此最大变形程度可以有较大的提高,可达 0.65~0.70<sup>[1]</sup>。关于壁变薄冲孟的变形力学分析由于涉及到变薄引伸理论,为节省篇幅,将在第二章变薄引伸中研究。

表 1-3 为当前工厂中使用的冲孟加工率,可供参考。应当指出,用这样的加工率设计出来的模具能在工厂长期正常的大量生产,说明是可行的,或许在这个生产条件下是最佳方案、最佳设计。但最佳设计不一定只有这一个,表中的数据也不是加工率的极限值。因为影响加工率选择的非力学因素也有不少,如壁厚差(冲孟后制品壁部一侧厚,另一侧薄)就是随加工率的增加而增大的。大批量生产时选用的加工率肯定要比理论的最大加工率(极限允许变形程度)小。

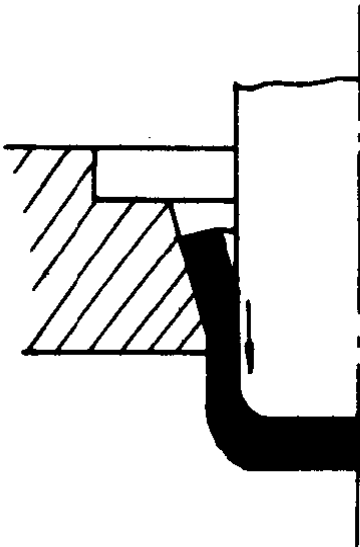


图 1-6 壁变薄冲孟

表 1-3 工厂现行的冲孟加工率

| 产品口径/mm | $D_o \times t_o$ | $K_d$ | $K_t$ | $K_u$ |
|---------|------------------|-------|-------|-------|
| 7.62    | 21×3.05          | 0.364 | 0.444 | 0.648 |
| 7.62    | 24.6×3.05        | 0.366 | 0.333 | 0.577 |
| 57      | 149.5×20.6       | 0.168 | 0.40  | 0.55  |
| 122     | 200×15           | 0.25  | 0.473 | 0.626 |

### 三、孟子主要尺寸的确定

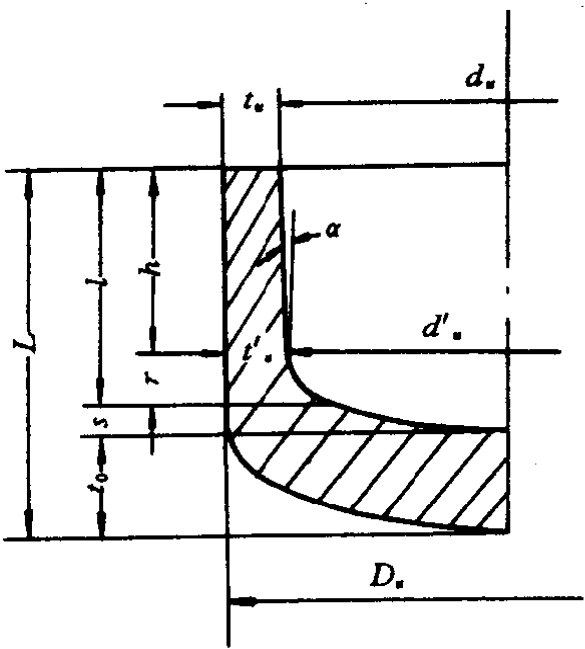


图 1-7 孟子的主要尺寸

用厚毛坯冲出的孟子,其形状如图 1-7 所示。其主要特点是底部不是平面而是成球缺形,此外,壁部上薄下厚。孟子主要尺寸确定方法如下:

#### 1. 孟子下部内径 $d'_u$

$$d'_u = d'_n + n\Delta$$

式中  $d'_n$ ——末次引伸冲子(凸模)下部直径,药筒和弹壳冲压工具设计是先从末次引伸开始的,故  $d'_n$  为已知;

$\Delta$ ——引伸时前、后道冲子下直径间的递减量,即  $\Delta = d'_{n-1} - d'_n$ ,这是使凸模能进入工件底部所必须的,  $\Delta = 0.1 \sim 0.8\text{mm}$ ,  $\Delta$  过小,冲子不易到底;  $\Delta$  过大,引伸时易产生壁厚差;

$n$ ——引伸次数,是未知数,但可以估计,一般不会有很大出入。

#### 2. 直径加工率 $K_d$

$$K_d = 1 - \frac{d'_u}{D_o}$$

$K_d$  应采用孟子平均直径计算,这里用内径计算,数值略偏大些。

#### 3. 壁厚加工率 $K_t$

$$K_t = \frac{K_u - K_d}{1 - K_d}$$

式中  $K_u$ ——冲孟总加工率，可参考表 1-3 选定。

4. 孟子下壁厚  $t'_u$

$$t'_u = (1 - K'_t) t_0$$

式中  $K'_t$ ——孟子下部壁厚加工率。

上面选用的  $K_u$  是指孟子口部的总加工率（该处总加工率最大），因此由它计算出的壁厚加工率  $K_t$  应是口部的壁厚加工率，为使冲子形成上大下小的锥度， $K'_t$  应小于  $K_t$ ，即形成  $t'_u > t_u$ ，一般可取  $K'_t = K_t - (0.07 \sim 0.14)$ 。

5. 孟子外径  $D_u$

$$D_u = d'_u + 2t'_u$$

6. 孟子口部壁厚  $t_u$

$$t_u = (1 - K_t) t_0$$

7. 孟子口部内径  $d_u$

$$d_u = D_u - 2t_u$$

或

$$d_u = d'_u + 2htg\alpha$$

式中  $\alpha$ ——冲孟冲子斜度  $\alpha = 1 \sim 5^\circ$ ；

$h$ ——孟子上下壁厚的间距（图 1-7）， $h \approx l - r$ ；

$r$ ——冲孟冲子圆角半径。

8. 孟子总高度  $L$

$$L = t_0 + s + l$$

式中  $t_0$ ——毛坯厚度；

$s$ ——孟子内底至冲子端面的距离， $s = (0.1 \sim 0.3) t_0$ ；

$l$ ——冲子端面至孟子口部的距离，近似地按下式计算：

$$l = \frac{D_0 - D_u}{2} (1 + \bar{K}_u)$$

式中  $\bar{K}_u$ ——孟子上下部平均总加工率，即

$$\bar{K}_u = \frac{1}{2} (K_u + K'_u)$$

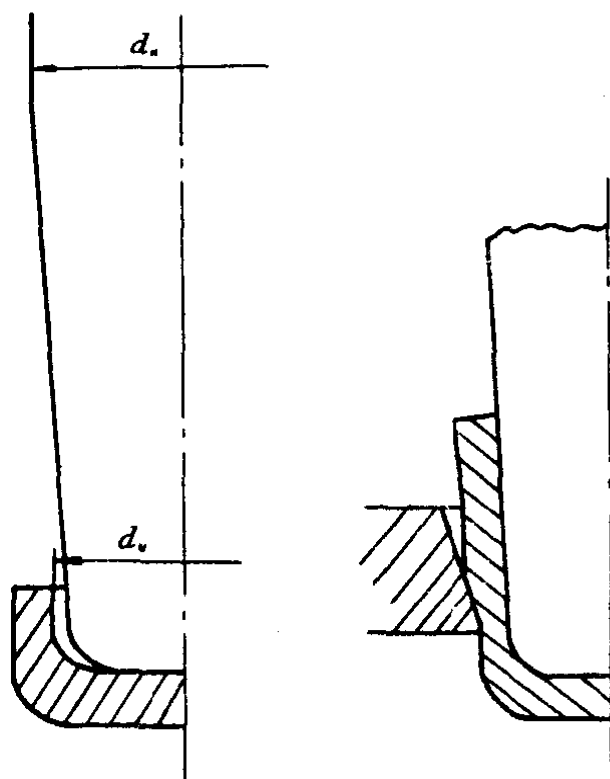


图 1-8 冲孟孟子与末引冲子的关系

在计算  $d_u$  时应校核一下，使其大于末引冲子上部直径  $d_n$ ，即  $d_u \geq d_n$ ，否则在以后的引伸中口部会被引伸冲子扩大而产生开裂（图 1-8）。

#### 四、冲孟冲子及模子尺寸确定

孟子尺寸确定后，冲子与模子的主要尺寸（又称工作尺寸）已定，这里主要是介绍其形状和一些不直接影响孟子尺寸的非工作尺寸的确定。

##### 1. 枪弹冲孟凹模

枪弹由于尺寸小，产量大，其零件的成孟都是用下料冲孟复合模冲出的，下料冲孟凹模如图 1-9 所示，也可将下料凹模与冲孟凹模做成两件，便于更换，其中冲孟凹模为硬质合金。

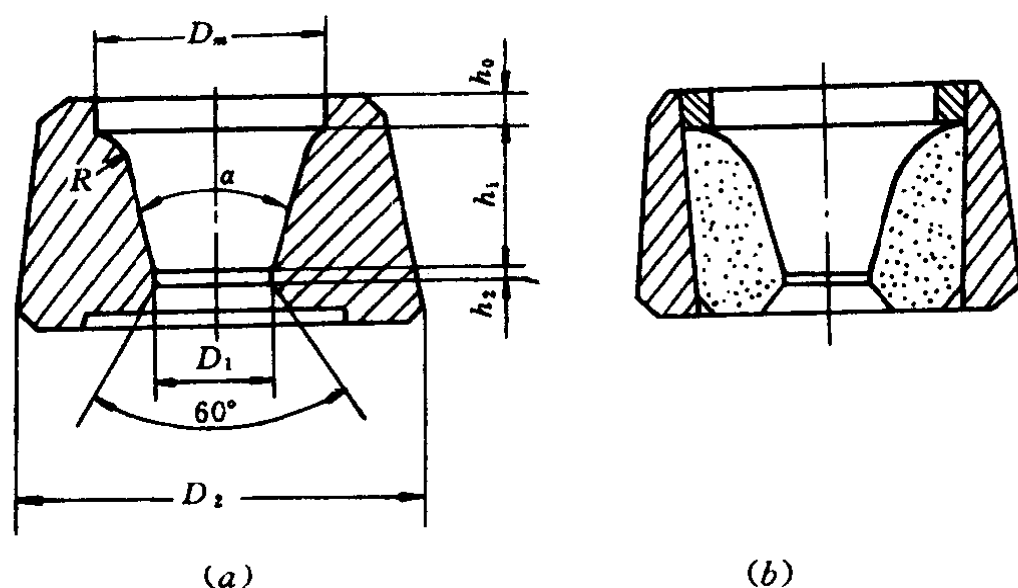


图 1-9 下料冲孟凹模  
(a) 整体模（钢模）；(b) 硬质合金模

(1) 下料凹模刃口直径  $D_m$ ： $D_m = D_o$ 。

(2) 下料凹模刃口高度  $h_o$ ： $h_o$  应大于板厚  $t_o$ ，以便于冲床的调整及刃口变钝后的重磨。

$$h_o = (1.5 \sim 2) t_o$$

(3) 凹模圆弧半径  $R$  和锥角  $\alpha$ ：冲孟凹模  $R$  和  $\alpha$  是一个重要的参数，它影响孟子底部和体部金属量的分配、壁厚差、冲孟力及孟子口部形状。

$R$  大时孟子底部球形大，底部金属量增多。 $R$  大时料片在进入凹模过程中稳定性差，容易径向偏移，因此壁厚差会增大。 $R$  大则冲孟力减小。

变薄冲孟时作用在壁部的摩擦力在内表面是向下的，而外表面是向上的，这些影响孟子表层金属流动的因素都会影响孟壁端面的形状。当  $R$  小或  $\alpha$  大时，外层金属流动阻力大，孟口成内斜（图 1-10a），内斜的孟子口部金属易脱落或半脱落（工厂称掉圈），尤其对覆铜钢弹壳。掉圈会影响下道工序的加工。反之， $R$  大或  $\alpha$  小则孟口外斜（图 1-10b），这种外斜在以后的引伸中会形成“V”形口部，称分层现象（图 1-10c）。

孟口形状以略带外斜为好，所以  $R$  和  $\alpha$  的数值要经过多次试验才能确定。

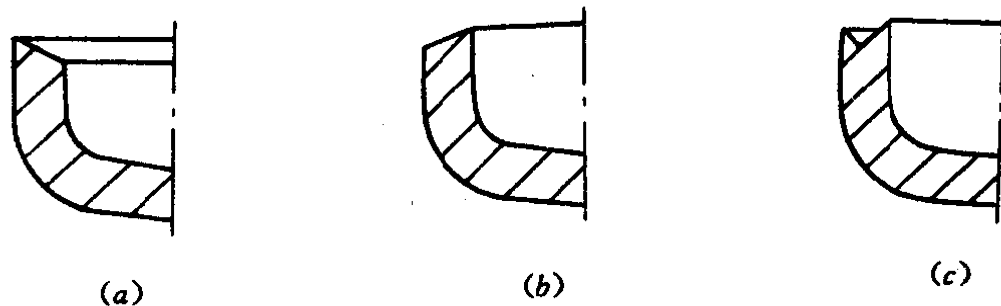


图 1-10 孟子口部的倾斜  
(a) 内斜；(b) 外斜；(c) 分层

$R$  一般为  $3\sim 8\text{mm}$ ;  $\alpha$  为  $12\sim 15^\circ$ 。

(4) 凹模工作直径  $D_1$

$$D_1 = D_u - s$$

式中  $s$ ——冲孟后孟子回弹量,  $0.02\sim 0.06\text{mm}$ 。

(5) 定径带宽  $h_2$ :  $h_2$  太小则模具寿命低, 孟子易倾斜, 太大则摩擦力增大,  $h_2$  随  $D_u$  的增大而增大,  $h_2 = 1\sim 5\text{mm}$ 。

(6) 凹模外径  $D_2$

$$D_2 = (2\sim 3.5) D_1$$

凹模外形有  $8^\circ$  的锥角, 用以与压模板配合, 来固定凹模。

(7) 锥形部高  $h_1$ :  $h_1$  由  $D_m - D_1$  和  $\alpha$  确定。

## 2. 药筒冲孟凹模

药筒冲孟凹模有弧形模 (图 1-11) 和与枪弹冲孟凹模相似的锥度弧形模两种。

上部的凹面是为使凸模导向套定位而设的, 随着模具结构的不同该面不一定都有。

药筒的冲孟是单工序模, 直径  $D_b$  是作毛坯定位用 (而不是下料的刃口), 其直径应比毛坯最大直径略大, 即  $D_b = D_{\text{omax}} + (0.1\sim 0.2\text{mm})$ , 间隙过大时毛坯中心与凹模中心线不易重合, 冲出的孟子壁厚差大。为使毛坯易于进入定位部, 入口处设计有圆弧,  $r = 6\sim 8$ , 或设计一个  $7^\circ\sim 10^\circ$  的斜面。 $R$  与定位部的切点应留出一定的宽  $b$  作为定位平台,  $b = 3.5\sim 5\text{mm}$ 。

$R = 15\sim 20$ , 锥角  $\alpha = 16\sim 24^\circ$ , 定径部宽度  $h_2 = 5\sim 9$ ,  $\varphi = 15\sim 20^\circ$ ,  $D_3 = D_1 + (4\sim 10)$ 。以上都是经验数据, 仅供参考。

## 3. 冲孟冲子

冲孟冲子的工作部分形状有三种 (图 1-12)。

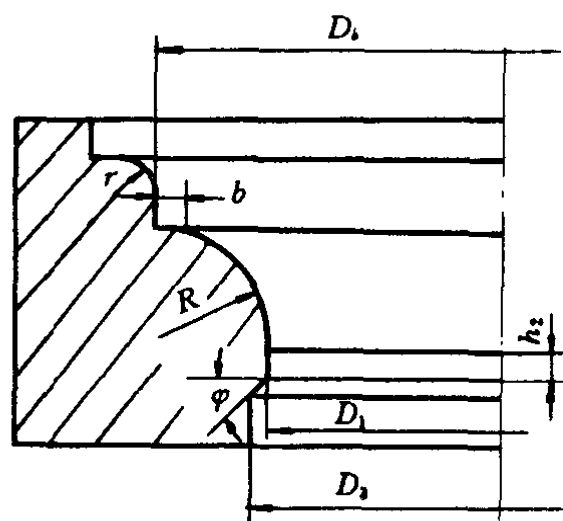


图 1-11 药筒冲孟用的弧形模

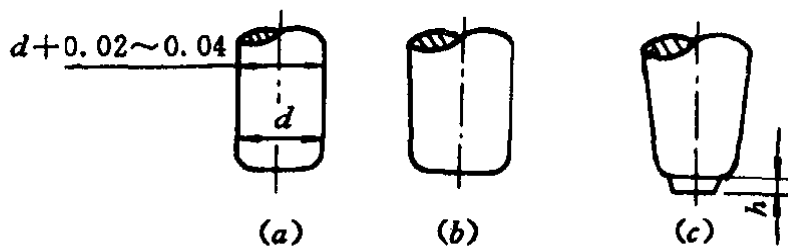


图 1-12 冲孟冲子工作部分形状

$a$  型用于壁不变薄的孟子, 上部直径比下部略大是为了易于脱料;  $b$  型用于壁变薄的冲孟, 有较大的锥度, 广泛用于弹壳和药筒制造中;  $c$  型是在  $b$  型的端面上增加一个凸起, 使冲孟时底部球形加深, 堆积较多的金属, 以减小冲孟板料的厚度。曾用于  $14.5\text{mm}$  黄铜弹壳的冲孟, 目的是采用与  $12.7\text{mm}$  弹壳相同厚度的冲孟板料。其缺点是底部的大球形给压底工序增加了困难。药筒的冲孟冲子设有通气孔, 便于脱料。

冲子的夹持部分有四种类型 (图 1-13)。

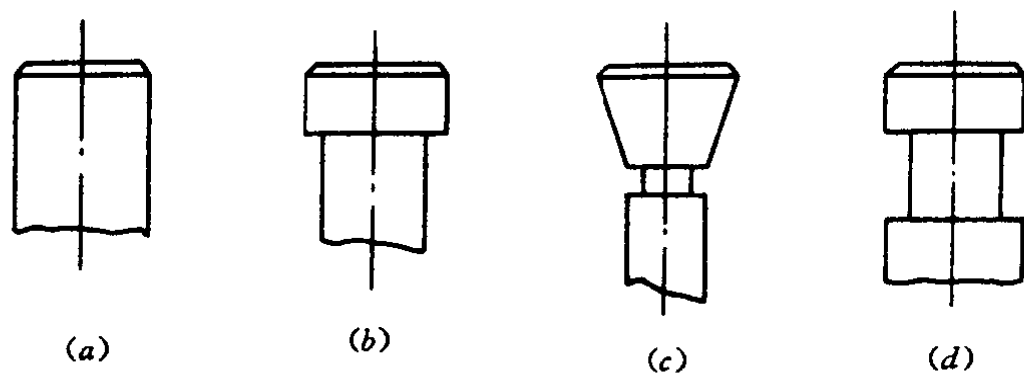


图 1-13 冲孟冲子夹持部分形状

$a$  型为直杆，优点是装卸方便，制造简单，缺点是由于靠摩擦夹紧，它承受的脱料力不大，用于冲底火壳工序； $b$ 、 $c$  型具有凸台，故能承受较大的脱料力，缺点是制造工具时材料利用率低（如果凸台不用锻压法压出的话），在枪弹制造中广泛采用此种结构； $d$  型是  $a$  型的改进，在凹槽内衬两块半圆形衬铁（厚度大于槽深），加大了承受脱料的能力。

冲子工作部分尺寸按以下方法确定（图 1-14）：

(1) 下直径  $d_1$ ： $d_1 = d'_u$

(2) 上直径  $d_2$ ： $d_2 = d_u$

(3) 杆部直径  $d_3$ ：杆部是直杆形，便于冲孟时导向，但由于计算孟子高度  $l$  时不可能很准确，因此计算  $d_3$  时把工作部分的高度放大 20%，即

$$d_3 = d_2 + 0.2 \times 2 (h_2 - h_1) \tan \alpha$$

(4) 下直径高度  $h_1$ ： $h_1 = r (1 - \sin \alpha) \approx r$

(5) 上直径高度  $h_2$ ： $h_2 = l$

(6) 圆弧半径  $r$ ： $r$  大，冲孟冲与毛坯接触的平面小，冲孟时孟子稳定性差，易造成壁厚差。 $r$  大，孟子底部球形大，金属量大。但  $r$  太小则转角处弯曲变形剧烈，易形成开裂。 $r$  的大小与成品的  $r$ 、各道引伸的  $r$  之间应有一定的配合关系（详见第三章），由于成品（弹壳）内底转角  $r$  很小，故冲孟  $r$  不可能很大。

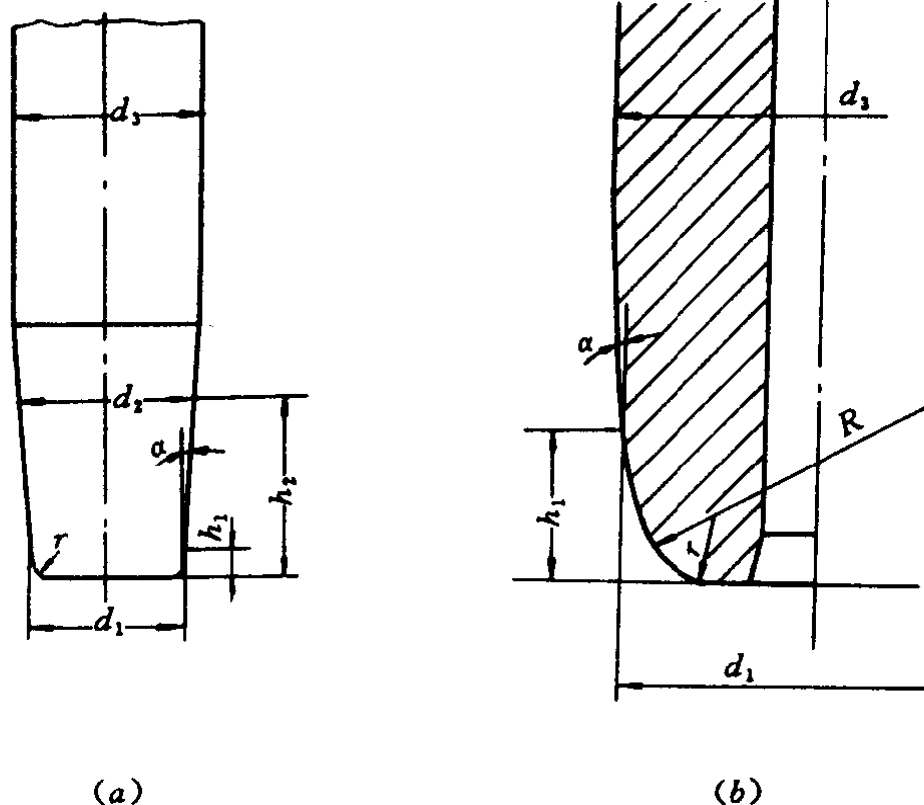


图 1-14 冲孟冲工作部分尺寸

(a) 弹壳冲孟冲；(b) 药筒冲孟冲

药筒成品的内底转角是以一个大  $R$  和一个小  $r$  相切与壁和底相接的，因此有时冲孟冲的圆角也以两个  $r$  相接，这种圆角方式减缓了冲孟转角处的弯曲变形。

冲子材料为 T10A，淬火硬度为 HRC58~62，工作表面粗糙度  $R_a$  为  $0.2\mu\text{m}$  以下。

凹模材料为 T10A 或 CrW5，也可用硬质合金 YG8 或 YG15。T10A 淬火硬度 HRC58~62，表面粗糙度  $R_a$  为  $0.1\mu\text{m}$ 。

冲子和凹模都必须镀铬，铬层厚度对枪弹为  $0.01\sim0.02\text{mm}$ ，对药筒为  $0.02\sim0.06\text{mm}$ 。

凹模的定位部与定径部（工作直径）应同轴，并与凹模底平面垂直。

## 五、冲孟力

无压边、壁不变薄的冲孟可用下列经验公式计算冲孟力，即

$$P_1 = \pi d t \sigma_b k$$

式中  $d$ ——孟子直径；

$t$ ——材料厚度；

$\sigma_b$ ——材料抗拉强度；

$k$ ——修正系数，与直径加工率  $K_d$  有关。

| $K_d$ | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| $k$   | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.72 | 0.86 | 1.00 |

药筒和枪弹零件（弹壳、弹头壳、曳光管壳等）的冲孟都是无压边、壁变薄的冲孟，对这类冲孟力的计算目前尚无理论和经验公式。壁变薄冲孟力可以分解为壁不变薄冲孟力和壁变薄力两部分。图 1-15 为不变薄冲孟力的力-行程曲线<sup>[2]</sup>。

由曲线可看出，力的最大值出现在冲子  $d_1$  进入凹模定径部时。冲孟结束前变形力的升高是由于“多余”三角形使毛坯壁增厚，使壁厚超过冲孟凸、凹模间隙，因而增加了壁挤薄力。可以设想变薄冲孟力

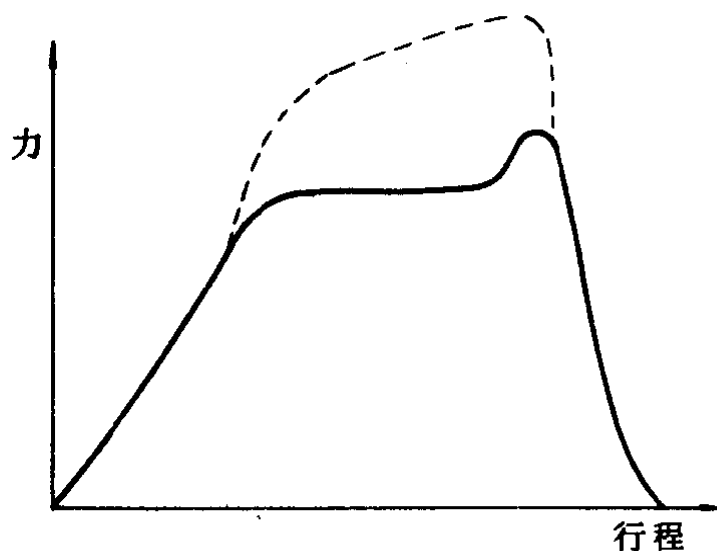


图 1-15 不变薄冲孟的力-行程曲线

就是在此曲线上增加一个变壁力（图中的虚线）。变薄力可借用壁变薄引伸力的经验公式，这样计算结果肯定要偏大些。

$$P_2 = \pi d (t_0 - t_1) \sigma_b c$$

式中  $d$ ——孟子直径；

$t_0$ ——变形前毛坯厚度；

$t_1$ ——变形后孟子壁厚；

$\sigma_b$ ——材料抗拉强度；

$c$ ——考虑材料加工硬化的系数，对黄铜为  $1.6\sim1.8$ ，对低碳钢为  $1.8\sim2.25$ 。

枪弹及其零件的冲孟是在专用的双动冲床上用下落-冲孟复合模冲出。为提高生产率及材料利用率都采用七行交错排样，即一次可以冲出七个孟子。

药筒孟子由于尺寸较大，下料和冲孟是分开进行的。

冲孟模具结构中应考虑到冲子与凹模的同心度，防止壁厚差的产生。

## 六、质量检查与疵病分析

孟子在尺寸检验方面主要检查外径、口部倾斜和壁厚差，对内径一般不作检查，因为凸模不易磨损，有时用一次引伸冲放入孟子，如能进入孟子底部，即为合格。

冲孟中的疵病，有些是很容易找到原因立即纠正的，例如缺口的孟子是因为送料未到位，使下料的圆片本身就缺肉；内外表面有线痕是工具脱铬或润滑液有不洁物；外径过大是凹模磨损或凹模破裂。

冲孟较难调整的是壁厚差和孟口倾斜过大。冲孟形成壁厚差后在以后的引伸中是很难再纠正过来的，因此成品的壁厚差主要是冲孟工序形成的，其原因有以下几个：

(1) 冲孟模定径部、下料冲、凹模和冲孟冲的中心线不在同一直线上。

(2) 板料厚度不均匀。

(3) 模具制造不正确，如凹模中心线与底面不垂直、凹模定径带倾斜、冲子与凹模工作部分加工成椭圆等。

(4) 板料表面不洁净，有氧化色，形成摩擦不均。

板料冲孟孟子的另一疵病是口部花边（突耳、织构），其原因是板料在各个方向上的板厚方向性指数差别太大，即板料各向异性指数太大。

板厚方向性指数  $r$  定义为：板形试片在拉伸试验中，当长度方向伸长率为 15%（或 20%）时，板料宽向应变量  $\epsilon_b$  与厚向应变量  $\epsilon_t$  之比，即

板厚方向性指数  $r = \epsilon_b / \epsilon_t$

板料各向异性指数  $\Delta r = (r_0 + r_{90} - 2r_{45}) / 2$

式中  $r_0$ 、 $r_{90}$ 、 $r_{45}$ ——与轧制方向成  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $45^\circ$  方向的板厚方向性指数。

$\Delta r$  值越大则突耳现象越严重，例如对下列两批覆铜钢板进行  $r_0$ 、 $r_{45}$ 、 $r_{90}$  测定（其数值如下），并计算其  $\Delta r$  值，结果第二批的突耳较第一批为高。

| 批号 | $r_0$ | $r_{45}$ | $r_{90}$ | $\Delta r$ |
|----|-------|----------|----------|------------|
| 1  | 1.04  | 0.80     | 1.50     | 0.47       |
| 2  | 1.27  | 0.71     | 1.88     | 0.87       |

## § 1.3 冷挤孟

用钢棒冷挤压制成孟子来制造枪弹和药筒是枪弹药筒制造技术的一大进步。枪弹材料由覆铜钢改为钢，药筒材料由黄铜改为钢，以及原材料形状由钢板改为钢棒（即由冲孟改为挤孟）在工艺技术上要克服以下几个难题：

(1) 润滑处理：由铜变钢、由冷冲孟改为冷挤孟后工具表面承受单位压力急剧地上升，原来的润滑方法都不能适应，因为极大的单位压力使润滑膜破裂，工件（钢）和工具间形成干摩擦，从而使工具破坏（烧结）。只有找到并掌握了一种新的润滑处理方法——磷化处理后钢的冷挤压和变薄引伸加工才能进行下去。

(2) 防腐处理：弹药有长期存放的要求（一般为 12~15 年），与铜相比钢的防腐技术要复杂得多。

(3) 工具寿命：钢的冷挤压由于单位压力很大（接近淬火后工具的强度极限），加之润滑

条件较差，所以工（模）具寿命是较低的。衡量冷挤压工艺是否成功，不是只看被挤出的零件是合格，而更主要的是看其工具寿命，工具寿命不高的冷挤压工艺不能说是个成功的工艺，是不能在大批量生产的枪弹、药筒中运用的。

（4）设备：由冷冲孟变为冷挤孟，所需设备的吨位提高好几倍。由于缺少大吨位压力机，以及其它一些原因，大口径药筒就很难采用冷挤孟工艺。

钢的冷挤压最早是在二次大战后期德国用于弹壳制造，我国在 60 年代初开始成功地在口径枪弹弹壳制造中应用，这在全国也是第一个成功的例子，60 年代末才在民品生产中推广。

枪弹、药筒制造中改为冷挤孟工艺后的主要优点是：

（1）原材料的价格降低，因为铜比钢贵，钢板比钢棒贵。

（2）材料利用率高，可接近无边角料，而钢板冲孟的材料利用率仅为 70% 左右。

（3）取消了生产覆铜钢用的庞大设备，或熔铜铸造等设备，使原材料更具有战时动员性（原材料可立足本地）。

（4）与冲孟相比，挤孟弹壳的金属流线方向对弹壳强度有利。

钢棒冷挤孟法制造弹壳（药筒）的缺点是辅助工序多，尤其是表面处理（润滑、防腐）工序的劳动条件差，此外废品率较高。

### 一、棒料下料

棒料下料（切成圆柱形小块）的方法很多，有车切、锯切和剪切三种方法，它们各有优缺点，现分述如下：

#### 1. 车切

车切棒料是在普通车床上进行的，其切面质量很好，不需特殊设备，缺点是切口处的材料损失很大，排屑也较困难。目前在大中口径药筒上应用较广。

#### 2. 锯切

（1）圆盘锯锯切：此方法的生产效率较高，切面质量较好，但锯片较宽（6~8mm），因而材料利用率低。

（2）带锯锯切：高速带锯机是国外先进的锯切设备，其锯口窄（仅为圆盘锯的 1/3~1/4），锯速快、自动化程度高，因而生产率比圆盘锯高 4~7 倍，锯切断面质量高，可锯切直径达 355mm 的圆钢。锯条寿命为 1000 件以上。我国已有少量引进，但锯条不能适应大批量生产的消耗（国外规定一台锯床只给几根带锯条备件），因此只有待锯条和润滑剂在国内研制成功后才能正常运用于药筒生产中。

#### 3. 剪切

在枪弹和小口径药筒制造中的下料都采用剪切法，因其生产率高且无切屑，尽管其切面质量差，料的相对高度（ $h/d$ ）不能太小，但经随后的冷镦压后切面及其附近的缺陷都可以得到纠正。常用的剪切有以下两种：

（1）开式剪切：如图 1-16a 所示，棒料放在固定刀 2 中，半月牙形的动切刀 1 下行时首先将棒料端头压塌变形，剪切后端面呈明显的偏斜，并以  $AB$  为分离线，它与钢棒轴线的夹角  $\theta$  一般为 90~97°。此法的工具结构简单，但切面质量较差，故应用不多。

（2）闭式剪切：闭式剪切是棒料同时插入切刀 1 和 2 的孔内（图 1-16b），由于毛坯受到限制，故剪切质量比开式好得多，得到了广泛的应用。

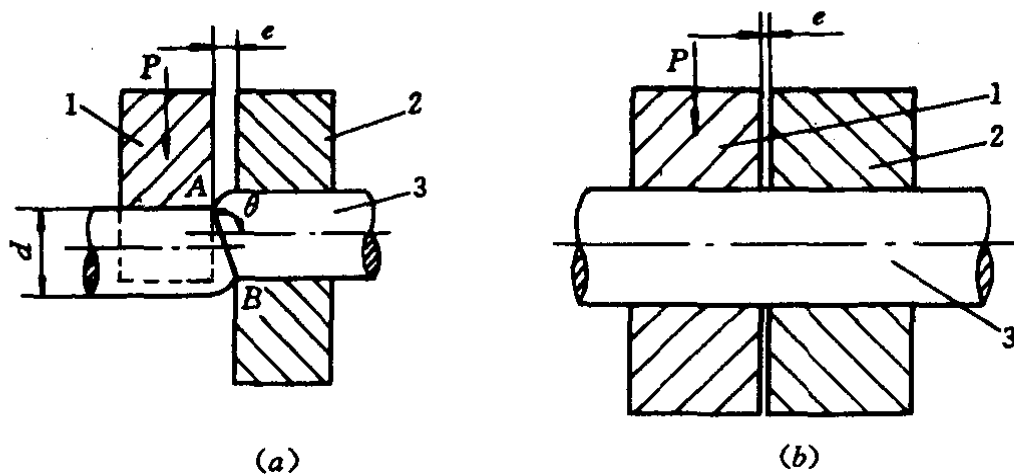


图 1-16 两种棒料剪切法

(a) 开式剪切; (b) 闭式剪切

1. 活动切刀; 2. 固定切刀; 3. 棒料

和板料剪切一样, 棒料切面也存在着塌角 (图 1-17), 其深度为  $a$ , 宽度为  $b$ , 不大的光亮带  $c$  和倾斜的剪裂角, 当间隙调整不合适时 (过小) 切面呈波浪形。

根据对方钢的试验, 剪切间隙  $z$  和材料的  $\sigma_b$  对切面质量的影响如图 1-18 所示。由图可知:

① 间隙  $z$  越小, 塌角宽度  $b$  越小, 塌角深度  $a$  越大, 光亮带宽度  $c$  越小。根据枪弹生产的经验, 合理间隙为  $(0.015 \sim 0.02) d$ 。如  $\phi 13$  的 S14A 钢间隙为  $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ ,  $\phi 26$  的 S20A 钢间隙为  $0.4 \sim 0.6 \text{ mm}$ 。

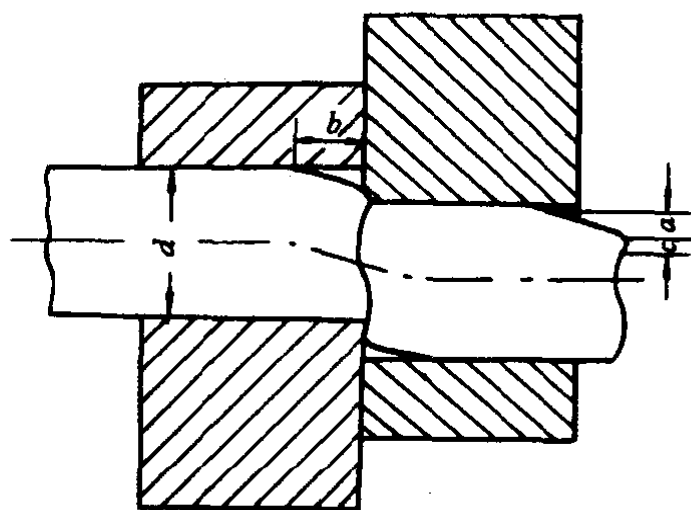


图 1-17 闭式剪切时毛坯的变形

② 材料的  $\sigma_b$  高,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  值均小。

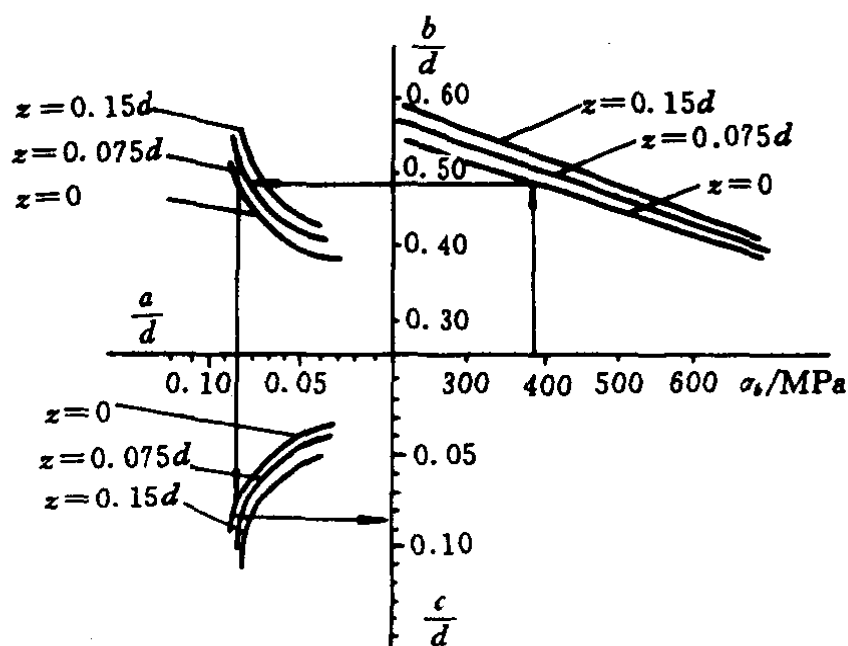


图 1-18  $z\sigma_b$  对切面形状的影响

$a$ . 塌角深度;  $b$ . 塌角宽度;  $c$ . 光亮带宽度;  $d$ . 棒料直径;  $z$ . 刃口间隙

为了改善切面质量, 除了合理调整间隙外, 还可采取以下措施:

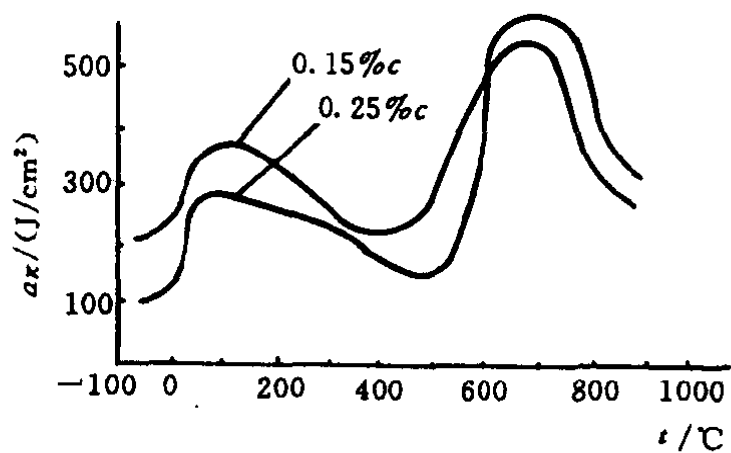


图 1-19 低碳钢的温度与冲击韧性  $\alpha_k$  值的关系

①蓝脆下料:随着温度的升高,低碳钢出现两个脆性区,前一个是 300~500°C 出现的脆性区(图 1-19),由于这时钢表面呈蓝色,故称蓝脆。第二个脆性区发生在 900°C 左右,称红脆区,是由于含碳量过大引起的。利用蓝脆(相当于材料  $\sigma_b$  增加)可以提高切面质量,这是生产中简单易行的方法,缺点是增加了加热设备。

②径向和轴向加压剪切:棒料的两端均用压板夹紧,以限制其倾斜和变形,并在切面增加静水压,如果轴向再加压,可以极大的增大

静水压效应,提高切面光亮带的宽度,甚至实现精密剪切。这种方法需要专门的装置和机床,尚未普遍运用。

弹壳棒料下料模具结构如图 1-20 所示。冲床滑块下行时打击活动刀 5,实现剪切并压缩活动刀下的弹簧,退料杆上的弹簧将已切下的棒料 6 从固定刀 1 下的出料孔(图中未表示出)中弹出,滑块上行时被压缩的弹簧使活动刀恢复到与固定刀中心线重合的位置,然后棒料进行送料,断料的长度可用退料杆 4 后面的螺栓调节,可用辊轮实现自动送料,但料头料尾的送入仍需人工辅助。

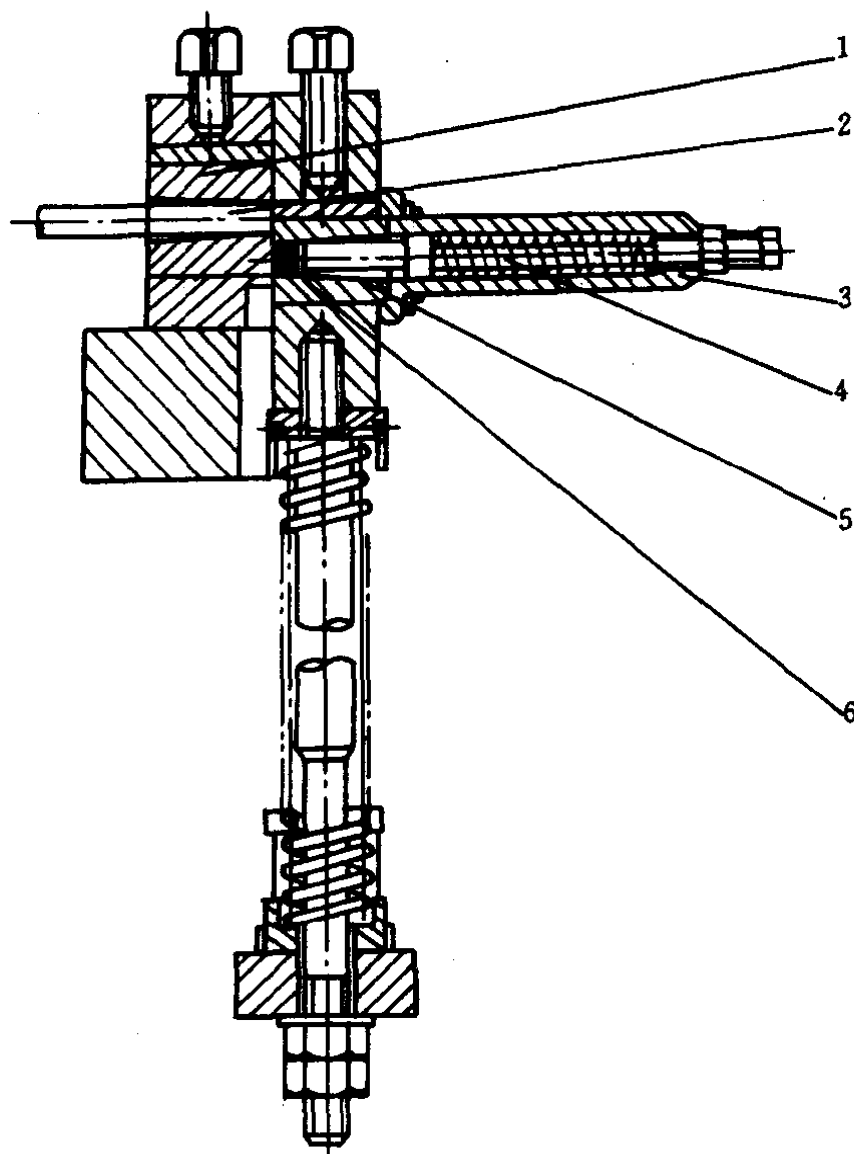


图 1-20 弹壳毛坯棒料下料模具

1. 固定刀; 2. 棒料; 3. 退料管; 4. 退料杆; 5. 活动刀; 6. 毛坯

## 二、冷镦

剪切下来的毛坯由于形状很不规正,必须进行冷镦,并经退火和润滑(磷化)处理后才

能进行冷挤加工。

冷镦工序有以下一些作用：

(1) 使形状规正，易于挤压加工。剪切后的毛坯两端面不平，且与轴线有一定的倾斜角，如果用它直接挤压，则冲子会因受侧向力而折断。剪切后的毛坯两头被压扁，这样的毛坯是放不进冷挤凹模的，冷镦后毛坯呈圆形且有鼓形（中间粗两头细），易于放入凹模内。

(2) 减小剪切毛坯的直径。冷镦后工件直径变粗，这样可以使用较细的棒料挤压出直径较大的孟子，使剪切工序易于进行。

(3) 暴露圆钢表面缺陷，及时剔除，从而降低后续工序的废品。热轧圆钢有折叠、结疤、道线、夹灰等表面疵病，由于冷镦时工件表面产生较大的伸长变形，这些缺陷可以明显暴露出来，用外观检查将其剔除。

(4) 获得良好的金属流线。

毛坯冷镦有以下三种类型（图 1-21）：

(1) 打平：这种类型变形程度很小，仅使两端面平整（图 1-21a），适于小直径冷拔钢棒剪切下来的毛坯冷镦，因为这种钢棒是在加工硬化状态下（即材料强度很高时）剪切的，故切面较平整，不易被压扁，加之冷拔钢本身直径精度较好，故不需更大的压缩量来使形状规正。其工装简单，用于 7.62mm 弹壳制造。

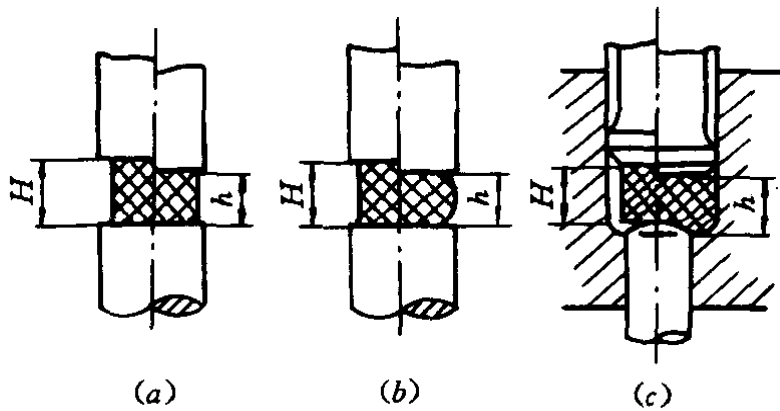


图 1-21 毛坯冷镦的类型

(2) 自由镦粗（图 1-21b）：用于热轧钢的毛坯冷镦，为了暴露热轧钢的表面缺陷以及减小剪切毛坯直径，需要使用较大的压缩量。多用于大口径枪弹弹壳和药筒。

(3) 预成型（图 1-21c）：在冷镦时压出一定的形状，如在上端面压成一个带锥的凹，使挤压冲子能自动对中心，也有利于储存润滑剂。由于在模中成型，故直径公差小，便于和挤孟凹模的配合。其缺点是工装复杂，镦压后的工件不便于下一道工序送料装置的定向（即送料时保证有凹的端面向上）。

冷镦的变形程度  $\epsilon_h$  用下式表示：

$$\epsilon_h = \frac{H-h}{H} \times 100\%$$

式中  $H$ ——镦粗前毛坯高度；

$h$ ——镦粗后工件高度。

过大的变形量会使工件表面产生裂纹， $\epsilon_h$  的许用值对 10 钢为 75~81%，对 15 钢为 70~73%，对 35 钢为 63%。

冷镦是柱形毛坯在两平板间受压，使高度减低、直径增大的一种变形，又称镦粗。根据

镦粗时金属流动情况可以分为三个区（图 1-22）：

I 区：是在压板附近的金属，由于受到摩擦阻力，流动困难，越近中心阻力越大，结果形成如图中 I 区的难变形区。该区的金属虽然不硬（因为不流动，没有加工硬化），但确象一块硬金属楔进毛坯一样。

II 区：是在柱形毛坯周向的金属，虽然它没有摩擦阻碍，但仍是一个难变形区。因为由于压板存在摩擦，镦压后工件形成鼓形，鼓出部分及其附近由于压板压力不能作用在该区，因此该区金属不易变形。

III 区：为易变形区，金属沿 I 区附近流向端面，使高度减小，直径增大。

只要把镦粗后的金属剖开，打出各点的硬度，即可明显地分出这三个区，硬度低的为难变形区，硬度高的为易变形区。

根据以上分析，镦粗后料饼不能太薄，因为当上下两个难变形区相交时，变形力将会剧增。

冷镦的变形力可借用圆柱体自由镦粗的变力的理论公式，即

$$p = \sigma \left( 1 + \frac{1}{3} \frac{\mu d}{h} \right)$$

式中  $p$ ——冷镦变形的单位压力；

$\sigma$ ——变形终了时的真实变形抗力，可用真实应力-应变的幂次关系式计算， $\sigma = A\epsilon^n$ （ $\epsilon$

为真实应变， $\epsilon = \ln \frac{H}{h}$ ， $A$ 、 $n$  值见表 1-4；

$\mu$ ——工件与压板间的摩擦系数（表 1-5）；

$d$ ——冷镦后毛坯直径；

$h$ ——冷镦后毛坯高度。

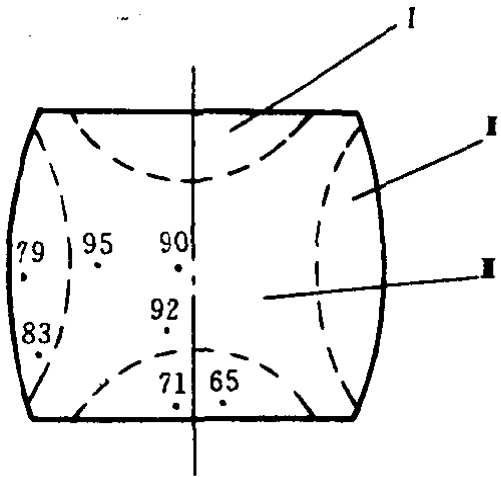


图 1-22 镦粗的变形区

表 1-4 各种材料的  $A$ 、 $n$  值

| 材 料   | 硬化系数 $A$ | 硬化指数 $n$ |
|-------|----------|----------|
| S15A  | 631.3    | 0.23     |
| S20A  | 842.6    | 0.16     |
| 四六铁黄铜 | 669      | 0.37     |

表 1-5 冷镦时的摩擦系数  $\mu$

| 润滑方式  | 磷化+皂化     | 石墨+机油     | $MoS_2$ +机油 | 矿物油       |
|-------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| $\mu$ | 0.06~0.08 | 0.08~0.10 | 0.07~0.08   | 0.12~0.14 |

### 三、冷挤压

断料下来的圆柱形毛坯经过冷镦、退火（软化处理）和磷化、皂化（润滑处理）后，即可进行冷挤压。对枪弹和药筒都是用冷挤制造杯形零件，所以都是反挤压。

#### 1. 反挤压时的变形

杯形件反挤压时金属的流动情况在一般的冷冲压和冷挤压的著作中（[3]、[4]）均有叙述。即冲子端面下有一球缺形的难变形区，其深度约为杯形件壁厚，往下即为变形区，其深

度约为杯形件壁厚的两倍，再往下又是非变形区。与墩粗变形相似，金属是从难变形区和非变形区间流向壁部。

如果在柱形毛坯的两端面 and 侧面打上点（图 1-23），挤压后各点的位置如图所示。图中点 1 由于处于难变形区（受冲子端面摩擦阻滞），故挤压后形成杯形件内底。点 8 处在底部非变形区，故仍处在底面，只是径向略有移动。其余各点的间距都有不等的增加。

挤孟和冲孟都可以制造孟子，但由于成型时金属流动的情况不同，各部位的强度（硬度）是不相同的（图 1-24）。挤孟时孟子口部硬度较低，因为它变形前处于图 1-23 中的点 2 位置，开始变形即流向壁部，没有加工硬化。底部由于不变形，硬度也是低的。而冲孟后的孟子，口部硬度最高，且由上向下降低，这是因为冲孟时“多余”三角形呈由外向内逐渐减少。底部基本上没有变形，故硬度最低，但转角处的外层由于弯曲变形很大（凸模圆角半径很小），故硬度增加。

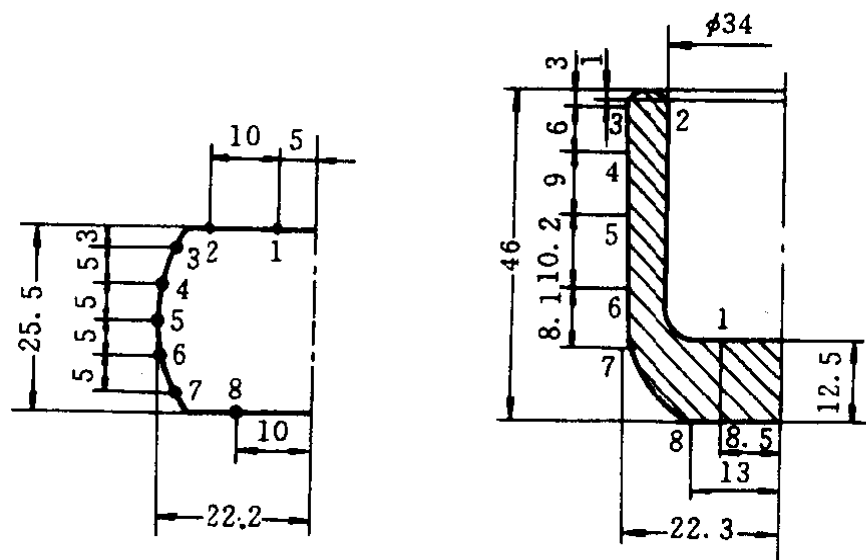


图 1-23 反挤压变形图

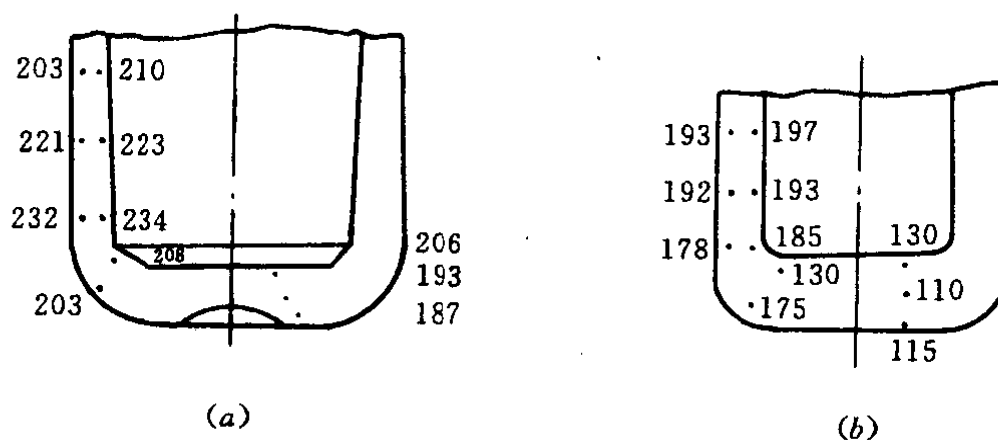


图 1-24 挤孟和冲孟后孟子各点硬度

(a) 挤孟；(b) 冲孟

反挤压的变形程度可用下面方法推得：

$$K_u = \frac{F_a - F_u}{F_o} = \frac{D_o^2 - (D_o^2 - d_u^2)}{D_o^2} = \frac{d_u^2}{D_o^2} \approx \frac{d_u^2}{D_u^2}$$

式中  $K_u$ ——挤孟变形程度；

$F_o$ ——毛坯断面积；

$F_u$ ——孟子壁部断面积；

$D_o$ ——挤孟毛坯外径；

$d_u$ ——孟子内径（或挤孟冲工作直径）；

$D_u$ ——孟子外径，近似等于毛坯直径。

变形程度大，则挤出的孟子壁薄，可以减少以后的引伸次数。

反挤压的变形区金属处于三向压应力状态，因此变形程度可以很大（如纯铝的反挤变形程度可达 97~99%）。对于钢的冷挤压其变形程度主要是受模具材料的强度限制（因为变形力很大）。目前模具钢的许用应力为 2450MPa，一般认为反挤凸模承受的最大单位压力为 1960

~2450MPa，过大的单位压力会使模具因过载而破坏。因此单位挤压力是影响变形程度的主要因素，降低单位挤压力的任何因素对提高变形程度都是有好处的。

影响钢反挤单位压力的因素很多，有化学成分（主要是含碳量）、变形程度、变形速度、模具几何形状、润滑条件等等，但最主要的因素是含碳量和变形程度。根据实践，钢反挤的许用变形程度如表 1-6 所示。

表 1-6 低碳钢反挤许用变形程度  $K_u$

| 含碳量   | 0.10      | 0.15      | 0.20 | 0.30 |
|-------|-----------|-----------|------|------|
| $K_u$ | 0.75~0.80 | 0.70~0.73 | 0.65 | 0.50 |

现有的一些弹壳（药筒）的冷挤孟变形程度见表 1-7。

表 1-7 现有弹壳（药筒）的反挤变形程度  $K_u$

| 口径/mm | 材料   | $d_u$ /mm | $D_u$ /mm | $K_u/\%$ |
|-------|------|-----------|-----------|----------|
| 7.62  | S15A | 11.02     | 13.84     | 64.3     |
| 14.5  | S20A | 24.7      | 33.6      | 54       |
| 30    | S15A | 39.5      | 48        | 67.7     |
| 37    | S15A | 44.8      | 57.5      | 60.7     |
| 57    | S15A | 83.5      | 106       | 62.1     |

2. 孟子主要尺寸确定

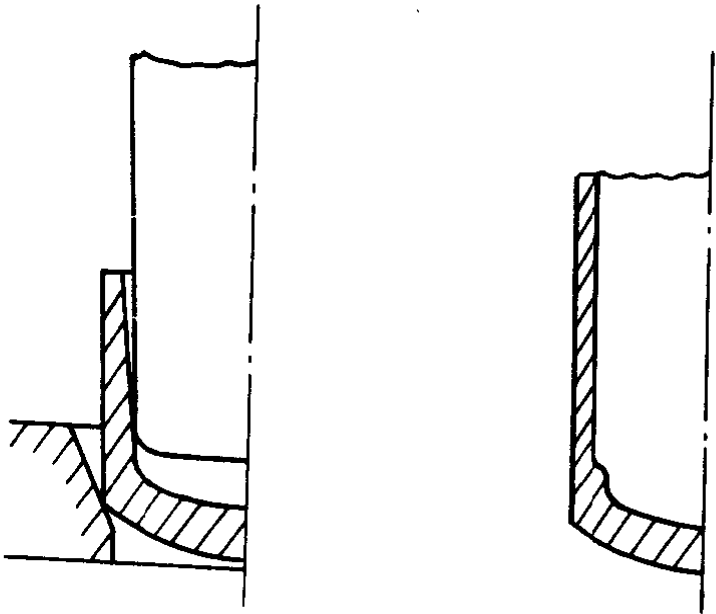


图 1-25 冲子不能到工件底部形成的“口袋”

药筒（弹壳）冲压工具（模具）设计的顺序一般是末引、末前引、冲（挤）孟、中间各道引伸、压底、收口。也可以是由末引、末前引、末前二引、……、一引、冲（挤）孟、……，倒推向前设计模具。当然，由于各道模具尺寸都相互影响，因此设计中反复是不可避免的。就是说，在设计冲（挤）孟模具时，末引或一引模具尺寸是已知的。

冲（挤）孟、一引、二引、……、末引的凸模尺寸间应有一定的配合关系，具体的说，应有以下两点：

(1) 应使下一道加工工序的凸模能顺利地插入上一加工工序的工件内部，并使冲子端面与工件内底面接触。即一引冲子能与冲（挤）孟孟子内底面接触，二引冲子能与一引工件的内底接触，……。因此，至少冲（挤）孟凸模与一次引伸凸模的下直径间应有一个间隙（称递减量）。如果没有这个间隙，则引伸后的工件将成“口袋”形（图 1-25）。

(2) 引伸 前工件口部内径应等于或略大于引伸冲在引伸后工件高度处的直径。即工件口部内径（即冲子上部直径） $d_{kn} \geq d_{k1} \geq d_{k2} \geq \dots \geq d_{kn}$ （图 1-26）。否则在引伸时工件口部将因凸模直径大于毛坯（引伸前工件）内径而被撑大，有可能形成口部破裂（图 1-8）。

这样，冲（挤）孟和各道引伸冲间的理想配合关系如图 1-26，即下部有直径递减量  $\Delta$ ，上部有不大的间隙  $z$ 。

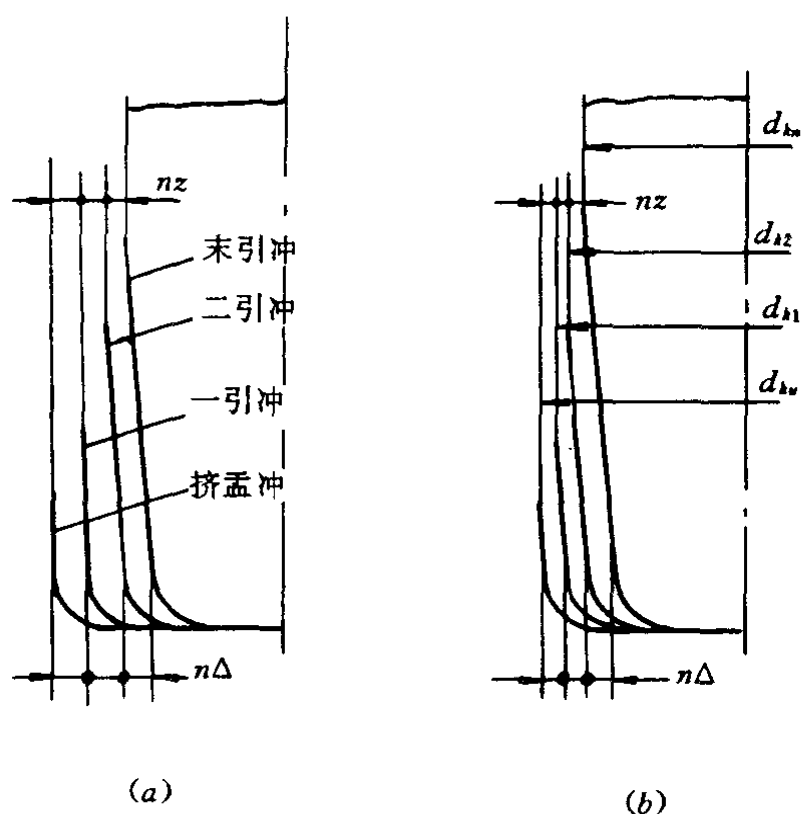


图 1-26 各道冲子的理想配合关系

(a) 挤孟; (b) 冲孟

冲孟冲设计是根据末次引伸冲的下直径加上  $n$  次直径递减量求得下直径, 再用口部壁厚加工率大于下部加工率的方法使凸模形成斜度, 并校核口部内径  $d_u \geq d_n$  (末引冲上部直径)。反挤孟子内形为一圆柱形, 即孟子上下壁厚相等。而一引冲是带斜度的, 因此设计挤孟孟子内径时只要保证  $d_u \geq d_n$ , 则下部的递减量肯定能保证 (见图 1-26)。

(1) 孟子内径  $d_u$   $d_u = d_n + nz$

式中  $d_n$ ——末引冲上部直径;

$n$ ——引伸次数;

$z$ ——口部间隙。

(2) 孟子外径  $D_u$   $D_u = \sqrt{\frac{d_u^2}{K_u}}$

式中  $K_u$ ——反挤变形程度 (表 1-6)。

(3) 孟子底厚  $t_d$ : 对药筒, 由于底部有强度要求, 即底部还要经过一定的压缩变形后形成药筒的底缘, 因此  $t_d$  根据能达到底部机械强度的压缩率来确定, 即

$$t_d = \frac{t_{dy}}{1 - K_d}$$

式中  $t_{dy}$ ——成品底缘厚度;

$K_d$ ——底部压缩率, 根据实测, S15A 的压缩率  $K_d$  与  $\sigma_b$  的关系如图 1-27。

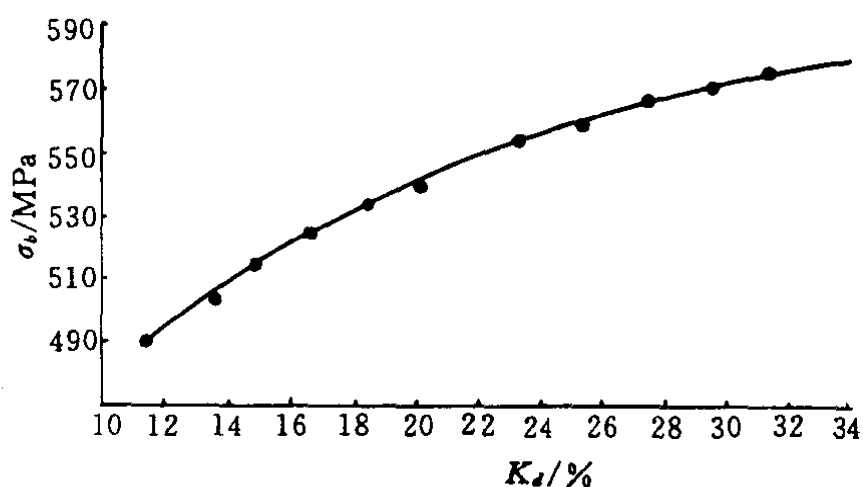


图 1-27 S15A 钢  $K_d$  与  $\sigma_b$  的关系曲线

对枪弹弹壳，因底部没有特别严格的强度要求，所以只从体积相等的角度确定底厚  $t_d$ ，即孟子底部金属在经打凹、压底后，正好形成弹壳的底部形状。根据现行工艺，可用以下经验公式确定，即

$$t_d = KT_d$$

式中  $T_d$ ——成品弹壳底厚；

$K$ ——厚度变化系数，口径 7.62， $K=0.7\sim0.75$ ；口径  $>7.62$ ， $K=0.9\sim0.95$ 。

弹壳孟子的形状比较简单， $D_u$ 、 $d_u$  和  $t_d$  确定后剩下的形状（如圆角、底凹等）可用经验或试验确定。而药筒孟子底部有锥角（图 1-28），其确定方法见图（b）。

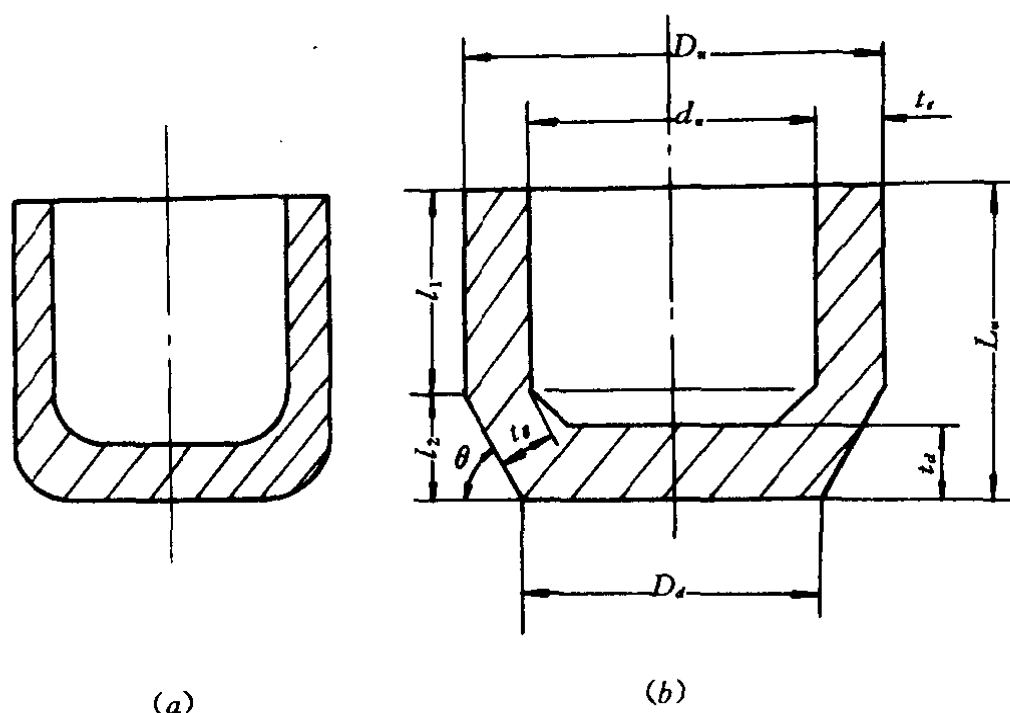


图 1-28 孟子的几何形状

(a) 弹壳孟子; (b) 药筒孟子

(4) 孟子底外径  $D_d$ ：从便于孟子在引伸模中定位及有利于引伸出发， $D_d$  应比末引模工作直径略小，即

$$D_d = D_n - C$$

式中  $D_n$ ——末引凹模工作直径；

$C$ ——间隙， $C=2\sim10\text{mm}$ ，随  $D_d$ （或口径）增大而增大。

(5) 底锥部壁厚  $t_\theta$ ：由反挤时金属的流动知，底部金属通过冲子与凹模的缝隙流入壁部，当凹模为柱形时，随着冲子的下行这个缝隙是不变的，而当凹模底有锥形时，在冲子的最大直径进入锥形部位时，从冲子底部流向壁部的通道（缝隙）变窄，且随着冲子下行，通道越来越窄，当通道宽度（图 1-28 中的  $t_\theta$ ）小于孟子壁厚时，孟子下部的壁将逐渐变薄，（如图 1-29 所示），容易出现裂纹并在引伸时冲断。

$$t_\theta > t_u$$

式中的  $t_u$  是孟子的下部壁厚，如果凸模有明显斜度时孟子下壁厚大于上壁厚。

(6) 底锥角  $\theta$ ：确定了  $D_d$ 、 $t_d$  和  $t_\theta$  后  $\theta$  角即可确定， $\theta$  角的参考值为  $45\sim55^\circ$ 。

孟子底部内形按冲子头部形状确定，一般都选用锥角为  $126^\circ$  的平头冲。

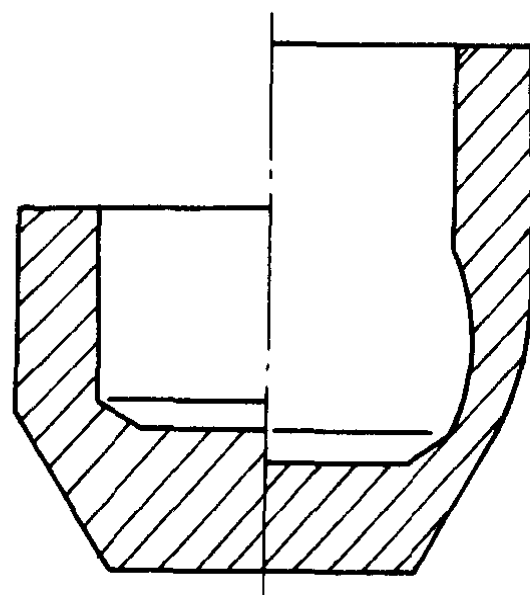


图 1-29 锥形凹模反挤中壁厚的变化

(7) 孟子高度  $L_u$   $L_u = l_1 + l_2$ 。

式中  $l_1$ ——孟子柱形部高度；

$l_2$ ——孟子锥形部高度。

$$l_1 = \frac{4(V_0 - V_\theta)}{\pi(D_u^2 - d_u^2)}$$

式中  $V_0$ ——挤压毛坯体积；

$V_\theta$ ——锥形部的体积。

### 3. 反挤冲子设计

反挤杯形孟子的冲子头部可以是平头、球形和带不同角度的锥形。试验表明，平头冲的单位挤压力最大，而球形冲的单位挤压力最小，但球形冲的单位挤压力随变形程度增大而增加，在变形程度超过 60% 以后急剧上升。带  $126^\circ$  锥角的平头冲单位挤压力虽比球形为大，但在大的变形程度时远低于球形冲<sup>[3][4]</sup>。

此外冲子端面形状应能和引伸冲相匹配。所以药筒挤孟冲都采用带  $126^\circ$  锥角的锥形平底冲（图 1-30）。其锥形部较易与一引冲的圆角相配合。

冲子与凹模间必须导向，以减小孟子的壁厚差。通常是在凹模上开设导向部由冲子直接导向，因此冲子设有导向部。导向部开有三个退料沟槽，以便当冲子带着孟子从凹模里退出时三个卡爪把孟子从冲子上刮下。

(1) 冲子头部工作直径  $d_1$   $d_1 = d_u$ 。

式中  $d_u$ ——孟子内径。

(2) 头部外斜角  $\gamma$ ：锥角为  $126^\circ$  时单位挤压力最小，所以其外斜角  $\gamma = 27^\circ$ 。

(3) 工作部分宽度  $b$ ： $b$  是确定孟子内径的重要尺寸，称定径部，必须有一定的宽度。过大的  $b$  值增加了金属流出的摩擦力，但过小的  $b$  值易磨损，过大的  $b$  值还增加了退料力。一般取  $b = 2 \sim 7 \text{ mm}$ ，口径大时取上限，枪弹弹壳取下限。

(4) 锥形部高度  $h_1$ ：过小的  $h_1$  对减小单位挤压不利（接近平头冲子），但过大的  $h_1$  会给与一引冲圆角部的配合带来麻烦。 $h_1 = 2 \sim 5 \text{ mm}$ ，随口径增大而增大，7.62 弹壳现用值为 1mm。

(5) 过渡部直径  $d_2$ ：这是为减小摩擦而设的，因此应比  $d_1$  略小即可， $d_1$  和  $d_2$  以圆角或带圆角的锥体连接。

$$d_2 = d_1 - (0.2 \sim 0.5)$$

(6) 工作部分高度  $h_2$ ： $h_2$  应比挤孟后孟子内部高度大，否则模具会因形成封闭挤压而破坏。

$$h_2 = l_n + (5 \sim 10)$$

式中  $l_n$ ——孟子内部高度。

$h_2$  应小于  $2.5d_u$ ，否则工作部分会因产生纵向弯曲而折断。

(7) 导向部直径  $d_3$ ：理想的  $d_3$  应和凹模导向部成无间隙的动配合，但实际生产中由于冲子和凹模的温度不同，热变形量不同，容易造成导向部分损坏。因此两者应有不大的间隙，间隙小则壁厚差小，但导向部易损坏。对药筒有

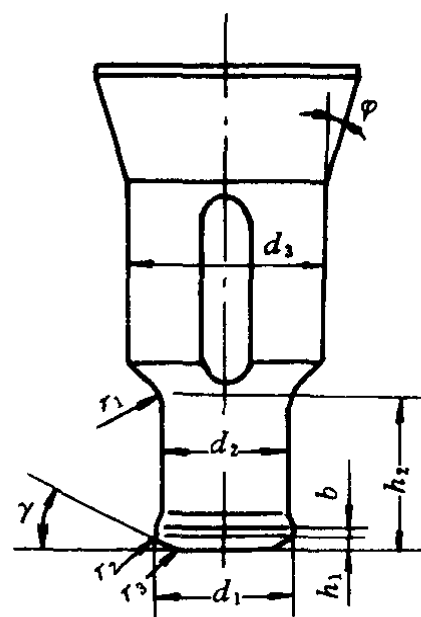


图 1-30 反挤冲子

$$d_3 = D_g - (0.1 \sim 0.2)$$

式中  $D_g$ ——凹模导向部直径。

对枪弹，因  $d_3$  很小，可以用更小的间隙甚至无间隙。

(8)  $\varphi$ 角： $\varphi$ 角取  $20 \sim 30^\circ$ ，或更大些，以便扩大支承面积，分散挤压力。

过渡部分的圆角应平滑连接。

挤孟冲的材料应强度高、韧性好、耐磨、耐疲劳及有良好的回火稳定性。常用的材料有高速钢 W18Cr4V，高碳高铬钢 Cr12Mo、Cr12MoV，低合金钢 GCr15、CrMoMn，枪弹中也有用 T10A 的。淬火硬度 HRC58~62 并镀铬，铬层厚  $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。

冲子的各直径间应有同轴度要求，两端面应平行且与轴线垂直，工作表面粗糙度  $R_a$  为  $0.1\mu\text{m}$ 。

#### 4. 反挤孟凹模设计

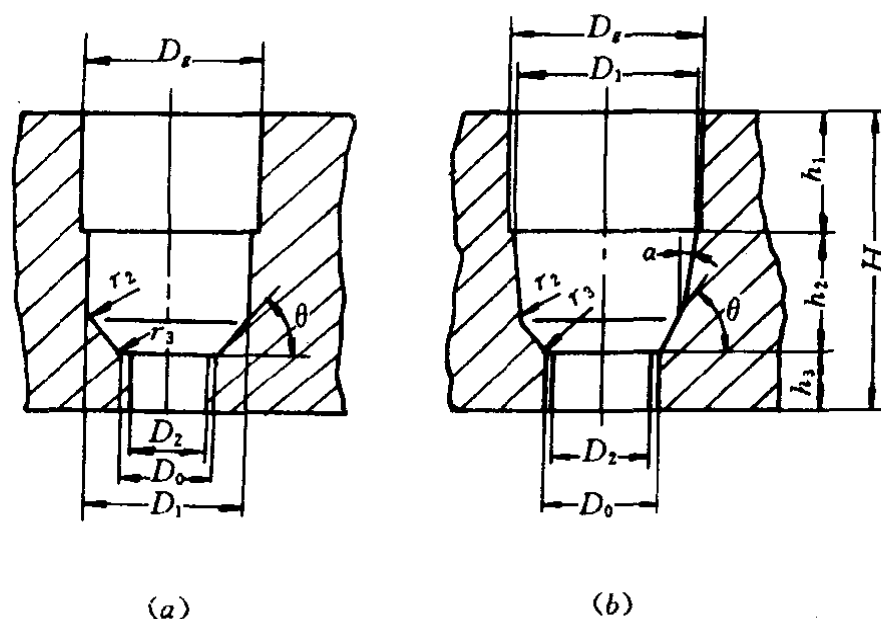


图 1-31 挤孟凹模内形

(a) 柱形；(b) 锥形

凹模内形同孟子，但其圆柱部分形状有柱形和锥形两种。柱形凹模内孟子易被冲子带出。在挤压变形程度大时工件易被凹模卡住，这时应用有锥度的凹模（图 1-31b）。

工作内形上部设有导向部，底部有孔，以改善凹模受力条件，并容纳底冲，作退料用。

挤孟时冲子与凹模的配合关系如图 1-32。

(1) 工作直径  $D_1$   $D_1 = D_u$

式中  $D_u$ ——孟子外径，对锥形凹模则大端为  $D_1$ 。

(2) 导向部直径  $D_g$   $D_g = D_1 + (0.1 \sim 0.5)$

(3) 导向高度  $h_1$ ，当冲子接触毛坯时冲子和凹模的圆柱部分至少要有 5mm 以上的配合高度（参阅图 1-32），即

$$h' = r + (5 \sim 10)$$

式中  $r$ ——凹模导向部入口处圆角半径， $r$  取  $2 \sim 5\text{mm}$ 。

$$h_1 = h' + h'' + h'''$$

式中  $h''$ ——挤压终了时冲子导向部与凹模工作部的距离，为防止封闭挤压，应有一定安全

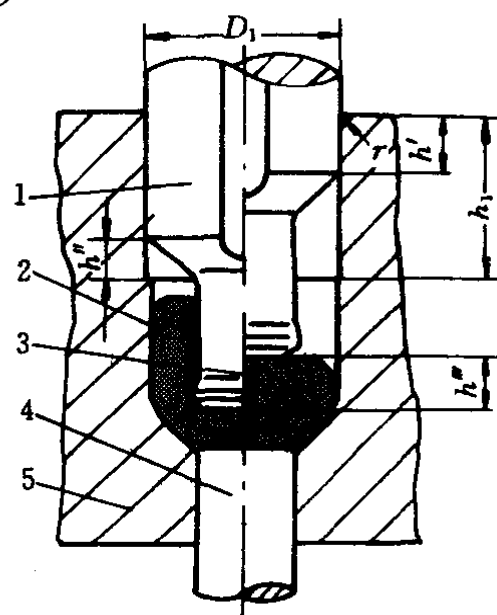


图 1-32 挤孟冲与凹模的配合关系

距离,  $h''$  取  $5\sim 10\text{mm}$ ;

$h'''$ ——冲子从与毛坯接触到挤压结束的工作行程。

(4) 凹模工作部分高度  $h_2$   $h_2 = L_u + (0\sim 10)$

(5) 工作部分半锥角  $\alpha$   $\alpha = 8\sim 30'$

(6) 底冲孔径  $D_2$ : 如果取  $D_2 = D_d$  ( $D_d$  为孟子底部外径), 则凹模加工较方便, 但容易在外底转角处产生毛刺。为此用下面方法确定  $D_2$  较好。

$$D_2 = D_d - (3\sim 8)$$

(7) 底冲孔高度  $h_3$ :  $h_3$  影响凹模强度和底冲的导向效果, 取

$$h_3 = (1\sim 2) D_2$$

(8) 整体 (非组合的) 凹模外径  $D$   $D = (3\sim 4) D_1$

#### 5. 底冲 (退料冲) 设计

底冲在冲子回程时上升, 将留在凹模中的孟子顶出, 并承接钢饼, 防止其翻倒而引起工具损坏。底冲的升起也可防止卸料时孟子重新落入凹模中。

底冲为上细下粗的阶梯杆。上直径与底冲孔配合, 下直径加粗是为了分散作用到模座上的单位压力。上直径的端面可以是平面, 也可以设计成弧形 (图 1-33), 其尺寸确定如下:

(1) 工作直径  $d_1$

$$d_1 = D_2 - (0.05\sim 0.10)$$

式中  $D_2$ ——凹模底冲孔直径。

(2) 弧形凸起高度  $h_1$

$$h_1 = 0.5\sim 1.5\text{mm}$$

(3) 圆弧  $R$ : 可用作图法或计算确定。

(4) 大端直径  $d_2$

对枪弹  $d_2 = (2.5\sim 4) d_1$

对药筒  $d_2 = (1.5\sim 2) d_1$

(5) 冲子全长  $h$ :  $h$  值由模具结构确定,  $h$  值应保证上行时能将工件顶出, 最低位置时高出凹模内底面  $1\sim 1.5\text{mm}$ , 以抵消挤压时底冲的弹性压缩量。

底冲材料为 Cr12Mo、GCr15, 淬火硬度 HRC58~63。

#### 6. 冷挤孟模具结构

冷挤孟一般在曲柄压力机上进行。曲柄压力机有立式和卧式两种, 其中卧式压力机的出料方便, 孟子从凹模中顶出或凸模上刮下后即可自动落入料箱中。

图 1-34 为在卧式压力机上进行冷挤孟的模具结构。冲子 7 的锥形固定部分与冲套 10 相配合放入冲座 9, 并用带螺纹的锁紧圈 6 压紧冲子, 冲座 9 固定在滑块下平面上。底冲 2 是用带螺纹的锁紧圈 1 压紧在底冲座上, 利用顶料杆 18 的运动带动底冲运动。退料圈 5 固定于退料板 11 上, 退料圈 5 上的三个卡爪在冲子三个凹槽中作相对运动, 将冲子带出的孟子刮下。

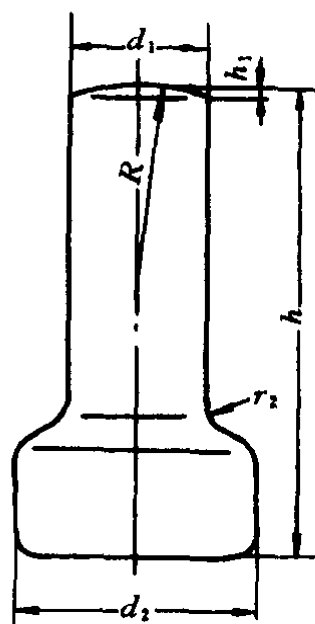


图 1-33 底冲

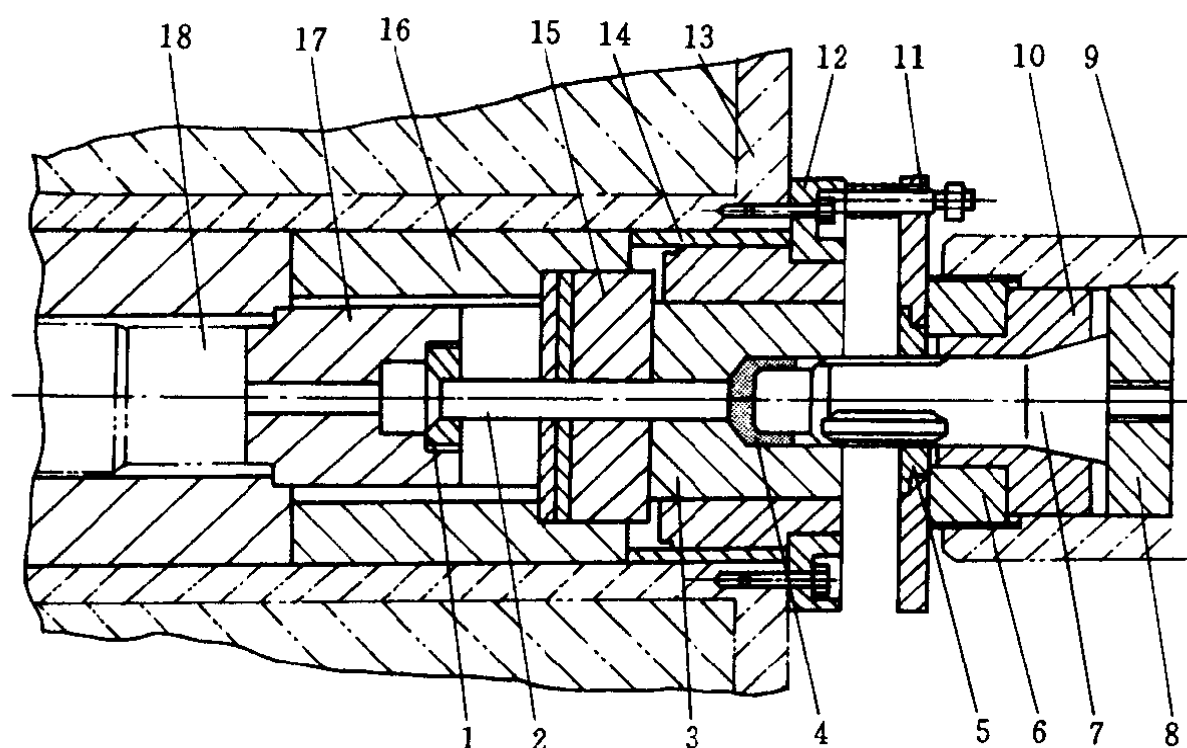


图 1-34 卧式挤压机上的冷挤模结构

1. 锁紧螺母; 2. 底冲; 3. 凹模; 4. 孟子; 5. 退料圈; 6. 锁紧圈; 7. 冲子; 8. 冲垫; 9. 冲座; 10. 冲套; 11. 退料板; 12. 压环; 13. 模套; 14. 中间套; 15. 模垫; 16. 承压套; 17. 底冲座; 18. 顶料杆

### 7. 挤压力计算

挤压力的准确计算是很困难的, 因为影响挤压力的因素很多, 所以无论用何种方法计算, 都应该把计算结果放大 30% 来选择设备。

(1) 用估算的单位压力计算反挤压力: 反挤压力

$$P = pF$$

式中  $F$ ——挤压面积 (凸模面积);

$p$ ——单位反挤压力 (见下表)。

| 钢 号  | 变形程度 $K_u/\%$ | 单位反挤压力/MPa |
|------|---------------|------------|
| 10 钢 | 40~75         | 1600~2200  |
| 20 钢 | 40~70         | 1800~2500  |

(2) 计算单位反挤压力

$$p = Z\sigma_b f \left( 2 + \frac{0.5\mu d}{s} \right)$$

式中  $Z$ ——凸模与凹模形状系数, 1.0~0.5, 合理模具形状时取较小值;

$d$ ——反挤冲子直径;

$\sigma_b$ ——挤压材料强度极限;

$\mu$ ——摩擦系数;

$s$ ——挤压件壁厚;

$f$ ——材料硬化系数 (见下表)。

| 钢号 | $\sigma_b/\text{MPa}$ | 变形程度 $K_u/\%$ |     |     |
|----|-----------------------|---------------|-----|-----|
|    |                       | 40            | 60  | 80  |
| 10 | 320~340               | 1.5           | 1.8 | 2.0 |
| 15 | 360~380               | 1.6           | 1.9 | 2.0 |
| 20 | 390~400               | 1.7           | 2.0 | 2.1 |
| 30 | 500                   | 1.7           | 2.0 | —   |

(3) 图解法: 图解法求挤压力较为方便实用, 而且考虑因素也较多。这在有关冷挤压的书中均有介绍, 故本书从略, 请参阅参考文献 [1]、[2]、[4]。

## § 1.4 热 挤 孟

枪弹药筒的冲压加工, 对大中口径药筒的成孟工序主要由于设备吨位不足而采用热挤压成形, 其余全部是用冷冲压加工完成的。热挤压加工与冷挤压相比, 在工序安排、模具设计、冲模结构等方面均有明显的不同。

### 一、热挤孟工艺概述

#### 1. 热挤孟的工序安排

热挤孟的工序安排可有以下几种:

①落料→加热→热挤孟

②落料→加热→热镦饼→热挤孟

③落料→加热→热镦饼→检验、修磨→加热→热挤孟

第①种安排与第②种相比, 主要是没有镦压工序, 如前面(冷挤压中镦压工序的作用)所述, 由于无镦压, 则棒料直径较粗, 在毛坯体积一定的条件下, 毛坯的高径比将变小。实践证明当高径比小于 1 时采用蓝脆落料方法是困难的。因此这种工序安排适用于车切、锯切下料的毛坯或高径比大于 1 的剪切毛坯。采用剪切毛坯直接挤孟时由于两剪切端面不平整, 难于定位, 故挤孟凹模应在底部设计有定位凹孔。

第②种安排与第③种安排相比, 都有镦压工序, 但后者镦压后冷却, 然后进行检验, 可以把由于镦压而暴露出来的疵病进行修磨或剔除, 减小了孟子废品, 提高了材料利用率, 但其缺点是多一次加热工序。此外第②种安排要求热镦压与热挤压两台设备有节奏地生产, 防止镦压后的料饼因后面的挤孟故障而冷却。这也给生产带来了不便, 因此此种安排工厂很少应用。

#### 2. 坯料的加热

挤压前毛坯的加热目的主要是提高材料的塑性、降低变形抗力, 其次也可利用金属分子在高温下的急剧扩散作用, 使金属内部的化学成分均匀化。

一般来说希望加热温度(或开始挤压温度)越高越好, 因为温度高, 塑性好, 变形抗力小。但过高的加热温度会产生过热、过烧, 严重氧化和脱碳等缺陷, 也会降低模具寿命。此外在确定开始挤压温度时还应考虑到挤压终止温度, 终止温度过低则会产生加工硬化组织。因此必须保证在终止挤压前金属具有良好的塑性, 挤压后工件具有再结晶组织。然而过高的终止挤压温度也是不利的, 它会使挤压件在冷却过程中晶粒长大, 从而降低机械性能, 特别是冲击韧性。

在确定终止挤压温度时还应考虑到挤压后挤压件的余热处理温度, 例如进行低碳钢调质处理, 则终止挤压温度一定要高于调质时的淬火温度。

由于热挤压的变形时间很短, 因此终止挤压温度与开始挤压温度相差不会很大。

理论上讲金属坯料的加热温度应低于熔化温度  $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。这样, 对于优质碳素结构钢(由钢 10 至钢 30)的开始挤压温度为  $1280^{\circ}\text{C}$ , 终止挤压温度为  $830^{\circ}\text{C}$ , 建议采用的挤压温度

范围为 870~1250℃。钢药筒用钢的加热温度为 950~1100℃。

在众多的加热方法中以感应加热最为理想，因为感应加热时间短、热效率高、耗电量少，易于实现机械化自动化，是目前广泛采用的加热方法。

感应加热是把待加热毛坯放入由空心铜管绕成的感应线圈内，当感应圈通以交变电流时形成交变磁场，该磁场切割待加热的金属，使金属中产生感应电势，毛坯因此而加热。对于铁磁物质（如钢），感应中产生的磁滞现象也会使金属发热。

显然，要提高加热速度必须提高交变电流的频率。但是高频电流通入导体时会产生大部分电流聚集在导体的表面，而中心电流密度很小的趋肤效应。频率越高趋肤效应越明显。由于趋肤效应，使待加热金属表面温升很快，而中心部分则得不到加热，要实现大直径金属的均匀加热则需要等待很长时间，让热量由表面传向中心，这就降低了热效率（增加了热散失）。所以对大直径棒料的均匀加热，不能采用频率过高的高频电流。然而，降低频率虽可增加电流透入深度，但会降低电效率。

高频电流通过导体时电流透入深度  $\Delta$  可用下式计算：

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

式中  $\rho$ ——加热材料的电阻率；

$f$ ——电流频率；

$\mu$ ——相对导磁率。

所谓电流透入深度并不是说在超过这个深度以后导体（加热材料）中就没有电流了。而是指在这个  $\Delta$  层中电流发出的热量占全部热量的 86.5%，即把析出热量为 86.5% 的深度处定义为电流透入深度（或称有效加热层深度）。

计算表明<sup>[5]</sup>，当  $\Delta \approx 0.8D_0$  时（ $D_0$  为加热棒料直径）有效加热层深度达到极值，即使降低电流频率也不能使有效加热层深度增加。有

$$f \leq \frac{6.25 \times 10^8 \rho}{\mu D_0^2}$$

$f$  的下限以电效率降低 5% 计算，得

$$f \geq \frac{3.13 \times 10^8 \rho}{\mu D_0^2}$$

由此得均匀加热时所选频率的范围为

$$\frac{3.13 \times 10^8 \rho}{\mu D_0^2} \leq f \leq \frac{6.25 \times 10^8 \rho}{\mu D_0^2}$$

由上式可以确定一些材料均匀加热时直径和频率的关系（表 1—8）。

表 1—8 不同材料均匀加热时频率的选择

| 频率/Hz   | 加热棒料直径/mm |        |        |
|---------|-----------|--------|--------|
|         | 钢         | 铜      | 黄铜     |
| 50 或 60 | 150 以上    | 70 以上  | 100 以上 |
| 1000    | 40~150    | 20~500 | 25~300 |
| 3000    | 25~70     | 10~300 | 13~150 |
| 10000   | 12~50     | 5~150  | 8~100  |
| 1000000 | 4~15      | 2~50   | 3~50   |

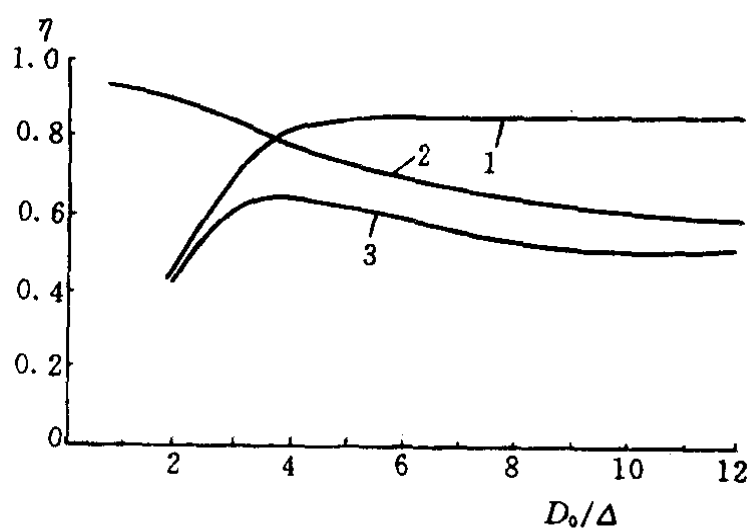


图 1-35 钢件均匀加热时  $D_0/\Delta$  与效率的关系

1. 电效率; 2. 热效率; 3. 总效率

对于钢加热件也可以根据总效率来选择频率, 当频率高时 (即  $D_0/\Delta$  大), 电效率高, 但热效率低 (因加热时间延长); 反之, 当频率降低时 ( $D_0/\Delta$  小), 则电效率低而热效率高。一般在  $D_0/\Delta$  为 2.5~6 时可获得满意的结果, 当  $D_0/\Delta$  为 3.5 时总效率最高 (图 1-35)。

### 3. 润滑

与冷挤压一样, 润滑直接关系到挤压力、模具寿命和工件表面质量, 是热挤压工艺成败的关键。

对于热挤压润滑剂, 除了要求应具有良好的润滑性能、润滑膜能耐高压、易均匀涂

覆、不腐蚀工件和模具等, 由于是在热状态下工作, 因此还有一些特殊要求:

(1) 具有良好的冷却和隔热作用。由于毛坯和挤成的孟子温度极高, 为了防止模温升高, 希望模具上涂覆的润滑剂能隔绝工件向模具的传热, 以降低模具温度, 提高模具寿命。良好的冷却作用 (挥发) 可以降低模温。

(2) 具有良好的高温湿润性。热挤压过程中模具的最高温度可达  $500^{\circ}\text{C}$ , 这就要求润滑剂在这个高温下能在模具工作表面形成一层均匀的润滑膜 (即具有湿润性), 在高温高压下不破裂, 从而形成良好的脱模性。

(3) 易于从工件和模具上清除, 使用时不应产生浓烟和任何有害气体。

当前热挤压用的润滑剂基本上为两种类型, 即石墨型和玻璃型。

(1) 石墨型润滑剂。石墨型润滑剂在我国用得最多, 因为石墨的结构是一种六方晶系层状结构, 它在同一平面层内的相邻碳原子之间的结合力较强, 而层与层的碳原子之间结合力较弱, 即层与层之间容易滑动, 这就是石墨具有良好的润滑性能的原因。

当前药筒热挤用的润滑剂是油基石墨悬浮液, 即气缸油 (32 号以上) 与石墨的混合液。其体积比为石墨粉: 气缸油 = 4: 6, 可根据使用情况调整比例。这种油基石墨虽然有不少优点, 但最大的缺点是在涂覆模具和挤压时产生火焰和大量烟雾, 影响环境和工人健康, 此外, 这种黑色油剂也严重地污染了作业场地, 因此目前迫切地需要研制一种新的热挤孟润滑剂来替代它。

(2) 玻璃型润滑剂。玻璃在  $450\sim 2200^{\circ}\text{C}$  间都具有良好的润滑性能。玻璃在高温下熔融软化, 且牢牢地粘附在金属表面, 因而呈现良好的润滑性能。

由于成分不同, 玻璃的耐热程度也不同, 因此不同挤压温度可用不同成分的玻璃来作润滑剂。  $480\sim 640^{\circ}\text{C}$  可用氧化铝与氧化硼玻璃,  $1100^{\circ}\text{C}$  以上的可用硅酸盐基玻璃。  $1100\sim 640^{\circ}\text{C}$  可用硼酸盐基玻璃。

玻璃型润滑剂的优点是隔热性好, 其导热系数为  $0.002\text{cal}^{\text{①}}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$ , 而石墨为  $0.038\text{cal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$ , 高温附着力强, 能承受高压, 化学稳定性好, 不存在渗碳问题。其缺点

①  $1\text{cal}=4.18\text{J}$ 。

是残留在工件和模具上的玻璃渣会擦伤工件表面和使模具加快磨损，且去除困难。其次这种润滑剂的加工制造比石墨困难。

当前由于我国石墨资源丰富，故普遍使用石墨型润滑剂。玻璃型润滑剂在西欧和美国使用较多。水剂石墨润滑剂是当前热挤压润滑剂的发展方向，它克服了油剂燃烧产生的烟雾。它是用20~22%石墨，加入16~18%填充剂（碳酸盐和磷酸盐），使填充剂中的结晶水脱出供给石墨以提高润滑性能，另加1~3%表面活性剂，降低水与石墨的表面张力，以增强石墨的湿润性。

#### 4. 模具的预热

热挤压前一定要预热冲子和凹模，否则室温的模具与高温的毛坯和孟子接触时模具表面温度剧增，造成很大的热应力，日久后表面产生龟裂而报废。对于工件来说，表面剧冷，形成表面温度与中心温度差增大，使工件变形不均匀，孟子质量下降。

预热方法是反复地把加热的毛坯或废孟子放在模具内，放几次后模具温度可达到200~300℃。

挤孟前必须涂刷润滑剂在冲子和凹模的工作部分，涂刷必须均匀，否则会由于润滑不均而产生壁厚差、口偏斜。

应经常清除留在凹模内的氧化皮，尤其是底冲的孔内，否则会引起底厚减小及底厚偏差，此外氧化皮还会增加模具的磨损。

## 二、孟子尺寸的确定

### 1. 变形程度

与冷挤压一样，热挤孟也是由实心圆坯反挤成孟形件，因此变形程度表示方法与冷挤压相同。但由于脱模需要，热挤孟的冲子和凹模都有斜度，因此计算变形程度时应按凹模的最小直径与冲子的最大直径计算，即

$$K_u = \frac{d_u^2}{D_o^2} \times 100\%$$

式中  $K_u$ ——热挤孟变形程度；

$d_u$ ——冲子最大直径（在口部）；

$D_o$ ——凹模最小直径（对倒锥凹模在口部，顺锥者在下部）。

与冷挤压不同，热挤压由于变形力小，反挤变形程度可以不受压力机吨位和工件（冲子）相对高度（ $h/D < 2.5$ ）的限制。根据生产实践，热挤压冲子工作直径  $d_u$  与冲子工作部分长度  $h_2$  之比可达到<sup>[6]</sup>：

当  $d_u = 10 \sim 20\text{mm}$  时， $h_2 = (2 \sim 3)d_u$ ；

当  $d_u = 20 \sim 40\text{mm}$  时， $h_2 = (3 \sim 4)d_u$ ；

当  $d_u = 40 \sim 80\text{mm}$  时， $h_2 = (4 \sim 5)d_u$ ；

当  $d_u = 80\text{mm}$  时， $h_2 = (5 \sim 7)d_u$ 。

但是这并不是说孟子可以挤成壁很薄而高度很大。试验表明用不同的变形程度  $K_u$  热反挤孟子，其相对壁厚（口部壁厚  $t_k$  与孟子不含底厚的高度  $l_u$  之比）分别为22%、20%、18%、16%、10%、8.8%、8.5%，结果表明  $t_k/l_u > 0.088$  时孟子质量均能令人满意，相对壁厚过小会使孟子壁厚差增大<sup>[7]</sup>。

所以在确定挤孟变形程度时还应校核在这个变形程度下孟子的相对壁厚，目前我国药筒生产中一般取  $K_u=65\sim75\%$ ， $t_k/l_u=10\sim20\%$ 。一些药筒的热挤数据列于表 1-9。

表 1-9 几种药筒的  $K_u$  和  $t_u/l_u$

| 产品口径/mm | $t_u$ /mm | $l_u$ /mm | $K_u/\%$ | $(t_u/l_u) \%$ |
|---------|-----------|-----------|----------|----------------|
| 57      | 11.2      | 55        | 64.8     | 20.4           |
| 85      | 12        | 92        | 66.5     | 13             |
| 152     | 14.46     | 86        | 72.5     | 16.8           |

2. 底部厚度  $t_d$

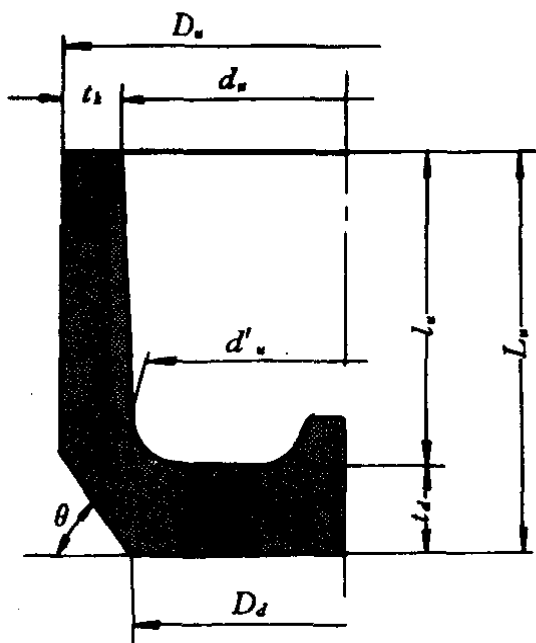


图 1-36 热挤孟孟子形状

热挤孟孟子形状如图 1-36 所示。其形状与冷挤压孟子相似，只是底部多一个凸台。

药筒底部有强度要求，这个强度可以通过压底后的加工硬化或成品前的淬火达到。

大部分药筒都是通过压底(底部厚度的减薄)来提高强度的。因此孟子底厚  $t_d$  应比成品厚度  $t_{dy}$  大，其计算方法与冷挤孟相同，即

$$t_d = \frac{t_{dy}}{1 - K_d}$$

式中  $K_d$ ——达到底部要求强度所需的压缩率，见图 1-27。

对于用淬火达到产品强度的药筒，则孟子底厚  $t_d$  等于压底药筒半制品底厚即可，即比药筒成品的

底厚大一个机加余量。

严格地说，确定  $t_d$  时还应考虑到各次引伸中引伸模锥角对底厚的影响，但因其数量很难确定以及数值不大，且  $t_d$  可在生产中调整，故设计中可不予考虑。

3. 凸台尺寸

凸台是为制造底火室而设计的。对于板料冲压的药筒孟子，底火室凸台不是在冲孟时形成的，而是在冲孟后的打凹和镦锥工序形成凸台和底锥的（见图 3-44）。

用打凹来形成凸台的变形过程中，凸台端部承受较大的拉应力，如果材料的延伸性能不好，会形成辐射形裂纹。

热挤孟的变形方法完全可以压出凸台，但与打凹工序相比，没有形成底火室，底火室是在以后的压底工序中在冷状态挤压而成，以提高底火室强度。根据底火室成形时的变形特点，凸台的尺寸设计应遵循以下原则（图 1-37）。

(1) 挤孟凸台高度  $h_i$  略低于压底凸台高度  $h_y$ 。即凸台处在略有延伸变形后即与打凹冲的底凹接触，产生压应力。这个差值太大，则因延伸量过大而可能产生裂纹，太小则压底小冲（即形成底火室的小冲子）受力太大，会降低寿命，因为压底小冲在形成底火室过程中承受着类似反挤压凸模的变形力。

(2) 挤孟凸台直径  $d_i$  略小于压底凸台直径  $d_y$ 。使凸台能进入压底冲子的内凹处，更主要的是改善小冲在压底火室时的受力状况，即使凸台先形成镦粗式的变形（高度压缩，径向自由延伸），然后再反挤成底火室。

(3) 孟子凸台体积应等于压底后半制品的凸起部体积(不含底火室体积),即图 1-37 中的阴影部体积相等。孟子凸台体积过大,则为了挤出多余金属,小冲要增加很大的变形力,从而降低了小冲寿命。而且在凸台与内底面交界处会形成环形皱折。孟子凸台体积过小,则压底后凸起部不能充满或不饱满,凸起部横向壁厚不够,且强度低,在射击后底火螺纹处变形大,卸底火困难。凸台与冲子的配合关系见图 1-37c。

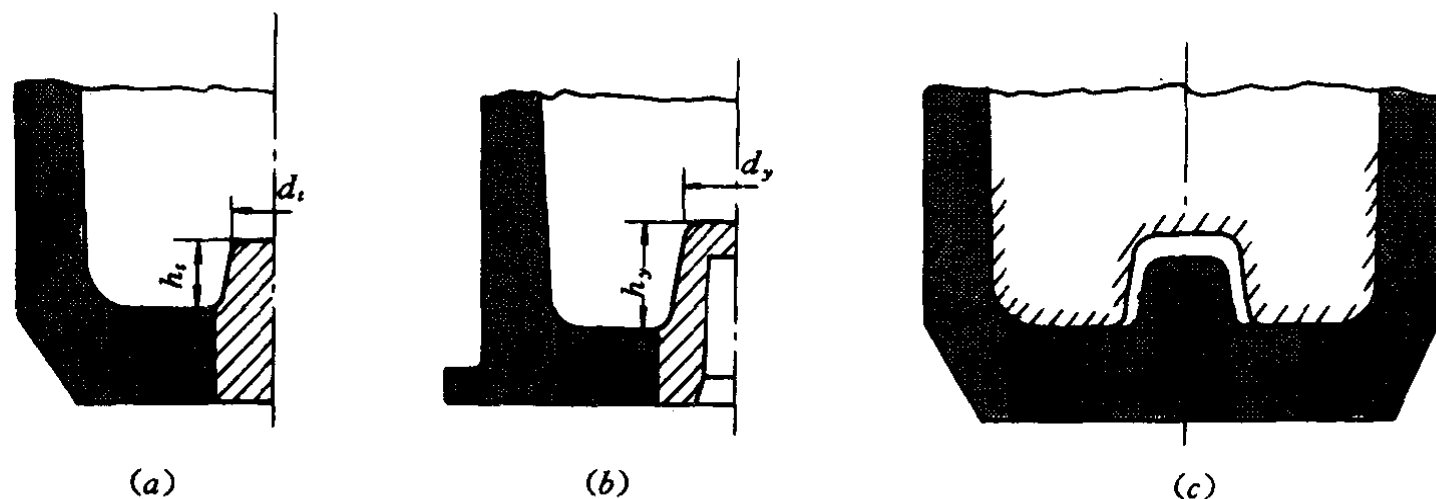


图 1-37 底部凸起设计

#### 4. $D_d$ 、 $\theta$ 、 $t_\theta$

$D_d$ 、 $\theta$ 、 $t_\theta$  的确定方法与冷挤压相同。

#### 5. 口部内径 $d_u$

挤孟孟子是根据一引模具(或工件)尺寸用逆推法确定的。

$$d_u = d_1 + C_k$$

式中  $d_1$ ——一引孟子口部内径;

$C_k$ ——孟子与一引冲子上部间隙,取  $C_k = 0.6 \sim 1\text{mm}$ 。

#### 6. 孟子下部内径 $d'_u$

$$d'_u = d'_1 + C_K$$

式中  $d'_1$ ——一引冲子下部直径。

#### 7. 孟子外径 $D_u$

根据加工率定义的公式  $K_1 = \frac{(F_u - F_1)}{F_u}$ ,可推导出计算孟子外径的公式为

$$D_u = \sqrt{d_u^2 + \frac{D_1^2 - d_1^2}{1 - K_1}}$$

式中  $D_1$ ——一引凹模工作直径;

$K_1$ ——一引口部加工率。

#### 8. 孟子内部高度 $l_u$

$$l_u = (1 - K_u) l_1$$

式中  $l_1$ ——一引半制品内部高度。

这个计算是近似的,因为孟子口部和下部壁部加工率是不同的。

#### 9. 孟子口部壁厚 $t_k$

$$t_k = \frac{1}{2} (D_u - d_u)$$

### 三、冲子尺寸的确定

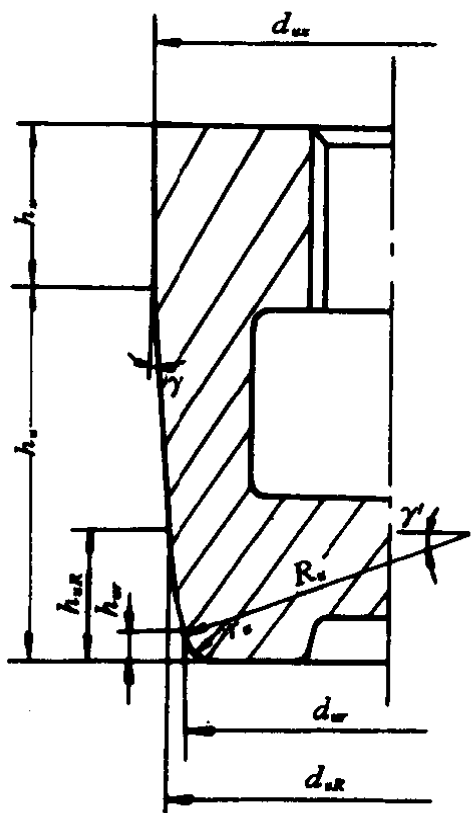


图 1-38 热挤冲子形状和尺寸

冷冲压加工时半成品内径和外径可以认为分别等于冲子直径和凹模直径，但在确定成品最终尺寸时，则半成品尺寸和模具的尺寸换算还应考虑到成品的公差、冲压制品的回弹、模具的制造公差和使用时的磨损量。在设计热挤孟冲模尺寸时还应考虑到挤压孟子冷却后的收缩量。

热挤孟冲子形状如图 1-38 所示。端面有凹窝以形成工件的凸台，斜锥与底面用一个大圆弧  $R$  和一个小圆弧  $r$  过渡，也可只用一个  $R$  过渡（以后者用得最多）。冲子工作部位的中间开一空腔，内通循环冷却水。

#### 1. 上部直径 $d_{uz}$

上部直径相当于确定孟子口部内径的部位。

$$d_{uz} = d_u (1 + \alpha \Delta t)$$

式中  $d_u$ ——孟子口部内径；

$\alpha$ ——材料线膨胀系数， $1/^\circ\text{C}$ ，对钢  $\alpha = (14 \sim 15) \times 10^{-6}$ ；

$\Delta t$ ——温度降低值，即挤孟终了温度与室温之差。

#### 2. 大圆弧上切点直径 $d_{uR}$

$$d_{uR} = d'_u (1 + \alpha \Delta t)$$

式中  $d'_u$ ——孟子下部内径，即与  $R$  相切处的内径。

#### 3. 大小圆弧相切点直径 $d_{ur}$

根据几何关系有

$$d_{ur} = d_{uR} - 2R_u (\cos \gamma - \cos \gamma')$$

式中符号见图 1-38，其中

$$\gamma' = \sin^{-1} \frac{h_{uR} - h_{ur}}{R_u - r_u}$$

$$\gamma' = \tan^{-1} \frac{d'_u - d_{uR}}{2(l_u - h_{uR})}$$

#### 4. 斜锥高度 $h_u$

$h_u$  应等于孟子内部高度  $l_u$ ，但  $l_u$  计算不会很准确，为保证孟子口部在冲子锥面上，以便脱料，可将锥体高度适当放大，有

$$h_u = (1.15 \sim 1.20) l_u$$

#### 5. 圆柱部直径 $d_{uz}$

$$d_{uz} = d_{uR} + 2(h_u - h_{uR}) \tan \gamma$$

#### 6. 大、小圆弧 $R$ 、 $r$

药筒成品内底转角处均用  $R$  和  $r$  过渡，但一引冲子头部不一定都设计成有  $R$  和  $r$  的形式。当一引冲子只有一个  $r$  时，挤孟冲子也设计成一个  $r$ ；当一引冲子有  $R$  和  $r$  时，挤孟冲既可设计成有  $R$  和  $r$  的，也可设计成一个  $r$  的，而以后者为多数。

$r_u$  的设计可用以下两种方法进行, 即

$$r_u = r_n + n\Delta r$$

$$r_u = r_1 + (2 \sim 4)$$

式中  $r_n$ ——末引冲子小圆弧半径;

$r_1$ ——一引冲子小圆弧半径;

$n$ ——引伸次数;

$\Delta r$ ——小圆半径平均递增量,  $\Delta r = 0.5 \sim 1$ 。

$R_u$  一般取等于或小于—引冲子的大圆弧半径  $R_1$ 。

7. 大圆弧上切点高度  $h_{uR}$

$h_{uR}$  取比—引冲子相应部位尺寸小的数值, 这样可使挤孟和—引冲子弧形部的间隙均匀。

8. 大小圆弧切点处高度  $h_{ur}$

根据几何关系有

$$h_{ur} = r_u (1 - \sin \gamma')$$

9. 圆柱部高度  $h_z$

圆柱部高度  $h_z$  由模具结构确定。

10. 冲子斜角  $\gamma$

挤压件的壁厚上下相等时, 冲子可以设计成与冷挤相同的形状, 即冲子没有斜角, 但会使脱模时工件卡在凸模上, 要有专门的凸模卸料装置。

当挤压上壁薄、下壁厚的孟子时, 可使用带锥度的冲子, 其优点是从冲子上脱料容易, 缺点是摩擦力大, 增加了挤压力。

由于模具结构的原因, 当前药筒工厂对模具设计均是让工件留在凹模中, 由顶料杆通过凹模下可以活动的底冲将工件顶出。这样, 必须使冲子有较大的斜角, 凹模不但不能有脱模斜度, 而且应有倒锥角。一般取  $\gamma = 3.5 \sim 4^\circ$ 。

热挤孟冲子是在高温下工作的, 连续工作时, 表面最高温度可达  $600 \sim 700^\circ\text{C}$ , 因此要求冲子材料具有高温强度大、耐磨和回火脆性低的性质。传统的冲子材料为 3Cr2W8 或 3Cr2W8V, 但寿命很低, 仅冲数百件, 破坏形式为圆弧部鼓凸和划伤。新开发的凸模材料为 6Cr4Mo3Ni2WV, 使用实践表明, 其寿命为前者的三倍。热处理硬度为 HRC50~53。

#### 四、凹模尺寸的确定

热挤孟凹模的常用形状如图 1-39 所示, 这种结构是凹模底部开通孔, 通孔内放底冲, 底冲上的变形力由底冲下的模垫承受, 再传到压力机工作台上。其主要尺寸的确定如下:

1. 凹模工作直径  $D_{um}$

不论凹模型腔是圆柱形、锥形或倒锥形, 计算工作直径均以小端直径为基准。

$$D_{um} = D_u (1 + \alpha \Delta t)$$

式中  $D_u$ ——热挤孟孟子外径。

2. 凹模大端直径

根据凹模型腔的半锥角  $\alpha$  和型腔高度计算而得。如  $\alpha = 0^\circ$ , 即为  $D_{um}$ 。

3. 凹模斜角  $\alpha$

我国的热挤孟多在水压机上进行, 其模具结构中都无导柱、导套作导向装置。冲子和凹

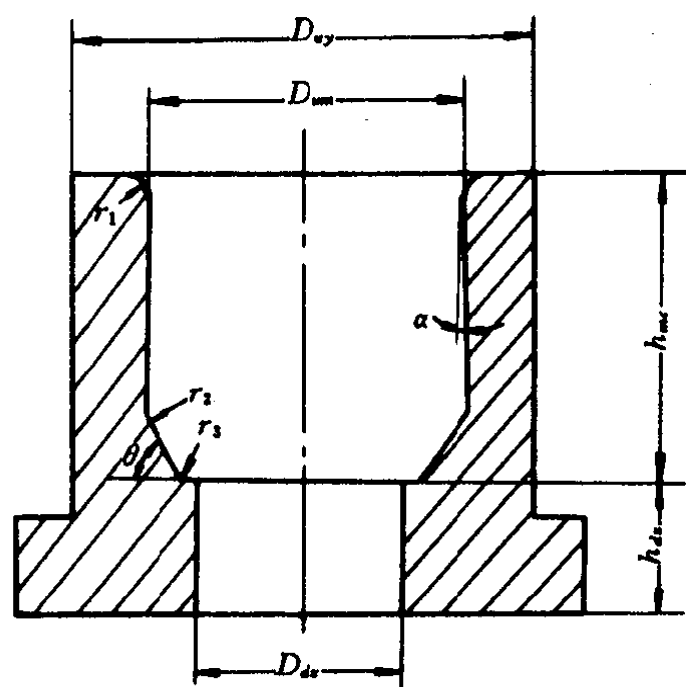


图 1-39 挤孟凹模

模的导向又不能象冷挤孟那样用冲子在凹模内导向，因为挤孟时冲子凹模的温度变动大。现行的方法都是用盖板导向，即在凹模上设有盖板，它与凹模外径相配合，盖板中的内孔用来导引冲子，详见以后的模具结构图。这种导向方式从结构上无法实现从冲子上卸料。为此必须从模具设计上保证热挤孟后工件留在凹模内，否则如工件被冲子带出，则卸料困难，且随着工件的冷却，工件将越抱越紧。

凹模斜角  $\alpha$  越大，工件越易留在凹模内，但这会使从凹模内顶出工件的力增大。 $\alpha$  角大小还与冲子斜角  $\gamma$  有关， $\gamma$  大， $\alpha$  可取小。现行的  $\alpha$  角为  $0 \sim 30'$ 。

#### 4. 根形角 $\theta$

$\theta$  角与孟子的  $\theta$  角相等。但从模子寿命角度出发， $\theta$  角越小模具寿命越低，因为  $\theta$  角越小，锥形面上的正压力越大，磨损越严重。

#### 5. 模腔高度 $h_{mc}$

由于孟子壁部是上薄下厚，因此挤压时孟子应全部被凹模所包容。即凹模型腔高度应大于孟子高度，有

$$h_{mc} = L_u + (10 \sim 25)$$

式中  $L_u$ ——孟子全高。

#### 6. 底冲孔直径 $D_{dz}$

底冲是形成孟子底部形状之工具，所以直径应等于孟子底平面直径  $D_d$ 。但如果这样设计底冲孔直径则由于底冲端面位置不好控制，锥面和底面交界处易出现毛刺或飞边。因此底冲孔直径一般按下式计算，即

$$D_{dz} = D_d - (4 \sim 10)$$

式中  $D_d$ ——孟子底面与锥面交接处的直径。

底冲孔的高度  $h_{dz}$  一般  $> 45\text{mm}$ 。

#### 7. 凹模外径 $D_{uy}$

$$D_{uy} = (1.5 \sim 2.0) D_{um}$$

也可采用两层组合凹模。

#### 8. 圆角半径

$r_1$  是为使坯料易于进入凹模而设， $r_1 = 3 \sim 5\text{mm}$

$r_2$  是便于金属流动，并为防止淬火时形成应力集中而设。 $r_2 = 15 \sim 20\text{mm}$ 。

$r_3$  的作用同  $r_2$ ，通常取  $r_3 = 5 \sim 10\text{mm}$ 。

热挤孟凹模材料与冲子相同，但热处理硬度为 HRC42~48。如用两层组合模，则外套用 45 号钢，淬火硬度为 HRC38~45。

## 五、底冲

底冲的作用是形成孟子底部外形，其次是作为顶料冲把工件从凹模内顶出，下行时又承接挤压毛坯。其形状如图 1-40 所示。

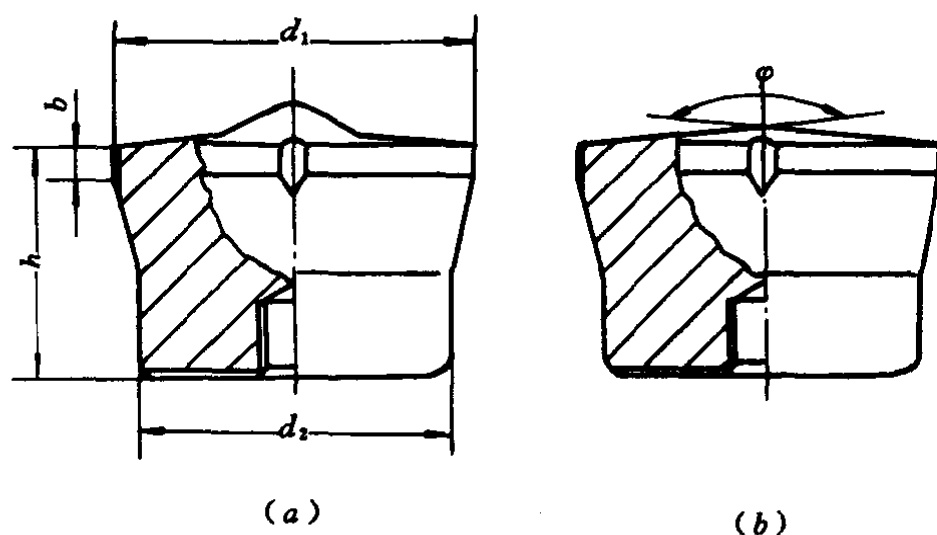


图 1-40 底冲

(a) 带凸台的底冲；(b) 无凸台的底冲

### 1. 外径 $d_1$

$$d_1 = D_{dx} - (0.1 \sim 0.3)$$

此间隙值过大则易形成毛刺，过小会与底冲孔形成紧配合。

### 2. 全高 $h$

理论上讲底冲高应等于底冲孔高，但挤压时由于两个零件受力不等，弹性变形量不同，一般取底冲略高于底冲孔高度  $h_{dx}$ 。

$$h = h_{dx} + (0.5 \sim 1)$$

### 3. 导引部宽度 $b$

$b$  值过大会增加该处的摩擦力， $b$  过小则导向定位不好。取  $b = 5 \sim 10\text{mm}$ 。为利于排气和排出多余的润滑油，可在  $d_1$  上开几个小凹槽，见图 1-40。

### 4. 直径 $d_2$

$$d_2 = d_1 - (4 \sim 10)$$

$d_2$  和  $d_1$  的过渡可用一个锥度或锥度加圆柱。

### 5. 顶锥角 $\varphi$

底冲顶锥角  $\varphi$  可使孟子底平面呈微小的凹锥形，可使孟子立放平稳，压底时工件易于对中，此外带凸台的底冲也可以预制底火室。一般取

$$\varphi = 175^\circ \sim 178^\circ$$

底冲材料及热处理硬度与挤孟冲同。

## 六、热挤孟模具结构

在曲柄压力机上反挤等壁厚孟子的通用模具结构如图 1-41 所示。冲子 16 通过压紧圈 4 将它固定于上模板 2。凹模 15 通过锥面的压紧圈 14 固定在下模座 12 上，冲子和凹模的导向是靠导柱 11 和导套 6 的导引保证的。卸料板 17 可以对冲子上的工件进行卸料。留在凹模中的工件由顶料杆 13 顶出。

挤孟模的侧面有上砧块 5 和下砧块 8，可对坯料进行墩粗，以去除氧化皮和改变毛坯的直

径。9 为改变两砧距离的高度调节块。

凹模外形上有两道槽，通冷却水或压缩空气，冷却凹模。整个模具的活动部分是通过模柄 1 与压力机滑块连接的。

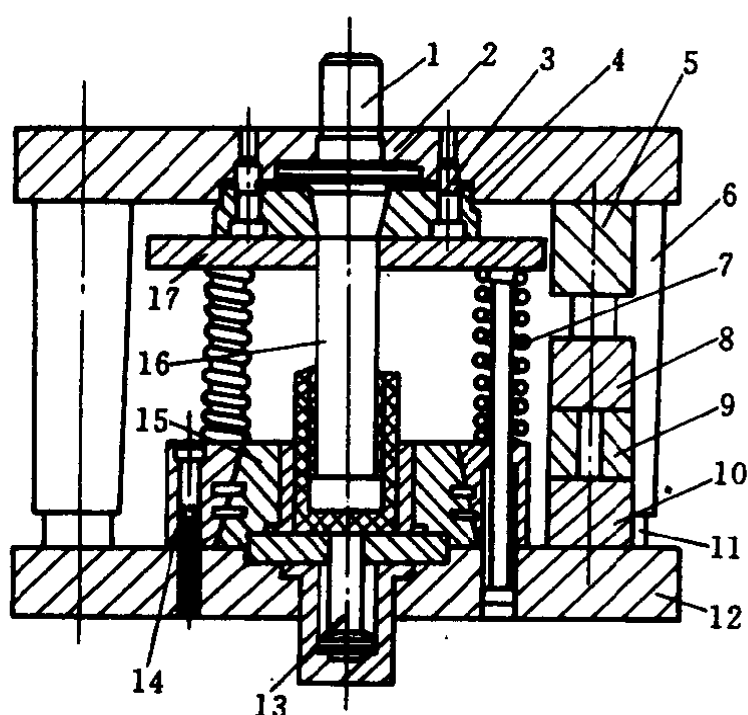


图 1-41 热挤孟模具典型结构

1. 模柄；2. 上模板；3. 螺钉；4. 压圈；
5. 8. 砧块；6. 导向套；7. 弹簧；9. 高度调节块；
10. 砧座；11. 导柱；12. 下模座；13. 顶杆；
14. 压圈；15. 凹模；16. 冲子；17. 卸料板

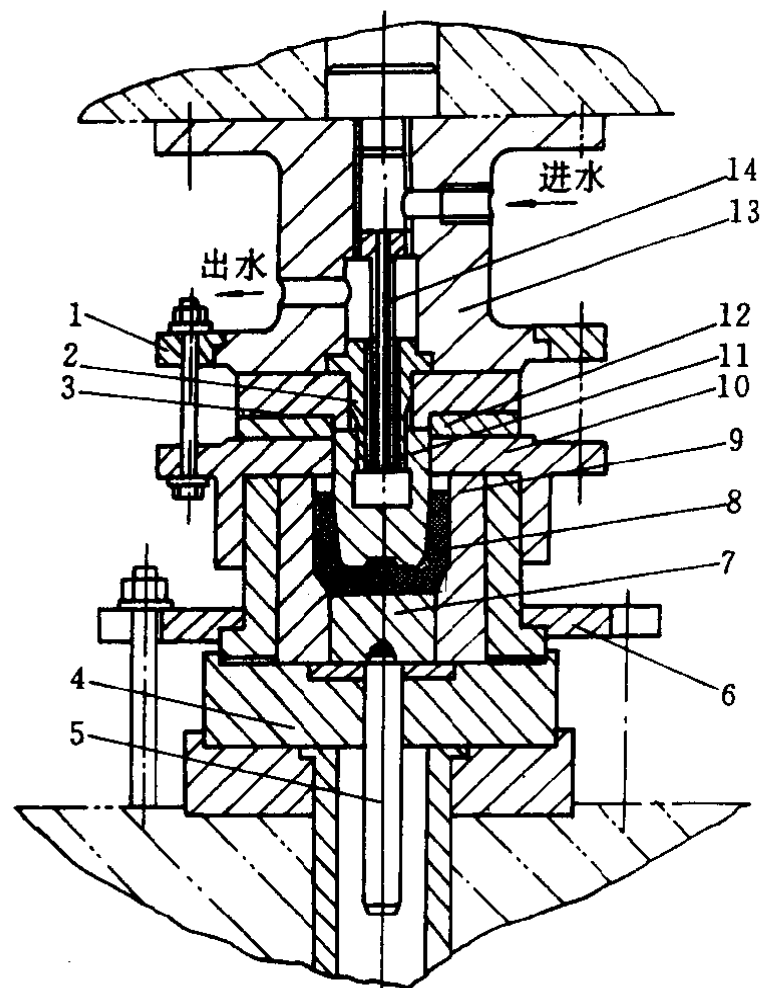


图 1-42 药筒热挤孟模具结构

1. 联接环；2. 接螺；3. 冲垫；4. 模垫；
5. 顶料杆；6. 压模圈；7. 底冲；8. 孟子；
9. 凹模；10. 导向盖；11. 冲子；12. 底厚调整垫；13. 冲座；14. 水管

图 1-42 为药筒工厂使用的药筒热挤孟模具结构。冲子 11 通过其上的螺纹与连接螺杆 2 相结合，通过冲垫 3、底厚调整垫片 12、导向盖 10 与冲座 13 固紧，冲座固定在水压机动横梁上。连接螺杆 2 内通入冷却水，以冷却冲子。凹模 9 通过压圈 6 与模垫 4 一起压紧在工作台面上，导向盖以 0.4~0.7mm 的间隙与凹模外经相配合（此间隙主要考虑凹模的热膨胀量），导向盖的导向孔以 0.1~0.2mm 的间隙与冲子配合（此间隙主要考虑冲子的热膨胀量），由于冲子和导向盖没有相对运动，故导向盖不能卸料，所以冲模设计时一定要保证热挤压后工件留在凹模内。底冲 7 通过顶料杆 5 将工件顶出。底冲升起时端面不应超过凹模端面，以便毛坯能在凹模内定位后平稳下落。模垫 4 的上平面有凹槽，供凹模定位之用，中间的孔作顶料杆 5 的导向用。孟子底厚可用改变底厚调整垫片 12 来调整。

## 七、热挤孟力计算

孟子挤压属反挤，热反挤挤压力的计算公式较多，现推荐两个如下：

$$P = 0.785 \left( 8 + \frac{1}{(D/d) - 1} \right) d^2 \sigma_b$$

$$P = 0.785 d^2 \times 1.1 \left( 2 + \frac{4\mu l_n}{D-d} + \frac{\mu d}{3t_d} \right) \sigma_b$$

式中  $d$ ——冲子工作直径，对带斜度的冲子取孟子内高  $l_n$  处的直径；  
 $D$ ——凹模最小工作直径；  
 $l_n$ ——孟子内高；  
 $t_d$ ——孟子底厚；  
 $\mu$ ——摩擦系数，对石墨型润滑剂，取  $\mu=0.27\sim0.30$ ；  
 $\sigma_b$ ——挤压终了温度下，被挤压材料的强度极限（表 1-10）。

表 1-10 低碳钢在不同温度下的强度极限（MPa）

| 钢 号 \ 温度/℃ | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
|------------|-----|-----|-----|-----|------|
| 15         | 123 | 55  | 47  | 44  | 27   |
| 20         | 238 | 127 | 89  | 75  | 47   |
| 30         | 265 | 147 | 98  | 77  | 48   |

### 八、热挤孟工序质量分析

对热挤孟孟子要求表面光洁，无裂纹、擦伤、道线，尺寸在公差范围内，且对称。生产中常见的疵病及其原因如下：

#### 1. 壁厚差及口倾差

壁厚差是指孟子的壁厚在对称位置上一边壁厚，一边壁薄，厚壁与薄壁之差值即称壁厚差，显然壁厚差越小越好。口倾斜是指挤出的孟子口部端面一边高，一边低。

以上疵病显然是由于毛坯和冲模中心线不重合，或毛坯、冲模的底面和中心线不垂直所致，具体地说，有导向盖未起导向作用（间隙过大、导向长度不足）冲子和模子的工作直径与底平面不垂直、毛坯两平面与中心线不垂直、毛坯加热不均、润滑剂涂刷不均等。

#### 2. 底厚超差及底厚差

孟子底厚不是由工具保证的，而是由模具调整结果达到的，即调节底厚调整垫片达到的。因此如果正常生产中偶尔出现底厚超差，则可能是毛坯加热不均或操作中冲子未到位。底厚差可能是工具端面垂直度不合格所致。此外底冲下氧化皮堆积会引起底冲端面倾斜。

#### 3. 表面质量不好

主要是道线（即孟子表面出现一条条纵向线痕）。模具内压入异物或润滑剂内有硬脏物都可以形成道线，冲子或凹模破损也可以引起道线，但道线的位置是固定的。

为了消除热挤孟孟子的壁厚差和表面疵病，在一引后有车外圆工序。

## § 1.5 覆铜钢板制造

覆铜钢是在钢板的两面覆以 H90 铜层制成的钢板。是一种由两种不同性质的金属组成的双金属材料。钢板表面的铜层在冲压时可以改善与冲模的润滑条件，只要用肥皂液作润滑剂即可，在贮存中铜也是一个极好的防护层。所以在枪弹中（尤其是步枪弹和手枪弹）使用很多。药筒制造中不使用覆铜钢，即使是用板料冲压法制造孟子的药筒也不能用覆铜钢制造。因为药筒制造与枪弹弹壳制造相比，机械加工工序较多，如药筒口部的搪口（车口部内圆）、车底缘、底平面、接际部、车铣底火室、铣火台凸起部等。这样，表面铜层切去许多，药筒仍需防腐处理，另外药筒表面有 H90 铜和钢的防护层两种颜色，极不美观。

曾经设想过采用单面覆铜钢板，即只在钢板的一面覆 H90 铜，以节省一半铜材。冲压时把有铜的一面放在外表面，这样既不影响润滑，又可起防腐作用，但未获通过。

根据枪弹生产要求，H90 铜的厚度是钢板厚度的 3.4~4%。

双金属片的生产方法有以下几种：

(1) 轧制法：把将要结合的一种金属板料的表面洗净、刷光、固定，在还原性炉气中加热（防止将结合的表面氧化），用热轧将两种金属焊合成一体。

(2) 熔覆法：经表面净化处理过的钢板，通过熔融的金属槽，使该钢板表面焊覆一层金属。

(3) 烧铸法：较厚的钢板（一般是不等边的六角形截面，厚向薄，横向宽）表面刷净后置于模中，浇入另一种金属，使它们焊合在一起，然后轧成一定厚度。

我国的覆铜钢板生产采用轧制法，现介绍其主要生产工序：

(1) 钢坯和 H90 铜片表面清淨：为保证铜和钢的焊合，必须将钢和铜接触的表面处理干净，使其表面呈现出金属光泽。可以用酸洗、喷砂或刷光等方法达到。

(2) H90 铜片与钢坯的固定：将已刷光的铜片根据钢坯的厚度弯成“U”形（刷光面在内），套在钢坯外，两端对齐，并作简易的固定，以防加热和轧制前两金属产生相对移动。固定的方法有以下几种：

点焊：将坯料压紧，在铜层的开口端焊上 1~2 点，使两者固定。这种方法操作简便，缺点是焊点不牢，加热时易脱开，故目前尚未普遍使用，但这是一种比较理想的方法。

电弧焊：把铜片与钢坯对齐、压紧，用电弧焊在其开口处焊几点。

压合法：在距钢坯端面 6~8mm 处用辊压法各压出宽 25mm，深 2mm 的沟，铜片对准钢板后用压合机将铜片压入钢坯的沟槽中。此法的缺点是沟槽以外的部分往往粘合不牢，轧后成为废品。

(3) 加热与热轧：这是保证两种金属焊合的重要工序。为保证焊合质量，应掌握以下三个主要因素：

① 轧制前两种金属接触的表面应保持干净，不能有油污、氧化、锈迹，否则这些表面会不焊合，形成废品。

② 加热温度和炉气：加热温度高，则开轧温度高，金属易焊合。但覆铜钢的加热温度不能太高，一般为 850~920℃，过高则 H90 钢会熔化，虽然这个温度对钢的轧制显得低了。

加热是在保护炉气（还原性气氛）中进行，以防将要焊合的面上金属氧化。

出炉到开轧这段停留时间也很关键，应越短越好。因为铜片很薄，极易冷却，尤其在冬天，停留时间长则开轧温度低，对焊合不利。此外，停留时间长也增加了焊合面氧化的可能性。

③ 第一、二道次用大的压下量，一般取相对压下量为 40%，因为这时温度高，加之大压下量使金属流动剧烈，极易焊合。

(4) 冷轧、退火、酸洗、切边。

## 第二章 变薄引伸原理

### § 2.1 概 述

变薄引伸是一种把孟子壁部变薄的引伸,其变形方式如图 2-1 所示。适于制造厚底、薄壁、变壁厚、大高度的圆筒形零件。

与一般引伸相比,变薄引伸具有以下特点:

(1) 一次引伸可以得到较大的高度。一般每引伸一次筒形件高度可以增大近一倍。

(2) 可以制造出沿高度不等壁厚的零件。如图 2-2 中只要将冲子设计成不同的斜度,即可得到变壁厚的零件。

(3) 可以制造出壁厚与底厚不等的零件,尤其适合厚底薄壁零件,也可以制造长管形零件。如果制造长管形件,则可用反挤法制造薄底厚壁的零件,引伸完毕将底冲去即成管形件。

(4) 可以得到壁部强度很高的零件。经过多次无中间退火的变薄引伸,壁部产生强烈的加工硬化,强度可以提高一倍以上。

(5) 零件的精度高,光面极为光洁。

军工产品中有不少零件特别适合于用变薄引伸制造。如枪弹(含其零件)、火炮药筒、炮弹弹体、雷管壳、火箭弹燃烧室等等,民品中适合用变薄引伸制造的有氧气瓶、易拉罐、钢笔套、灭火器壳等。军工产品中大多是相对高度很大的产品,如制式的枪弹、药筒的相对高度均在 4.2~5.0 之间,个别的还大于 6,不少是变壁厚、厚底薄壁,有的要求强度比原材料高一倍以上,且精度高,表面光洁,以及产量极大。变薄引伸在枪弹药筒的冲压成型中占有重要的地位。

由于零件的尺寸不同,设备不同以及模具设计方法不同,变薄引伸有以下几种方式:

(1) 普通变薄引伸:这种引伸比较典型,冲子直径仅比毛坯(孟子)小一个间隙值,以便直插孟子内底部,引伸后工件外径的缩小主要是由于壁减薄引起的。适合于厚底、薄壁、大高度的筒形件制造。

(2) 内径缩小的变薄引伸:这种引伸的冲子直径比孟子内径小很多,既有直径缩小的变形,又有壁厚变薄的变形,相当于再引伸(再次拉深)和变薄引伸同时进行。对于底厚与壁

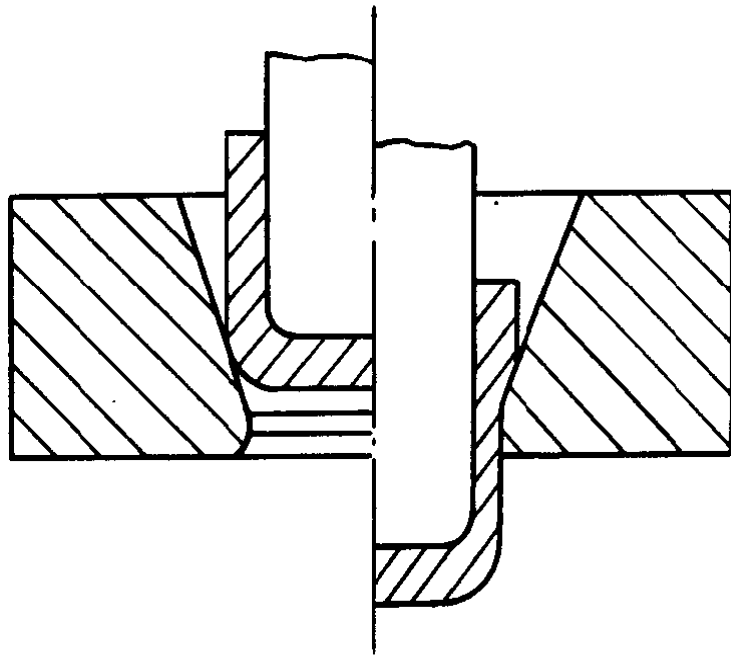


图 2-1 变壁引伸

厚相差不大的（即要求壁部变薄量不大的）细长零件的最后一次引伸就是用此法制造的。

(3) 变薄的首次引伸（又称变薄冲孟）：即在把平板圆毛坯冲压成筒形件时，壁部也产生变薄。对于厚底薄壁件，毛坯厚度很大（约等于底厚）而圆坯直径不大，因此冲孟的直径变形程度不大，为了减少以后的变薄引伸次数，在冲孟时即进行变薄。

(4) 多模连续变薄引伸（简称多模引伸）：即在普通的（单模的）变薄引伸凹模下面再安放几个引伸凹模，使工件同时在两个或两个以上的凹模内进行变薄引伸。这是一种高效率的变薄引伸方法。

(5) 变薄的首次引伸（变薄冲孟）与变薄引伸同时进行：即上模为变薄冲孟，下模为变薄引伸，在一次行程内完成。对于  $t/D$  很大的圆片冲孟，由于直径缩小很少（ $d/D$  很大），除了冲孟时壁变薄外，还可以在冲孟完成后再紧接着进行变薄引伸。由于冲孟的  $d/D$  大，孟子高度小，故一般来说工件不同同时在两个模内变形。

(6) 再引伸与变薄引伸同时进行：即上模为直径收缩，下模为壁部变薄。

(7) 单模多次变薄引伸：即普通变薄引伸后的工件不经中间退火再进行多次单模引伸。

用变薄引伸直接制成零件的情况不多，变薄引伸都是与冷挤压（反挤、正挤）、缩口、冷镦等工序配合来制成产品的。例如药筒就是由挤压、镦底、收口、变薄引伸和少量切削加工等工序制成的。但对这种高径比（ $h/d$ ）大的薄壁件，变薄引伸无疑是主要工序。

## § 2.2 变薄引伸变形过程的力学分析

变薄引伸的变形力学分析（即凹模出口处拉应力的计算）的方法很多，现介绍三种有代表性的解法。

### 一、波波夫推导<sup>[8]</sup>

#### 1. 为简化问题而作的假设

(1) 在凹模、冲子与金属的接触面上，其正压力的水平分力为  $q$  取相同数值。实际情况是由于冲子与凹模的斜度不等，变形金属与冲子、凹模接触的面积是不相等的，所以  $q$  是不会相等的。

(2) 设纵向拉应力  $\sigma_1$  在横截面上的分布是均匀的。

(3) 冲子锥度予以忽略，因为实际上此斜角都小于  $1.5^\circ$ 。

由于以上简化，对于薄壁管件（ $t/D$  较小）可以当作平面应变来处理。

#### 2. 变形区应力分析

变形区微元体上所受的应力见图 2-2。其中凹模与金属的摩擦力方向是向上的，即阻止金属向下流动，而金属与冲子的摩擦力方向是向下的，即推动金属出变形区，其原因可作如下解释（图 2-3）：

设工件出凹模后移动距离为  $b$ ，则冲子的移动距离也为  $b$ 。在变形区内由于壁厚大于出口处（ $t_0 > t_1$ ），根据体积不变条件有

$$a = F_1 b / F_0 = k_1 b$$

式中  $F_0$ ——变形前截面积；

$F_1$ ——变形后截面积；

$k_1$ ——壁变薄系数。

由于  $k_1 < 1$ , 故  $a < b$ , 即金属在变形区内下移速度小于冲子下移速度, 所以摩擦力方向是向下的, 显然是对变形有利的。

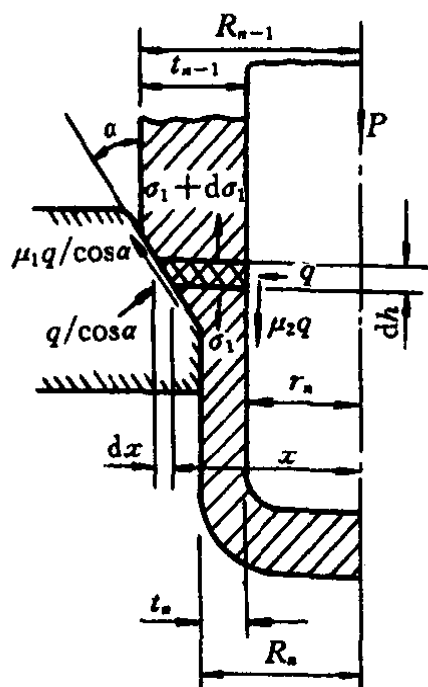


图 2-2 变薄引伸应力状态

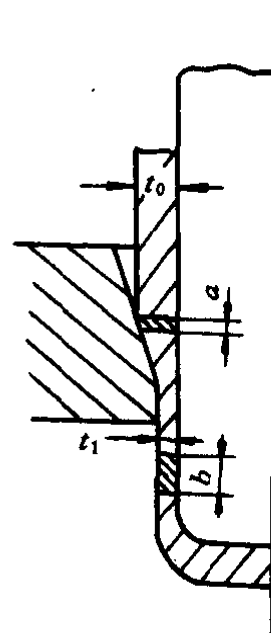


图 2-3  $\mu_2$  方向的确定

### 3. 求凹模出口处的拉应力 $\sigma_1$

建立平衡微分方程, 有

$$(\sigma_1 + d\sigma_1)(F_1 + dF_1) - \sigma_1 F_1 + 2\pi \frac{q}{\cos \alpha} x dx + 2\pi \mu_1 q x \frac{dx}{\sin \alpha} - 2\pi \mu_2 r_n q \frac{dx}{\tan \alpha} = 0 \quad (2-1)$$

式中  $q$ ——径向压应力;

$\alpha$ ——凹模半锥角;

$\mu_1$ ——凹模与变形金属的摩擦系数;

$\mu_2$ ——冲子与变形金属的摩擦系数;

$F_1$ —— $\sigma_1$  处的截面积。

将 (2-1) 式整理后可得

$$F_1 d\sigma_1 + \sigma_1 dF_1 + 2\pi q x dx \left[ \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{\mu_1}{\sin \alpha} - \frac{\mu_2 r_n}{x \tan \alpha} \right] = 0 \quad (2-2)$$

对 (2-2) 式进行简化:

$$x \approx \frac{R_n + R_{n-1}}{2} = \frac{2r_n + t_n + t_{n-1}}{2} = r_n + t_m$$

式中  $t_m$ ——平均壁厚,  $t_m = \frac{1}{2}(t_n + t_{n-1})$ 。

令

$$m_n = 1 + \frac{t_m}{r_n}$$

则

$$x = r_n t_m$$

令

$$A_0 = \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{\mu_1}{\sin \alpha} - \frac{\mu_2 r_n}{x \tan \alpha} \quad (2-3)$$

$$F_1 = \pi (x^2 - r_n^2)$$

$$dF_1 = 2\pi x dx$$

以上三项代入 (2-2) 式整理后得

$$2\sigma_1 x dx + (x^2 - r_n^2) d\sigma_1 + 2A_0 q x dx = 0 \quad (2-4)$$

根据简化的塑性方程有

$$\sigma_1 - (-q) = 1.15\sigma_s$$

式中  $\sigma_s$ ——变形金属的变形抗力。

得  $q = 1.15\sigma_s - \sigma_1$

代入 (2-2) 式得

$$2\sigma_1 (1-A_0) x dx + (x^2 - r_n^2) d\sigma_1 + 2.3A_0\sigma_s x dx = 0$$

积分边界为  $x$  由  $R_{n-1}$  到  $R_n$ ,  $\sigma_1$  由  $\sigma_1$  到 0, 则

$$\int_{R_{n-1}}^{R_n} \frac{2x dx}{x^2 - r_n^2} = \int_0^{\sigma_1} \frac{d\sigma_1}{\sigma_1(A_0 - 1) - 1.15A_0\sigma_s}$$

认为变形过程中摩擦系数不变, 则  $A_0$  为常数。由于产生加工硬化, 故  $\sigma_s$  为变量, 现以平均变形抗力  $\bar{\sigma}_s$  代替。积分结果为

$$\ln \frac{R_n^2 - r_n^2}{R_{n-1}^2 - r_n^2} = \frac{1}{A_0 - 1} \ln \frac{(A_0 - 1) \sigma_1 - 1.15A_0\bar{\sigma}_s}{-1.15A_0\bar{\sigma}_s}$$

$$\sigma_1 = \frac{1.15A_0\bar{\sigma}_s}{A_0 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{F_n}{F_{n-1}} \right)^{A_0 - 1} \right] \quad (2-5)$$

#### 4. 简化

从  $A_0$  的表达式 (2-3) 可知,  $A_0$  随  $\mu_2$  的增加而减小。由 (2-5) 式知  $A_0$  减小, 则  $\sigma_1$  也随之减小。当

$$\frac{1}{\cos \alpha} + \frac{\mu_1}{\sin \alpha} = \frac{\mu_2}{m_n \tan \alpha}$$

时  $A_0 = 0$ ,  $\sigma_1 = 0$ , 即引伸件出模口时不存在拉应力。而当

$$\frac{1}{\cos \alpha} + \frac{\mu_1}{\sin \alpha} < \frac{\mu_2}{m_n \tan \alpha}$$

时  $A_0 < 0$ ,  $\sigma_1 < 0$ , 即引伸件在凹模出口处受压应力。这时的应力状态为两向受压, 相当于挤压变形, 故变形程度可以加大。所以  $A_0$  是反映凹模半锥角  $\alpha$ 、摩擦系数  $\mu_1$ 、 $\mu_2$  和  $m_n$  对引伸应力  $\sigma_1$  影响的系数。

为了求出变形应力最小的凹模半锥角 (称为合理模角), 令  $A_0$  对  $\alpha$  的一阶导数等于零, 并为简化起见, 取  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ , 则

$$\frac{dA_0}{d\alpha} = \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - \mu \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \alpha} + \frac{\mu}{m_n \sin^2 \alpha} = 0$$

$$\text{得} \quad \tan^3 \alpha = \mu \left( 1 - \frac{1}{m_n \cos \alpha} \right) \quad (2-6)$$

式 (2-6) 为计算合理模角的公式。将  $m_n = 1.05 \sim 1.20$ 、 $\mu = 0.05 \sim 0.30$  代入 (2-6) 式, 得  $\alpha = 5^\circ \sim 20^\circ$ , 这些数据代入 (2-3) 式, 得  $A_0 = 1.03 \sim 1.27$ , 因此可以近似地令

$$A_0 = 1 + \mu$$

代入 (2-5) 式即得

$$\sigma_1 = \frac{1.15 (1 + \mu)}{\mu} (1 - k_n^\mu) \bar{\sigma}_s \quad (2-7)$$

式中  $k_n$ ——引伸面积变薄率,  $k_n = F_n / F_{n-1}$ 。

#### 5. 无摩擦时的引伸应力

当没有摩擦力时, 即  $\mu_1 = \mu_2 = 0$ ,  $A_0 = 1/\cos\alpha$ , 式 (2-5) 变为

$$\sigma_1 = \frac{1.15}{1 - \cos\alpha} \left(1 - k_n^{\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}}\right) \bar{\sigma}_s$$

括号内用级数展开, 并略去高次小数, 有

$$1 - k_n^{\frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha}} = \frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha} \ln \frac{1}{k_n}$$

得

$$\sigma_1 = \frac{1.15 \bar{\sigma}_s}{\cos\alpha} \ln \frac{1}{k_n}$$

当  $\alpha$  很小时, 可认为  $1/\cos\alpha = 1$ , 因此在无摩擦损失情况下的凹模出口处拉应力为

$$\sigma = 1.15 \bar{\sigma}_s \ln \frac{1}{k_n} = 1.15 \bar{\sigma}_s \ln \frac{F_{n-1}}{F_n} \quad (2-8)$$

## 二、G·W·罗的推导

该推导仍然假设凹模壁上的正压力  $q$  等于冲子上的压力, 但不忽略冲子的斜角  $\beta$ 。变形区的应力状态见图 2-4。

作用在微元体上的各种力的轴向分力如下:

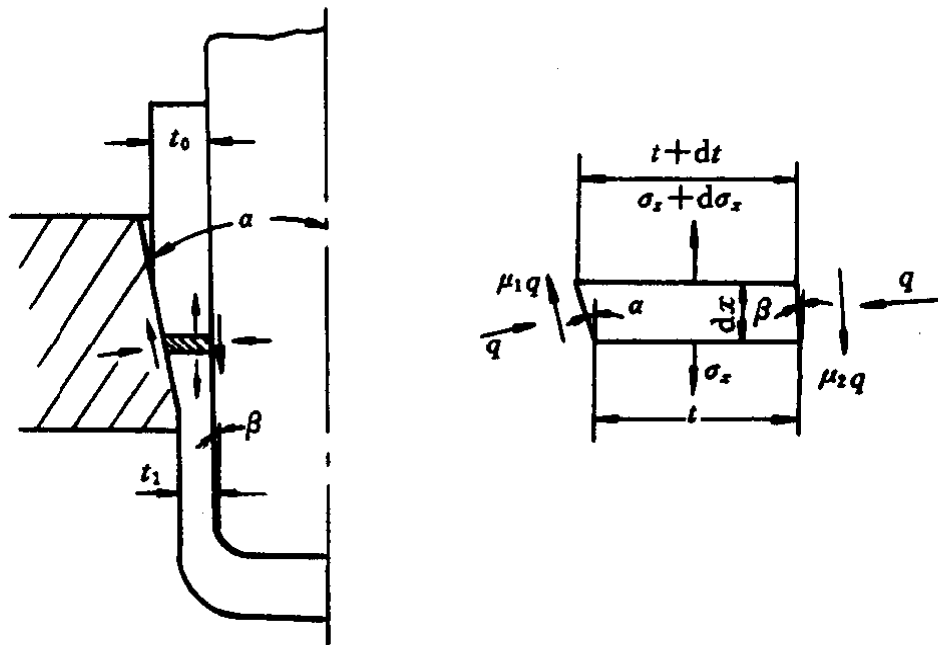


图 2-4 变薄引伸件所受的应力

轴向应力引起的分力为

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(t + dt)\pi D - \sigma_x t\pi D = (\sigma_x dt + t d\sigma_x)\pi D$$

凹模压应力  $p$  引起的分力为

$$q \frac{dx}{\cos\alpha} \sin\alpha \pi D = q \pi D t \tan\alpha dx$$

式中  $D$ ——工件平均直径。

冲子压应力引起的分力为

$$-q \frac{dx}{\cos\alpha} \sin\beta \pi D = -q \pi D t \tan\beta dx$$

凹模摩擦应力  $\mu_1 q$  引起的分力为

$$\mu_1 q \frac{dx}{\cos\alpha} \cos\alpha \pi D = \mu_1 q \pi D dx$$

冲子摩擦应力  $\mu_2 q$  引起的分力为

$$-\mu_2 q \frac{dx}{\cos \beta} \cos \beta \pi D = \mu_2 q \pi D dx$$

力的平衡微分方程为

$$(\sigma_x dt + t d\sigma_x) \pi D + q \pi D (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) dx + q \pi D (\mu_1 - \mu_2) dx = 0$$

壁厚净变化量

$$dt = dx \operatorname{tg} \alpha - dx \operatorname{tg} \beta$$

$$dx = \frac{dt}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}$$

整理简化后得

$$(\sigma_x dt + t d\sigma_x) + q dt \left[ 1 + \frac{\mu_1 - \mu_2}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \right] = 0 \quad (2-9)$$

令

$$B = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \quad (2-10)$$

式 (2-9) 可写成

$$t d\sigma_x + [\sigma_x + q (1+B)] dt = 0 \quad (2-11)$$

根据简化的塑性条件, 有  $\sigma_x + q = 1.15\sigma_s$ ,

$$q = 1.15\sigma_s - \sigma_x$$

代入 (2-11) 式得

$$t d\sigma_x + [(1+B) 1.15\sigma_s - \sigma_x B] dt = 0$$

$$\frac{d\sigma_x}{B\sigma_x - 1.15\sigma_s (1+B)} = \frac{dt}{t}$$

积分, 并认为  $B$  是常数,  $\sigma_s$  用平均值  $\bar{\sigma}_s$ , 得

$$B\sigma_x - 1.15\bar{\sigma}_s (1+B) = ct^B$$

在凹模入口处  $t=t_0$ ,  $\sigma_x=0$ , 得积分常数

$$C = -1.15\bar{\sigma}_s (1+B) t_0^{-B}$$

代入后得

$$\sigma_x = \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{t}{t_0} \right)^B \right] 1.15\bar{\sigma}_s$$

引伸件出口处工件壁厚为  $t_1$ , 即  $t=t_1$ , 则凹模出口处的拉应力  $\sigma_1$  为

$$\sigma_1 = \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{t_1}{t_0} \right)^B \right] 1.15\bar{\sigma}_s \quad (2-12)$$

式 (2-12) 的形式与式 (2-7) 是一样的, 只是  $\mu$  换成  $B$  而已。

如果  $\mu_1 = \mu_2$ , 则由 (2-11) 式得

$$t d\sigma_x + (\sigma_x + q) dt = 0$$

$$t d\sigma_x + 1.15\sigma_s dt = 0$$

$$\int_0^{\sigma_1} d\sigma_x = -1.15\bar{\sigma}_s \int_{t_0}^{t_1} \frac{dt}{t}$$

在  $\mu_1 = \mu_2$  的情况下引伸凹模出口处拉应力  $\sigma_1$  为

$$\sigma_1 = 1.15\bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t_1} \quad (2-13)$$

式 (2-13) 与式 (2-8) 完全一致, 不同的是后者是从  $\mu_1 = \mu_2 \neq 0$  的条件推导出来的。

### 三、两种推导的对比

两种推导方法类似，结果也很相近，但推导过程的假设、简化不一样，因此使用的条件也有所不同，现作如下比较：

| 序号 | 波波夫推导                                                                               | G·W·罗推导                                                                       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 假设凹模上的单位压力等于冲子上的单位压力。这个假设，形成一定的误差                                                   | 同左                                                                            |
| 2  | 忽略冲子斜角，形成一定误差                                                                       | 考虑到冲子斜角，公式中含有 $\beta$ 的因素                                                     |
| 3  | 为简化 $A_0$ 而推导出 $A_0=1+\mu$ ，有点勉强                                                    | 为简化方程，应用平均直径 $D$ ，实际上每个轴向分力计算中的 $D$ 都是不同的，是不能相约的                              |
| 4  | 推导出在 $\mu_1=\mu_2$ 条件下的合理模角的计算公式                                                    | 没有                                                                            |
| 5  | 推导出的求 $\sigma_1$ 的公式 (2-7) 适用于 $\mu_1=\mu_2$ 而不适于 $\mu_1\neq\mu_2$ 的条件              | 推导出来的求 $\sigma_1$ 的公式 (2-12) 适用于 $\mu_1\neq\mu_2$ ，而不适于 $\mu_1=\mu_2$ 的条件     |
| 6  | 推导出的公式 $\sigma_1=1.15\bar{\sigma}_s\ln\frac{F_{n-1}}{F_n}$ ，适用于 $\mu_1=\mu_2=0$ 的场合 | 推导出的公式 $\sigma_1=1.15\bar{\sigma}_s\ln\frac{t_0}{t_1}$ ，适用于 $\mu_1=\mu_2$ 的场合 |
| 7  | 没有考虑工件在进入和离开凹模锥角时产生两次剪切变形引起的轴向拉应力                                                   | 同左                                                                            |

#### 四、功平衡法求凹模出口处拉应力<sup>[11][12]</sup>

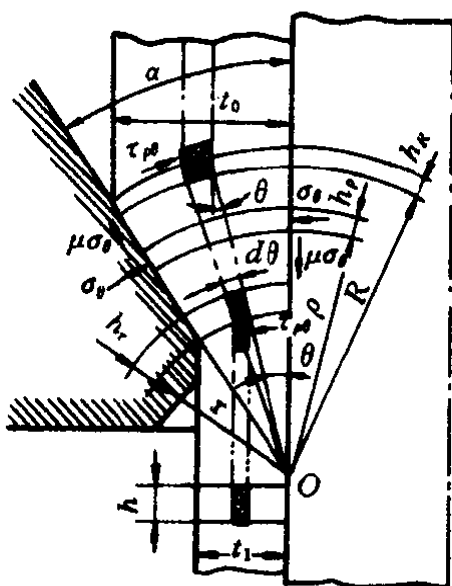


图 2-5 功平衡法图例

以上两种推导是平衡微分方程与塑性条件联解法求解凹模出口处应力，此法较简单。在变薄引伸变形中，各单元体在对应的接触表面上沿冲子和沿凹模的位移是完全不同的。位移的不同对力的变形条件的影响在功平衡法中可以通过计算摩擦功来考虑进去，而平衡微分方程与塑性条件联解法建立的是静力平衡方程，这种位移不同的影响无法反映进去。

功平衡法的原理是利用外力作的功等于内力作的功（变形功）。

图 2-5 是变形区简图和符号。采用极坐标系, 这样较为方便。

### 1. 功的组成

外力功包括引起塑性变形的有效力作的功和摩擦力所作的功。而内力功即为变形功，这里包含变形区内金属变形功和变形区上边界（入口处）及下边界（出口处）的变形功。其关系式为

$$A_u - A_{ma} - A_{mt} = A_d + A_{rR} + A_{rr}$$

$$\text{即} \quad A_u = A_d + A_{rR} + A_{rr} + A_{ma} + A_{mi} \quad (2-14)$$

式中  $A_u$ ——有效力作的功;

$A_d$ ——变形区内金属的变形功；

 $A_{\tau R}$ ——上边界 ( $R$  处) 剪切变形功; $A_r$ ——下边界 ( $r$  处) 剪切变形功; $A_{ma}$ ——凹模接觸表面上的摩擦功；

$A_{mi}$ ——冲子接触表面上的摩擦功。

## 2. 变形功 $A_d$

设某微元体的边长分别为  $dx$ 、 $dy$ 、 $dz$ ，若正应力  $\sigma_x$  在  $dx$  方向产生一个正应变增量  $d\epsilon_x$ ，则该应力分量所作的塑性变形功的增量  $dA = \sigma_x dydz d\epsilon_x dx = \sigma_x d\epsilon_x dv$ 。如果在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向的应力作用下，该微元体所作的变形功  $A_d$  为

$$A_d = \iiint \sigma_i d\epsilon_i dv \quad (2-15)$$

式中  $\sigma_i$ ——等效应力；

$d\epsilon_i$ ——等效应变增量；

$dv$ ——变形体积增量。

如果忽略加工硬化，则  $\sigma_i = \sigma_s$  ( $\sigma_s$  为材料的屈服强度)。

如果忽略塑性变形区中的剪切变形，即认为  $\sigma_\rho$ 、 $\sigma_\theta$  为主变形。由于为平面变形，故有  $\epsilon_\rho = -\epsilon_\theta$ ，根据等效应变计算公式有  $d\epsilon_i = (2/\sqrt{3}) d\epsilon_\theta = 1.15 d\epsilon_\theta$ 。此处由于  $d\epsilon_i$  与  $d\epsilon_\theta$  之间差别很小，以及考虑此解法的近似性，取  $d\epsilon_i = d\epsilon_\theta$ 。

可以用体积不变条件推导出变形区内半径为  $\rho$  的任意一处的径向位移。有  $h_\rho = (r/\rho) h_r$ ， $h_R = (r/R) h_r$ 。

$$d\epsilon_\theta = \frac{h_\rho}{\rho} = \frac{r}{\rho^2} h_r$$

$$dv = \rho \alpha d\rho$$

将  $\sigma_i$ 、 $d\epsilon_\theta$ 、 $dv$  代入式 (2-15)，代换积分限，其中  $\alpha = \text{常数}$ ，变形区的尺寸在垂直于图面的方向为单位长度，即得下式

$$A_d = \sigma_s \alpha r h_r \int_r^R \frac{d\rho}{\rho} = \sigma_s \alpha r h_r \ln \frac{R}{r} \quad (2-16)$$

## 3. 上边界剪切变形功 $A_{\tau R}$

金属进入变形区的上边界时流线改变方向（弯曲一个  $\theta$  角），即产生了剪切变形。由于上边界是变形区与不变形区的交界处，故切应力  $\tau_s = \sigma_s/2$ 。剪切力为

$$\tau_{\theta R} R d\theta = \frac{1}{2} \sigma_s R d\theta$$

在  $\theta$  处的位移为

$$h_R \tan \theta = h_r \frac{r}{R} \tan \theta$$

上边界的剪切功为

$$\begin{aligned} A_{\tau R} &= \int_0^\alpha \frac{1}{2} \sigma_s h_R \frac{r}{R} \tan \theta \cdot R d\theta = -\frac{\sigma_s}{2} r h_r \ln \cos \alpha \\ &= -\frac{\sigma_s}{2} r h_r \ln \left( 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right) \end{aligned}$$

变薄引伸中  $\alpha < 20^\circ$ ，把对数函数用级数展开，取其前几项，不会引起大的误差，因此，

$$A_{\tau R} = \sigma_s r h_r \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (2-17)$$

## 4. 下边界剪切变形功 $A_{\tau r}$

金属离开变形区时流线又弯曲  $\theta$  角，同样产生剪切变形，剪切力为

$$\tau_s r d\theta = \frac{1}{2} \sigma_s r d\theta$$

位移为  $h_r \tan \theta$ 。下边界剪切功为

$$A_{tr} = \int_0^\alpha \frac{\sigma_s}{2} r h_r \tan \theta d\theta = \sigma_s r h_r \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (2-18)$$

#### 5. 凹模接触表面的摩擦功 $A_{ma}$

首先要求出接触表面的法向应力  $\sigma_\theta$ 。根据平衡方程 ( $\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0$ ) 和塑性条件 ( $\sigma_\rho - \rho_\theta = \sigma_s$ ) 联解, 当边界条件  $\rho = R, \sigma_\rho = 0$  时, 可得

$$\begin{aligned} \sigma_\rho &= \sigma_s \ln \frac{R}{\rho} \\ \sigma_\theta &= -\sigma_s \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) \end{aligned}$$

因此, 接触面上的单元摩擦功为

$$\mu \sigma_\theta d\rho = \mu \sigma_s \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) d\rho$$

上式中  $\sigma_\theta$  值不计负号, 因为  $\sigma_\theta$  的负号仅表示是压应力, 而摩擦力的正负是看其位移方向而定的。如果摩擦力方向阻碍变形就取正, 如是有利于变形就取负。

当凸模位移为  $h$  值时, 毛坯单元体沿凹模表面在引伸方向上的位移为  $h_\rho = (r/\rho) h_r$ 。工件与凹模的摩擦力阻碍金属变形, 应取正。因此凹模锥形表面上的摩擦力的单元功为

$$\begin{aligned} A_{ma} &= \int_r^R \mu \sigma_s \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) \frac{r}{\rho} h_r d\rho = \mu \sigma_s r h_r \int_r^R \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) \frac{d\rho}{\rho} \\ &= \mu \sigma_s r h_r \left[ \left(1 - \ln \frac{R}{r}\right) \ln \frac{R}{r} + \frac{1}{2} \ln \frac{R}{r} \ln R r \right] \\ &= \mu \sigma_s r h_r \left(1 - \frac{1}{2} \ln \frac{R}{r}\right) \ln \frac{R}{r} \quad (2-19) \end{aligned}$$

#### 6. 冲子接触表面的摩擦功 $A_{mi}$

冲子位移  $h$  时, 变形区金属也径向位移  $h_\rho$ 。两者位移方向相同, 因此变形金属相对于冲子的位移量  $h_\alpha$  是  $h_\rho$  与  $h$  之差。

根据体积不变条件。有

$$t_1 h = r a h_r$$

式中  $t_1$  —— 引伸变薄后的壁厚。

$\because t_1 = r \sin \alpha$  代入上式后得

$$h = \frac{\alpha}{\sin \alpha} h_r \approx h_r$$

(当  $\alpha < 20^\circ$ , 可取  $\alpha \approx \sin \alpha$ )

$$h_\alpha = h_\rho - h = \left(\frac{r}{\rho} - 1\right) h_r$$

沿冲子接触表面摩擦力的单元功  $A_{mi}$  为

$$\begin{aligned} A_{mi} &= \int_r^R \mu \sigma_s h_\alpha d\rho \\ &= \int_r^R \mu \sigma_s \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) \left(\frac{r}{\rho} - 1\right) h_r d\rho \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \mu \sigma_s h_r \left[ \int_r^R \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) \frac{r}{\rho} d\rho - \int_r^R \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) d\rho \right] \\
&= -\frac{1}{2} \mu \sigma_s r h_r \left(\ln \frac{R}{r}\right)^2
\end{aligned} \tag{2-20}$$

7. 求有效力作的单元功  $A_u$

将功的各分量代入式 (2-14), 经整理简化得

$$A_u = \sigma_s r h_r \left[ \alpha \ln \frac{R}{r} + 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \mu \left(1 - \ln \frac{R}{r}\right) \ln \frac{R}{r} \right]$$

同时, 当冲子位移为  $h$  时, 凹模出口处的拉应力  $\sigma_z$  作的有效力单元功  $A_u$  为

$$A_u = \sigma_z t_1 h = \sigma_z r \sin \alpha \frac{a}{\sin \alpha} h_r = \sigma_z r a h_r \tag{2-21}$$

8. 求凹模出口处拉应力  $\sigma_z$

将式 (2-21) 代入式 (2-20), 经整理简化, 可得

$$\sigma_z = \sigma_s \left[ \ln \frac{R}{r} + 2 \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\alpha} + \frac{\mu}{\alpha} \left(1 - \ln \frac{R}{r}\right) \ln \frac{R}{r} \right]$$

将上式简化, 取  $\alpha \approx \sin \alpha = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} \approx 2 \sin \frac{\alpha}{2}$ , 代入上式有

$$\sigma_z = \sigma_s \left[ \ln \frac{R}{r} + \frac{\alpha}{2} + \frac{\mu}{\alpha} \left(1 - \ln \frac{R}{r}\right) \ln \frac{R}{r} \right]$$

几何关系有

$$\frac{R}{r} = \frac{t_0}{t_1}$$

式中  $t_0$ 、 $t_1$ ——引伸前、后工件的壁厚。

代入上式, 得  $\sigma_z$  的最后形式为

$$\sigma_z = \sigma_s \left[ \ln \frac{t_0}{t_1} + \frac{\alpha}{2} + \frac{\mu}{\alpha} \left(1 - \ln \frac{t_0}{t_1}\right) \ln \frac{t_0}{t_1} \right] \tag{2-22}$$

式 (2-22) 中令  $\frac{d\sigma_z}{d\alpha} = 0$ , 即得到引伸力最小的凹模半锥角, 即最佳模角  $\alpha_{opt}$  为

$$\alpha_{opt} = \sqrt{2\mu \left(1 - \ln \frac{t_0}{t_1}\right) \ln \frac{t_0}{t_1}} = \sqrt{2\mu (1 - \epsilon_1) \epsilon_1} \tag{2-23}$$

式中  $\epsilon_1$ ——引伸时用壁厚表示的真实应变量,  $\epsilon_1 = \ln \frac{t_0}{t_1}$ 。

与以上两种推导相比, 功平衡法考虑的因素较全面, 具有以下特点:

- (1) 考虑到凹模入口处由于存在  $\alpha$  角而产生的剪切变形对  $\sigma_z$  的影响。
- (2) 由于采用极坐标, 变形金属与冲子、凹模的切向压力是相等的。
- (3) 推导出了在  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$  条件下的最佳模角公式。
- (4) 推出的求  $\sigma_z$  的公式仍适合于  $\mu_1 = \mu_2$  的条件。
- (5) 没有考虑凸模斜角的影响。

## § 2.3 总引伸应力与引伸力的确定<sup>[13][14]</sup>

前面推导的  $\sigma_1$  实际上是变薄引起的出口处应力，这是变薄引伸应力的主要部分。全面地讲，引伸的总变形应力还有直径缩小引起的应力、凹模锥角引起的引伸应力（这在功平衡中已考虑到了）和凹模定位的摩擦引起的应力等。即总引伸应力  $\sigma$  应为

$$\sigma = \sigma_d + \sigma_a + \sigma_t + \sigma_r \quad (2-24)$$

式中  $\sigma_d$ ——由于直径收缩引起的应力；

$\sigma_a$ ——由于存着凹模半锥角  $\alpha$  而产生入口和出口处的剪应力所引起的应力；

$\sigma_t$ ——壁变薄引起的应力；

$\sigma_r$ ——凹模出口处（定径部）的摩擦引起的应力。

### 一、由于直径收缩形成的应力 $\sigma_d$

一般的引伸中内径的缩小只是由于消除冲子与工件内的间隙而形成的，因此直径收缩率是很小的，可以不考虑。当然，对于既缩小直径又减薄壁厚的引伸，则直径收缩率是很大的。

根据管子缩径公式可有

$$\sigma_d = \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d_0} \right)^B \right] \sigma_s \quad (2-25)$$

式中  $B$ ——系数， $B = \mu / \tan \alpha$ ；

$\mu$ ——凹模与工件的摩擦系数；

$d_0$ ——引伸前工件内径；

$d_1$ ——引伸后工件内径；

$\sigma_s$ ——材料流动极限。

一般引伸的  $d_1/d_0 > 0.95$ ，取  $\mu = 0.08$ ， $\alpha = 15^\circ$ ，得  $\sigma_d = 0.015\sigma_s$ ，可见  $\sigma_d$  是很小的。

### 二、变形区入口处和出口处剪切应力引起的拉应力 $\sigma_a$

由式 (2-17) 和 (2-18) 知在变形区入口和出口处剪应力的单位功为  $2\sigma_s r h \sin^2 (\alpha/2)$ 。把它换算成引伸的有效功，设由于有剪切功而使引伸应力增加  $\sigma_a$ ，则由  $\sigma_a$  所作的有效功为  $\sigma_a t_1 h$ 。前已述及，按体积不变条件可推得

$$t_1 h_r = r_a h$$

使剪切功与有效功相等，有

$$2\sigma_s r h \sin^2 (\alpha/2) = r_a h \sigma_a$$

得

$$\sigma_a = \frac{2\sigma_s \sin^2 (\alpha/2)}{\alpha}$$

由于  $\alpha$  很小，可令  $\sin \alpha \approx \alpha$ ，有

$$\sigma_a = 2\sigma_s \frac{(\alpha/2)^2}{\alpha} = \sigma_s \frac{\alpha}{2}$$

最后得

$$\sigma_a = 0.0087\alpha\sigma_s \quad (2-26)$$

式中  $\alpha$ ——凹模半锥角，(°)。

引伸模  $\alpha$  角一般为  $10^\circ \sim 15^\circ$ ，如取  $\alpha = 12^\circ$ ，则  $\sigma_a = 0.10\sigma_s$ ，可见  $\alpha$  角对  $\sigma_a$  影响很大。

### 三、定径部摩擦应力 $\sigma_r$

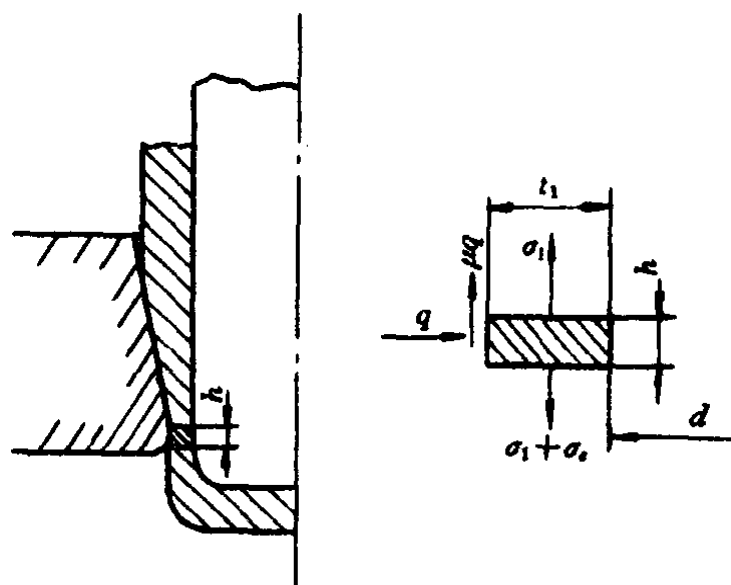


图 2-6 定径部受力分析

在定径部工件受力情况如图 2-6 所示，列出其平衡方程，有

$$\begin{aligned} \pi (d+t_1) t_1 \sigma_1 - \pi (d+t_1) (\sigma_1 + \sigma_r) \\ = \mu q h \pi (d+2t) \\ (d+t_1) t_1 \sigma_r = \mu q h (d+2t_1) \\ \sigma_r = \mu q \frac{h (d+2t_1)}{t_1 (d+t_1)} = \frac{1+2m}{1+m} \mu q \frac{h}{t_1} \\ = c \mu q \frac{h}{t_1} \end{aligned} \quad (2-27)$$

式中  $h$ ——定径部宽度；

$m$ ——相对壁厚， $m=t_1/d$ ；

$c$ ——系数， $c=\frac{1+2m}{1+m}$ 。

根据塑性条件有

$$q = 1.15 \sigma_s - \sigma_1$$

代入式 (2-27) 得

$$\sigma_r = c \mu \frac{h}{t_1} (1.15 \sigma_s - \sigma_1) \quad (2-28)$$

式中  $\sigma_s$ ——变形金属经加工硬化后的真实应力，可根据应变变量计算之；

$\sigma_1$ ——凹模锥形部出口处工件所受的拉应力， $\sigma_1 = \sigma_d + \sigma_a + \sigma_t$  ( $\sigma_t$  即为变薄应力)。

对于变薄引伸，一般  $t_1/d < 0.10$ ，即  $c < 1.09$ ， $h/t_1 < 1.5$ ， $\mu = 0.08$ ，如取  $\sigma_1 = 0.9 \sigma_s$ ，则可求得  $\sigma_r < 0.03 \sigma_s$ 。

### 四、总引伸应力、引伸力

将式 (2-12)、(2-25)、(2-26)、(2-28)，分别代入式 (2-24) 中，各式的  $\sigma_i$  均取平均值  $\bar{\sigma}_s$ 。其中式 (2-12) 即为壁变薄引起的引伸应力  $\sigma_t$ 。由于  $\sigma_d$  和  $\sigma_r$  占总应力的比重很小，为简化公式，取  $\sigma_d + \sigma_r = 0.04 \bar{\sigma}_s$ 。因此得到总引伸应力  $\sigma$  为

$$\sigma = \left\{ \frac{1.15 (1+B)}{B} \left[ 1 - \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^B \right] + 0.0087 \alpha + 0.04 \right\} \bar{\sigma}_s \quad (2-29)$$

一般单模引伸时可认为  $\mu_1 = \mu_2$ ，则总引伸应力可简化为

$$\sigma = (1.15 \ln \frac{t_0}{t_1} + 0.087 \alpha + 0.04) \bar{\sigma}_s \quad (2-30)$$

引伸力

$$P = \pi D t_1 \sigma \quad (2-31)$$

引伸力也可用以下经验公式计算，即

$$p = \pi D (t_0 - t_1) C \sigma_b \quad (2-32)$$

式中  $C$ ——考虑材料加工硬化的系数，对低碳钢  $C=1.8 \sim 2.25$ ，黄铜  $C=1.6 \sim 1.8$ ；

$\sigma_b$ ——材料的强度极限；

$D$ ——工件外径。

## § 2.4 变薄引伸的加工极限<sup>[15][16][25]</sup>

### 一、变薄引伸变形类别的确定

冲压变形类别分为伸长类和压缩类两大类。变薄引伸属那一类，尚未见有定论。

从冲压变形力学角度判别变形类别的依据是：对板料冲压一般都为平面应力状态。平面应力状态有三种情况：两向拉应力状态、两向拉应力状态和一向拉应力、一向压应力状态。对两向压应力的变形属压缩类变形；对两向拉应力的变形属伸长类变形；对一拉一压的变形视其两个主应力的绝对值大小而定，如果压应力的绝对值大于拉应力，则属压缩类变形，反之则属伸长类变形。

变薄引伸变形区，材料处于一向拉、一向压的应力状态，其拉应力值随  $t_0/t_x$  而变，即

$$\sigma_{1x} = 1.15\bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t_x}$$

式中  $t_x$ ——变形区中某一层厚度（图 2-7）；

$\sigma_{1x}$ —— $t_x$  处的拉应力。

径向压应力  $q_x = 1.15\bar{\sigma}_s - \sigma_{1x} = 1.15\bar{\sigma}_s (1 - \ln \frac{t_0}{t_1})$

变形区中  $\sigma_{1x}$  和  $q_x$  的变化规律如图 2-7 所示。即在变形区入口处切向压应力最大而轴向拉应力最小，而在变形区出口处则反之。 $\sigma_{1x}$  和  $q_x$  成对数曲线分布，两者为一对平行的对数曲线，其绝对值之和始终为一常数，即  $1.15\bar{\sigma}_s$ 。

为找出拉应力与压应力相等处的壁厚  $t_{1x}$ ，令  $\sigma_{1x} = q_x$ ，则有

$$\sigma_{1x} + q_x = 2\sigma_{1x} = 1.15\bar{\sigma}_s$$

$$2 \times 1.15\bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t_{1x}} = 1.15\bar{\sigma}_s$$

$$\ln \frac{t_0}{t_{1x}} = 0.5$$

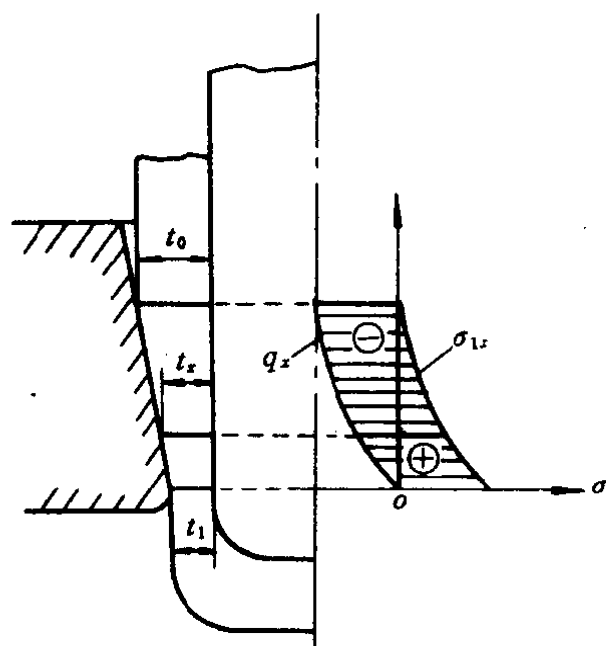
$$(2-33) \quad \text{图 2-7 变薄引伸中 } \sigma_{1x} \text{ 与 } q_x \text{ 的变化规律}$$

$$t_{1x} = 0.61t_0 \quad (2-34)$$

即变形区中  $0.61t_0$  处压应力等于拉应力。当  $t > 0.61t_0$  时  $|q| > |\sigma_1|$ ，为压缩类变形；当  $t < 0.61t_0$  时  $|\sigma_1| > |q|$ ，为伸长类变形。

变薄引伸的最大变薄率，常用的为  $K = 1 - (t_1/t_0) = 0.50 \sim 0.55$ ，即  $t_1 = (0.45 \sim 0.50)t_0$ 。即在变薄引伸变形区中同时存在着伸长类和压缩类两类性质的变形，但大部分变形区为压缩类变形。可以把它归纳到压缩类变形中去。

压缩类变形的加工极限是受传力区的承载能力所限。对变薄引伸，其传力区为已变薄的那个环形金属。当该环形金属的承载能力（强度）低于凹模内的总引伸应力时，传力区即破坏，破坏的形式有两种，即已变薄部分拉断和底部与壁部交界处剪断。由于变薄引伸件的底都很厚，因此剪切破坏是不大会产生的，一般都是壁部拉断。



因此，只要令引伸应力等于传力区的强度，即可求出其极限变形程度（即加工极限）。

## 二、只考虑变薄应力时的最大加工率

由于 G·W·罗的推导公式中考虑因素较全面，因此用式 (2-12) 和 (2-13) 来推导最大加工率。

### 1. $\mu_1 = \mu_2$ 时的最大加工率

经过变薄以后的壁部（传力区）强度可以表示为

$$\sigma = A\epsilon^n \quad (2-35)$$

式中  $\sigma$ ——变形后材料的强度；

$\epsilon$ ——用真实应变表示的加工率， $\epsilon = \ln(t_0/t_1)$ ；

$A$ ——系数，与材料性质有关；

$n$ ——加工硬化指数。

为求极限加工率，令  $\sigma = \sigma_1$ ，有

$$A\epsilon^n = 1.15\bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t_1}$$

式中  $\bar{\sigma}_s$  为变形区平均变形应力，可将式 (2-35) 积分来求得

$$\bar{\sigma}_s = \frac{\int_0^\epsilon \sigma d\epsilon}{\epsilon} = \frac{\int_0^\epsilon A\epsilon^n d\epsilon}{\epsilon} = \frac{1}{1+n} A\epsilon^n \quad (2-36)$$

代入上式，经整理后得

$$\ln \frac{t_0}{t_1} = \frac{1+n}{1.15}$$

由于工程上常用相对变形来表示变形程度（称加工率）， $K = 1 - (t_1/t_0)$ ，故

$$K_{\max} = 1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{1+n}{1.15}\right)} \quad (2-37)$$

可见极限加工率与加工硬化指数  $n$  有关，对于药筒、枪弹常用的 S15A 钢， $n = 0.25$ ，则最大加工率为  $K = 0.663$ 。

这个计算值明显大于生产中使用的最大加工率，其原因是计算中没有包括其它三项引伸应力，尤其是  $\sigma_a$  这一项。

### 2. $\mu_1 \neq \mu_2$ 时的最大加工率

使式 (2-12) 与 (2-35) 相等，并将  $\bar{\sigma}_s$  用式 (2-36) 代替。

$$\text{有 } A\epsilon^n = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{t_1}{t_0}\right)^B\right] 1.15\bar{\sigma}_s = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{t_1}{t_0}\right)^B\right] \frac{1.15}{1+n} A\epsilon^n$$

经整理后可得

$$K_{\max} = 1 - \frac{t_1}{t_0} = 1 - \sqrt[n]{1 - \frac{1+n}{1.15} \left(\frac{B}{1+B}\right)} \quad (2-38)$$

由式 (2-38) 看出引伸最大加工率，取决于加工硬化指数和系数  $B$ ，而系数  $B$  包含了  $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $\alpha$  和  $\beta$  四个参数。所以式 (2-38) 即为计算最大加工率的通式、利用此式可以看出各参数对  $K_{\max}$  的影响（下面详细讨论）。

### 三、根据总引伸应力计算最大加工率

#### 1. $\mu_1 = \mu_2$ 时的最大加工率

总引伸力公式 (2-30) 中, 用上述方法可以求出最大加工率  $K_{\max}$  为

$$K_{\max} = 1 - \frac{1}{\exp \left[ \frac{1}{1.15} (0.96 + n - 0.0087\alpha) \right]} \quad (2-39)$$

如果取  $n=0.25$ ,  $\alpha$  角取常用的  $12^\circ$ , 代入上式, 可得  $K_{\max}=0.618$ 。这个数值与实际较接近。因为实际的大量生产中不应该使用临界的加工率, 必须有一定的安全储备。对于小口径弹壳的引伸, 单模引伸加工率最大可达 0.60。

#### 2. $\mu_1 \neq \mu_2$ 时的最大加工率

用公式 (2-29) 可以推导出最大加工率  $K_{\max}$  为

$$K_{\max} = 1 - \sqrt[1.15]{1 - (0.96 + n - 0.0087\alpha) \frac{B}{1+B}} \quad (2-40)$$

应该指出的是, 在以上推导中, 在计算传力区强度时还忽略了一个因素, 即由于凹模入口和出口处的剪切变形所产生的加工硬化。

### 四、各参数对极限加工率的影响

根据引伸件破坏的机理, 任何降低引伸应力的因素和提高传力区强度的因素都可以提高极限加工率。从公式 (2-39) 和 (2-40) 中可以推导出各因素对  $K_{\max}$  的影响。由于影响  $K_{\max}$  的因素很多, 有的公式中还不能直接看出各因素对  $K_{\max}$  的影响。故此处采用数值解法, 即以变薄引伸中常用的参数值代入公式, 讨论某一因素对  $K_{\max}$  的影响时, 将该因素作为变量。并以曲线形式画出, 这样比较直观。

引伸中常用的参数值为:  $n=0.25$ ,  $\alpha=12^\circ$ ,  $\beta=1.5^\circ$ 。其中  $\beta$  是由工件形状确定的, 不由模具设计人员选择。

#### 1. $n$ 对 $K_{\max}$ 的影响

将  $\alpha=12^\circ$ ,  $n$  分别由 0.18 到 0.34, 代入式 (2-39), 结果如图 2-8 所示。可见加工硬化指数  $n$  大的材料, 极限加工率大。这是因为平均变形应力的公式 (2-36) 中有  $1/(1+n)$  项, 它随  $n$  的增大而减小。

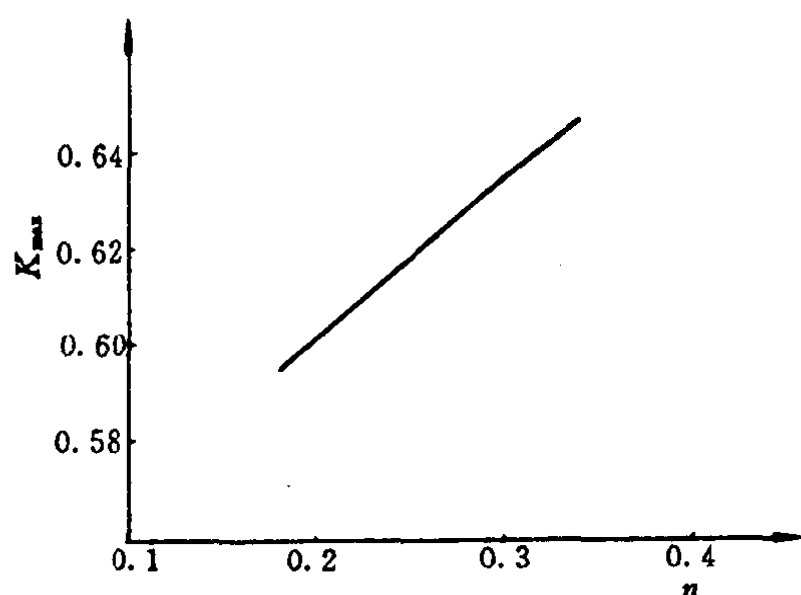


图 2-8  $n$  对  $K_{\max}$  的影响

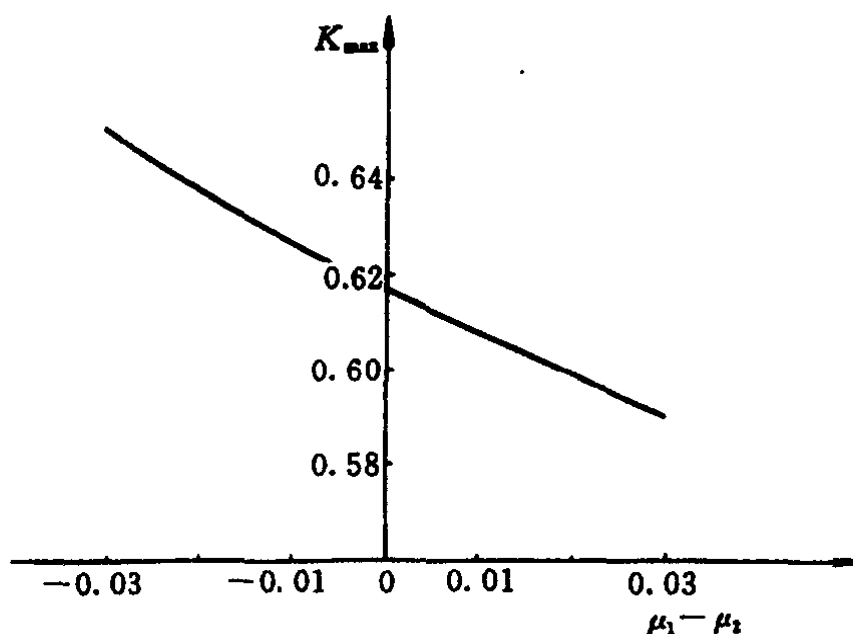


图 2-9  $\mu_1 - \mu_2$  对  $K_{\max}$  的影响

## 2. 摩擦系数对 $K_{\max}$ 的影响

式(2-40)中系数  $B$  中含有  $\mu_1 - \mu_2$  项, 取  $n=0.25$ ,  $\alpha=12^\circ$ ,  $\beta=1.5^\circ$ ,  $\mu_1 - \mu_2$  分别由 0.03 变化到 -0.03。得到图 2-9 的曲线。很明显, 随着  $\mu_1 - \mu_2$  的减小, 即  $\mu_2 - \mu_1$  的差值越大, 极限加工率增大。这是因为  $\mu_1$  是增大引伸力的因素, 而  $\mu_2$  是减小引伸拉应力的因素。理论地讲, 如果  $\mu_2 \gg \mu_1$  时引伸应力可由拉应力变为压应力, 即形成筒形件的正挤压, 这时的变形程度可以极大地提高。

所以冲子的加工表面粗糙度  $R_a$  值不必过小, 当然这可能给脱件造成困难, 尤其是末引和末前引。此外, 单面润滑(内表面不涂润滑剂)也可以提高  $K_{\max}$ , 但这在实际生产中是不易实现的。

## 3. 凹模半锥角 $\alpha$ 对 $K_{\max}$ 的影响

凹模半锥角  $\alpha$  对  $K_{\max}$  的影响可从两方面来考虑。即在同一变薄量条件下,  $\alpha$  减小则变形区面积(长度)增大;  $\alpha$  增大, 则变形区面积减小。另一方面,  $\alpha$  角增大, 则变形区上下边界的剪切变形量增大, 反之则减小。

当  $\mu_1 = \mu_2$  时,  $\mu_1$  和  $\mu_2$  对引伸应力的正影响和负影响基本抵消, 即它不随变形区面积( $\alpha$  角)的大小而变化。但  $\alpha$  增大,  $\sigma_a$  增大, 由式(2-39)可知  $K_{\max}$  随  $\alpha$  角的增大而减小(在  $n$  一定的条件下)。当  $n=0.25$ ,  $\beta=1.5^\circ$  时  $\alpha$  与  $K_{\max}$  的关系曲线如图 2-10 所示。

当  $\mu_2 > \mu_1$  时,  $\mu_2$  对总引伸力的减小效果大于  $\mu_1$  对总引伸力的增大效果, 且随着  $\alpha$  的减小(即摩擦面积的增大), 对引伸应力减小的程度越大。因此  $\alpha$  越小,  $K_{\max}$  越大。随着  $\alpha$  的增大, 减小程度变小, 且剪切变形增大, 故  $K_{\max}$  迅速减小。见图 2-11。

当  $\mu_1 > \mu_2$  时, 情况与  $\mu_2 > \mu_1$  时正好相反, 即随着  $\alpha$  角的增大(即摩擦面积的减小),  $\mu_1$  对总引伸应力增大的影响逐渐减小, 但另一方面  $\alpha$  角的增大使剪切功增加。故在  $\alpha=12^\circ$  左右出现一个不明显的极值(图 2-11)。

## 4. $\beta$ 对 $K_{\max}$ 的影响

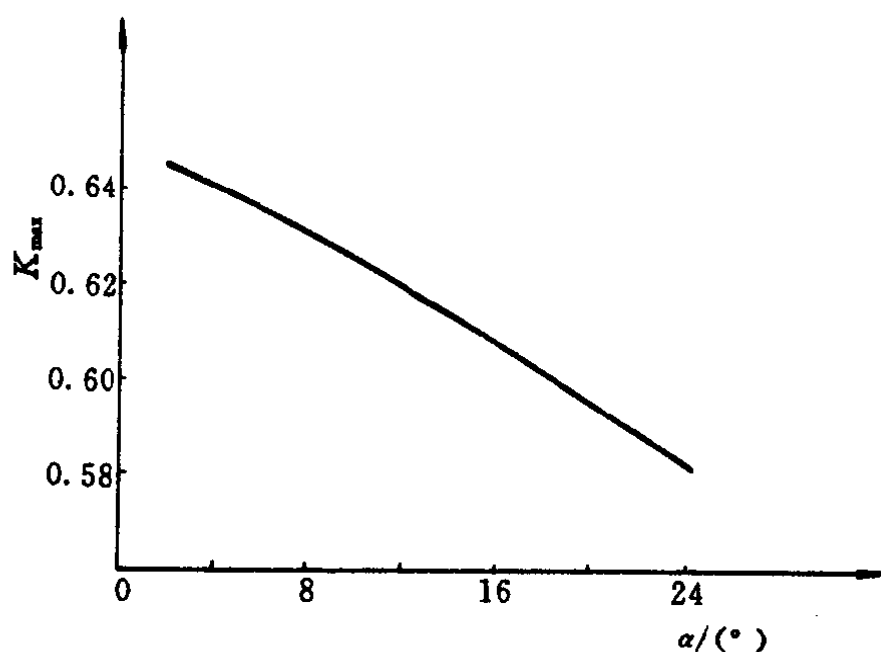


图 2-10  $\mu_1 = \mu_2$  时  $\alpha$  对  $K_{\max}$  的影响

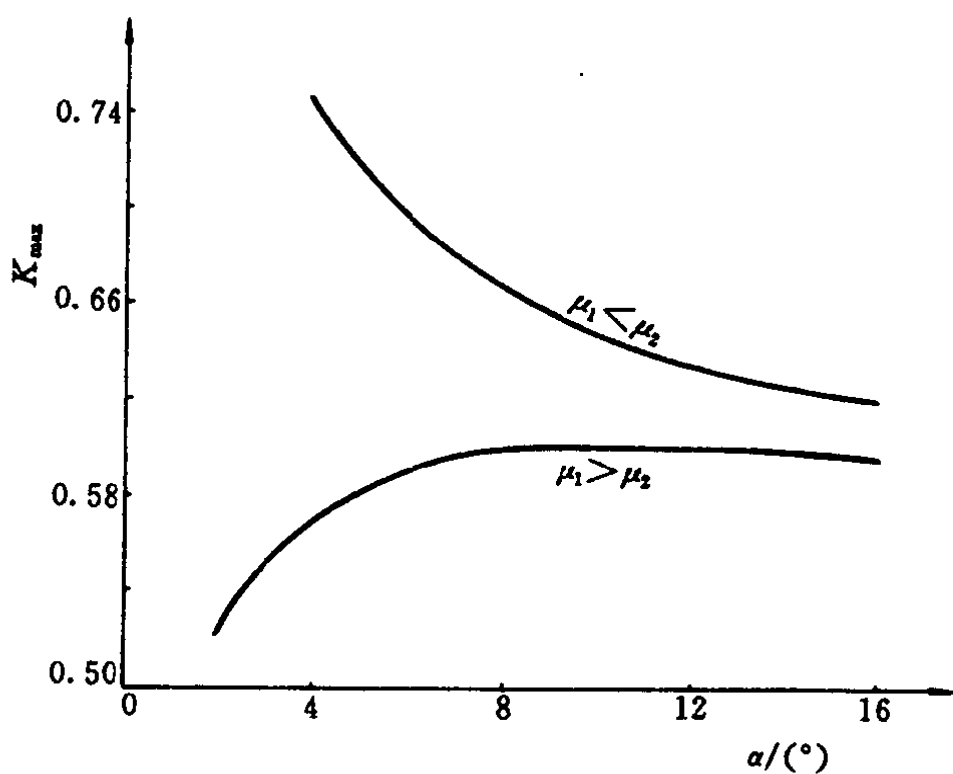


图 2-11  $\mu_1 \neq \mu_2$  时  $\alpha$  对  $K_{\max}$  的影响

从系数  $B$  的定义看,  $\beta$  角的增大与  $\alpha$  减小的效果是相同的。一般情况下  $\alpha$  角的减小可以提高  $K_{\max}$ 。故  $\beta$  角增大可以提高极限变形程度。

### 五、最佳模角 $\alpha_{\text{opt}}$

所谓最佳模角就是指引伸应力最小的凹模半锥角。由于推导过程不同, 三种推导方法得出的最佳模角是不同的。

#### 1. 波波夫推导

波波夫推导出在  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$  的条件下  $\alpha$  角与  $\mu$  和  $m_n$  的关系式为

$$\text{tg}^3 \alpha = \mu \left( 1 - \frac{1}{m_n \cos \alpha} \right)$$

根据此式,  $\alpha$  与  $\mu$  和  $m_n$  的关系曲线如图 2-12。此结果与枪弹、药筒工厂的实际情况较为符合。这个推导的特点是考虑到了壁厚的影响, 因为  $m_n = 1 + (t_n/r_n)$ , 对变薄引伸,  $r_n$  基本不变, 因此  $m_n$  可以看成是平均壁厚  $t_n$  的函数。在实际生产中一般是第一、二次引伸(壁厚大)取大的  $\alpha$  角, 而末引和末前引取小的  $\alpha$  角。

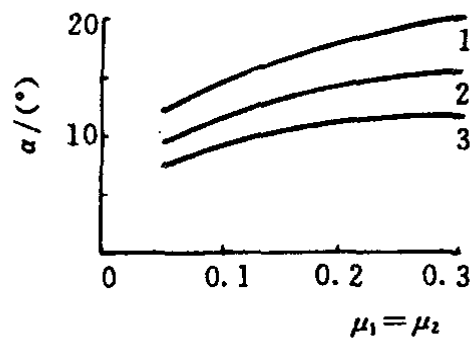


图 2-12 不同的  $\mu$  和  $m_n$  时的最佳模角

1.  $m_n = 1.25$ ; 2.  $m_n = 1.1$ ; 3.  $m_n = 1.05$

#### 2. G·W·罗推导

G·W·罗的推导中没明确提出最佳模角的问题。从引伸应力公式(2-12)和(2-13)或(2-37)和(2-38)中可以看出:  $\mu_1 = \mu_2$  时  $\alpha$  与  $K_{\max}$  无关(式 2-37 中不含  $\alpha$ );  $\mu_1 > \mu_2$  时  $\alpha$  增加则  $K_{\max}$  增大;  $\mu_2 > \mu_1$  时  $\alpha$  减小则  $K_{\max}$  增大(图 2-11)。这个推导的特点是, 考虑到了  $\mu_1 \neq \mu_2$  的情况, 且得出在  $\mu_1 > \mu_2$  和  $\mu_2 > \mu_1$  时  $\alpha$  角对  $K_{\max}$  的影响是相反的这一结论。

#### 3. 功平衡法

功平衡法推导出在  $\mu_1 = \mu_2$  时最佳模角与  $\mu$  及变薄程度  $\epsilon_1$  的关系为

$$\alpha_{\text{opt}} = \sqrt{2\mu(1-\epsilon_1)\epsilon_1}$$

该式的特点是考虑到了变形程度  $\epsilon_1$  对最佳模角的影响。此式仅适用于  $\epsilon_1 < 1$  时, 而且从公式中看出变形程度对最佳模角的影响并不明显。当  $\mu = 0.08$  时不同  $\epsilon_1$  下的最佳模角值如下:

| $\epsilon_1$          | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| $K_1$                 | 0.26 | 0.33 | 0.39 | 0.45 | 0.50 | 0.55 |
| $\alpha_{\text{opt}}$ | 10.4 | 11.2 | 11.4 | 11.2 | 10.4 | 9.1  |

应该说明的是, 在实际的设计中  $\alpha$  角并不是由最佳模角这一单因素决定的。 $\alpha$  角对引伸的影响因素很多, 诸如底厚、引伸件强度、凹模高度等等, 这些将在以后阐述。

### 六、各参数对 $K_{\max}$ 影响的试验验证<sup>[17][18]</sup>

试验工件材料是含碳 0.25% 的低碳钢, 经 850°C 90 分钟的退火, 其真实应力曲线为

$$\sigma = 79.4 \epsilon^{0.17}$$

试验装置如图 2-13 所示。在 100 吨液压机上进行试验, 试验机速度为 20mm/min。

冲子直径为 18mm, 凹模半角为 10°、15°、20°、25°。变形程度用变薄比  $R$  表示。

$$R = \frac{D_1^2 - d^2}{D_2^2 - d^2} \quad (2-41)$$

式中  $d$ ——冲子直径；

$D_1$ 、 $D_2$ ——引伸前、后工件外径。

变薄比  $R$  与相对变形量  $K$  及对数变形量  $\epsilon$  的关系为

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{1}{1-K} = \frac{1}{e^\epsilon} \\ K &= 1 - \frac{1}{R} \\ \epsilon &= \ln \frac{1}{R} \end{aligned} \right\} \quad (2-42)$$

试验孟子外表面有极好的润滑层。而冲子与孟子内表面的润滑条件分为好、差、无三种，以便形成不同的  $\mu_1 - \mu_2$  值的试验条件。好润滑是用厚的机油膜，差润滑是用油布擦拭，无润滑是用汽油洗净冲子和孟子内部。

试验结果如图 2-14 和 2-15 所示。图中的实心点表示不成功（产生破裂）的  $R$  值，而空心点表示成功的试验用的  $R$  值，极限  $R$  值应在两者之间。

#### 1. $\mu_1 - \mu_2$ 和 $\alpha$ 角对 $R$ 极限值的影响

由图 2-14 看出在同一个  $\mu_1 - \mu_2$ （即润滑条件）时  $R$  值随  $\alpha$  角的增大而减小。在同一  $\alpha$  角时内部润滑条件越差（即  $\mu_1 - \mu_2$  越小）， $R$  值越大。这些均与上述的理论分析一致。

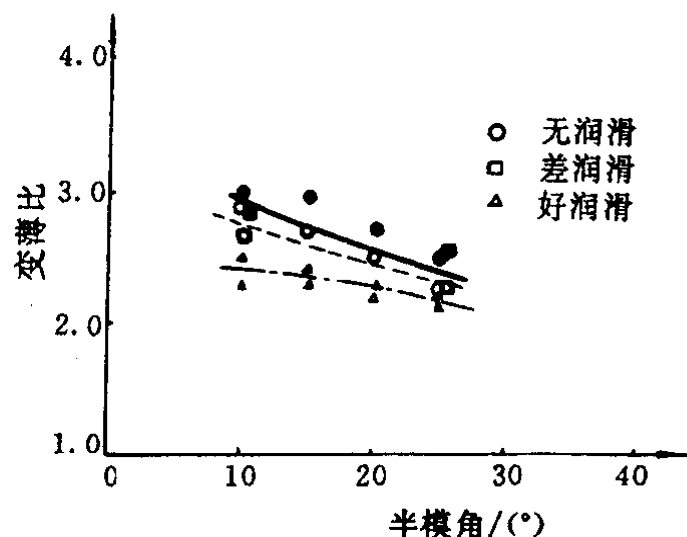


图 2-14  $\mu_1 - \mu_2$  和  $\alpha$  角对  $R$  的关系

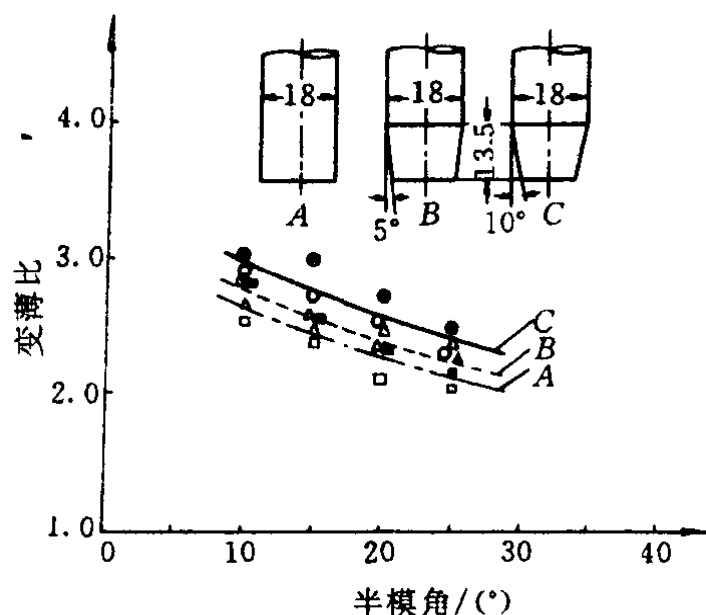


图 2-15  $\beta$  和  $\alpha$  与  $R$  的关系

#### 2. $\beta$ 角和 $\alpha$ 角对 $R$ 极限值的影响

从图 2-15 中看出， $\beta$  角越大， $R$  值也越大（同一个  $\alpha$  时），也看出在同一  $\beta$  角时， $R$  值随  $\alpha$  增加而减小。

## § 2.5 多模变薄引伸的力学分析

建国初期枪弹生产是按苏联资料进行的。那时不论是生产黄铜弹壳或覆铜钢弹壳，都需要四次变薄引伸，每次引伸后必须退火、酸洗，每道引伸都是两个凹模重叠后进行引伸。由于当时的技术水平很低，人们对这种工艺形成了一个印象，即引伸后的制品必须退火后才能再引伸。对于采用双模引伸的理解也极为肤浅，认为是减小凹模的磨损，把同一个变形量分

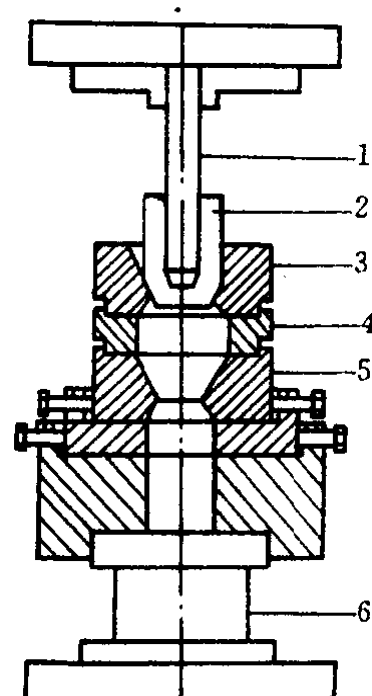


图 2-13 试验装置

1. 冲子；2. 工件；3. 上模；4. 空环；  
5. 下模；6. 储存盒

在两个模子内进行。

随着技术水平的提高，人们对上述工艺有了新的认识，即末前引（第三次引伸）后的退火温度很低，几乎不起消除加工硬化的作用，即弹壳体部强度是由末引和末前引两次引伸的加工硬化结果来达到的。既然第三次引伸后可以不消除加工硬化，继续进行第四次引伸，那末前几次引伸的退火是否可以取消呢？

有人进行了试验，将退火后的孟子不退火地逐次引伸，意外地发现居然顺利地通过了四次引伸而工件不破坏，总加工率达到了 85%。这就打破了过去的认识，否定了引伸后的工件必须退火后才能再引伸的看法。

随着认识的深化，人们又继续思考，既然加工硬化过的引伸件可以不退火继续引伸，可不可以把二引的凹模放在一引凹模下面，一次引伸出二引的工件，以减少引伸次数？经过长时间的试验、调试（改变凹模直径，两模的间距），可以用 4~5 个凹模重叠，用一次引伸出来原来需要 4~5 次引伸才能制得的变薄引伸件，有的工厂还有轧口（把口部在冲子和凹模间挤断，使口部整齐）工序。这样就形成了我国独创的多模引伸新技术。

多模引伸可以极大地缩减引伸次数和退火次数，具有极好的经济效益。其缺点是需要有大行程的压力机，这对大口径火炮药筒可能会有困难。多模引伸已在国内普遍采用。

尽管多模引伸工艺已普遍被采用，但其原理并不是很清楚，例如为什么多模引伸可以大幅度地提高加工率（变薄率）？多模引伸中各凹模的加工率如何设计？对这些问题都需要做深入的研究。

### 一、多模引伸的力学分析

以双模引伸为例，可以分为上模引伸、上下模同时引伸和下模引伸三个阶段。上模引伸的变形与一般的单模引伸完全相同。下模引伸时，与一般的单模引伸略有不同，即工件是已经加工硬化的以及冲子与工件间无间隙。此处讨论的多模引伸是指在两个凹模内同时引伸一个工件时的情况。对于三模或四模引伸，如果工件较长，则存在同时在二个以上凹模内引伸的情况。

#### 1. 出口处变形应力的计算

当上模、下模同时引伸工件时，上模的引伸应力  $\sigma_1$  对于下模来说形成一个初始拉应力，又称后拉力（图 2-16）。根据式（2-13）的推导，有

$$\int_{\sigma_1}^{\sigma_2} d\sigma_x = -1.15 \bar{\sigma}_{s2} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{t}$$

$$\text{得} \quad \sigma_2 = 1.15 \bar{\sigma}_{s2} \ln \frac{t_2}{t_1} + \sigma_1 = 1.15 \bar{\sigma}_{s2} \ln \frac{t_1}{t_2} + 1.15 \bar{\sigma}_{s1} \ln \frac{t_0}{t_1} \quad (2-43) \quad \text{图 2-16 多模引伸时的后拉力}$$

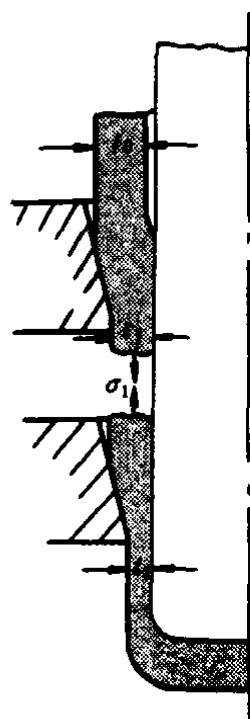
$$\text{如近似取} \quad \bar{\sigma}_{s1} = \bar{\sigma}_{s2} = \bar{\sigma}_{pj}$$

$$\text{则有} \quad \sigma_2 = 1.15 \bar{\sigma}_{pj} \ln \frac{t_0}{t_1} \quad (2-44)$$

式中  $\bar{\sigma}_{s1}$ 、 $\bar{\sigma}_{s2}$ 、——上模、下模变形区平均变形抗力；

$\bar{\sigma}_{pj}$ ——上、下模金属平均变形抗力。

式（2-43）说明，在  $\mu_1 = \mu_2 = 0$  时，双模（或多模）引伸的下模出口处的引伸应力等于同时引伸各模的引伸应力之和，也相当于同样加工率的单模引伸应力（式 2-44）。也就是说



在  $n$  个凹模内同时引伸一个工件时, 第  $n$  个凹模出口处金属承受着  $n$  个模的全部变形应力。

## 2. 多模引伸的变形力学性质

单模变薄引伸的变形力学性质由式 (2-34) 已经明确, 即在  $t > 0.61t_0$  时轴向拉应力  $\sigma_1$  小于径向压应力  $q$ , 属压缩类变形; 在  $t < 0.61t_0$  时  $\sigma_1 > q$ , 属伸长类变形。但在多模引伸的下面几个凹模内的变形力学性质是否也符合式 (2-34), 回答是否定的。

在下模 (第二凹模) 变形区内某一层  $x$  中的拉应力为

$$\sigma_{2x} = 1.15\bar{\sigma}_{pj} \ln \frac{t_0}{t_{2x}}$$

式中  $t_0$ ——第一模中工件变形前的壁厚;

$t_{2x}$ ——第二模中变形区某处的壁厚。

为求出拉应力与压应力相等处的壁厚  $t_{2x}$ , 令  $q_{2x} = \sigma_{2x}$ , 由塑性条件得

$$\sigma_{2x} + q_{2x} = 2\sigma_{2x} = 1.15\bar{\sigma}_s$$

即

$$2 \times 1.15\bar{\sigma}_{pj} \ln \frac{t_0}{t_{2x}} = 1.15\bar{\sigma}_s$$

近似取

$$\bar{\sigma}_{pj} = \bar{\sigma}_s$$

则得

$$t_{2x} = 0.61t_0 \quad (2-45)$$

式 (2-45) 与式 (2-34) 完全相同, 这说明不论是单模变薄引伸, 还是同时在数个凹模内进行变薄引伸, 只要变形区内的壁厚小于  $0.61t_0$  时, 变形区内的轴向拉应力即大于径向压应力, 即最大主应力为拉应力, 因此属于伸长类变形。

可见多模引伸下模的变形力学性质还取决于上模的变形程度。一般上模的加工率为  $0.4 \sim 0.5$  左右, 即  $t_1 = 0.5 \sim 0.6t_0$ 。所以可以认为多模引伸下模是属于伸长类变形。

## 3. 径向压应力

径向压应力是作用在凹模锥角上的正应力, 它的大小直接影响凹模的磨损, 尤其是多模引伸的后几个凹模, 因为参与这些凹模变形的金属是已经加工硬化的金属。

由塑性条件知

$$q_2 + \sigma_2 = 1.15\bar{\sigma}_s$$

$$q_2 = 1.15\bar{\sigma}_s - \sigma_2 = 1.15\bar{\sigma}_s \left(1 - \ln \frac{t_0}{t_2}\right)$$

从上式可以看出径向压应力  $q_2$  是随轴向拉应力  $\sigma_2$  的增加而减小的, 而  $\sigma_2$  是随变薄比  $t_0/t_2$  的增大而增大的。因此多模引伸中的径向压应力是逐渐减小的, 即越是靠后的凹模, 虽然变形材料越硬, 但径向压应力越小。例如当加工率  $K = 0.50$  时,  $t_0/t_2 = 2$ ,  $q_2 = 0.35\bar{\sigma}_s$ ; 当  $K = 0.60$  时,  $t_0/t_2 = 0.25$ ,  $q_2 = 0.096\bar{\sigma}_s$ 。实际也证明, 多模引伸中凹模磨损并不严重。

## 4. 附加的摩擦压应力

由前面的分析已知, 在单模引伸的变形区, 冲子移动速度大于变形区金属的移动速度。因此, 当

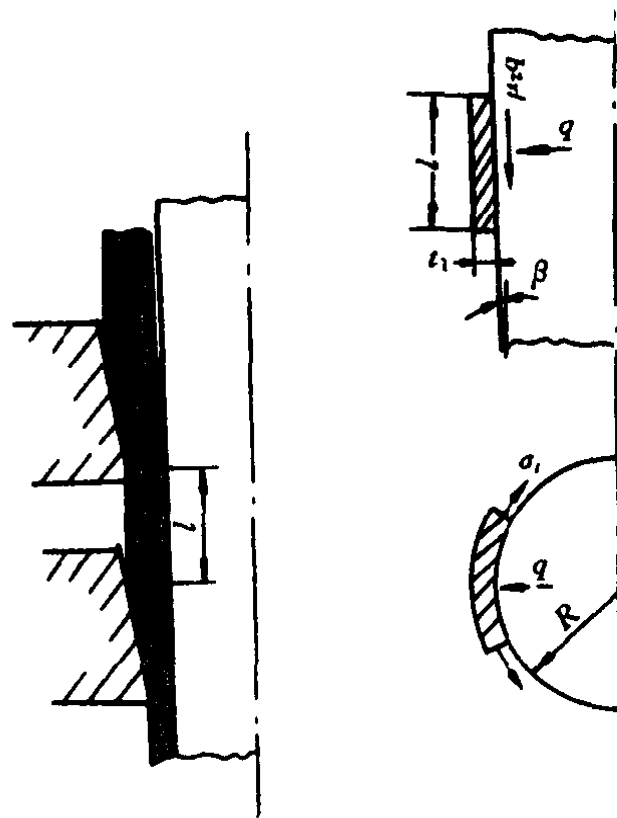


图 2-17 两模间金属及其受力分析

工件同时在两凹模中引伸时，冲子移动速度也大于两模间金属（即上模变形区出口处到下模变形区入口处这个间距  $l$  内包围的金属，见图 2-17）。由于冲子具有  $1^\circ \sim 2^\circ$  的锥度（这是产品图规定，也是脱模需要），两模间金属与冲子的相对运动必然形成两者间的过盈配合，相对运动中对工件的摩擦力方向是指向下模变形区，这就是多模引伸时产生的附加摩擦压应力。 $n$  个凹模同时引伸时有  $n-1$  个摩擦压应力。

摩擦压应力减小了下模的拉应力，使下模的允许变形程度提高，这就是多模变薄引伸能提高总加工率的原因。

当相对运动距离为  $l$  时，两模间金属的弹性扩张应变为  $\varepsilon$ ，则

$$\varepsilon = \Delta D / D = 2l \tan \beta / D = \frac{l}{R} \tan \beta$$

式中  $\Delta D$ ——直径扩张量；

$D$ ——冲子在该处的直径；

$R$ ——冲子在该处的半径；

$\beta$ ——冲子斜度。

由于弹性扩张而产生的圆环切向应力  $\sigma_t$  为

$$\sigma_t = E\varepsilon = \frac{l}{R} E \tan \beta$$

式中  $E$ ——工件材料的弹性模量。

由上式可知冲子斜度不能太大，否则在多模引伸时会因切向拉应力  $\sigma_t$  过大而产生纵向裂纹，这种裂纹由于经过下模的变形，还较难察觉。

对于中间各道引伸，冲子的斜角是人为地确定的。对于末次引伸，冲子各段的斜角是由产品图壁厚的变化而形成的（产品的壁厚是上薄下厚），是无法改变的。因此对  $\beta$  角过大的末引冲，是不宜用多模引伸的。

切向拉应力  $\sigma_t$  不应超过两模间金属的强度，由于该处金属已经过上模的加工硬化，其强度可由幂强化公式计算，即

$$\sigma_t = A\varepsilon_1^n \quad (2-46)$$

式中  $\varepsilon_1$ ——上模变薄的真实应变率  $\varepsilon_1 = \ln(t_0/t_1)$ ；

$A$ ——工件材料的加工硬化系数（表 1-4）；

$n$ ——工件材料的加工硬化指数（表 1-4）。

根据薄壁筒受力情况，可求得径向应力  $q$ ，即

$$q = \sigma_t t_1 / R$$

摩擦压应力  $\sigma_{\mu 2}$  为

$$\begin{aligned} \sigma_{\mu 2} &= 2\pi R l \mu_2 q \cos \beta / 2\pi R t_1 = \mu_2 \sigma_t \frac{l}{R} \cos \beta \\ &= E \mu_2 \left( \frac{l}{R} \right)^2 \sin \beta \end{aligned} \quad (2-47)$$

最大摩擦压应力  $\sigma_{\mu 2m}$  为

$$\sigma_{\mu 2m} = A\varepsilon_1^n \mu_2 \frac{l}{R} \cos \beta \quad (2-48)$$

式中  $\mu_2$ ——冲子与工件的摩擦系数。

## 二、多模引伸的加工极限

用推导(2-43)式的方法可以推导出考虑附加摩擦压应力时,双模引伸下模出口处的拉应力为

$$\begin{aligned} \int_{\sigma_1 - \sigma_{\mu 2}}^{\sigma_2} d\sigma &= -1.15 \bar{\sigma}_{s2} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{t} \\ \sigma_2 &= 1.15 \bar{\sigma}_{s2} \ln \frac{t_1}{t_2} + \sigma_1 - \sigma_{\mu 2m} \\ &= 1.15 \bar{\sigma}_{s2} \ln \frac{t_1}{t_2} + 1.15 \bar{\sigma}_{s1} \ln \frac{t_0}{t_1} - A \epsilon_1^n \mu_2 \frac{L}{R} \cos \beta \\ m \text{ 个凹模内同时引伸时第 } n \text{ 个凹模出口处拉应力 } \sigma_m \text{ 为} \\ \sigma_m &= 1.15 \bar{\sigma}_{sm} \ln \frac{t_{m-1}}{t_m} + 1.15 \bar{\sigma}_{sm-1} \ln \frac{t_{m-2}}{t_{m-1}} + \cdots + 1.15 \bar{\sigma}_{s1} \ln \frac{t_0}{t_1} \\ &\quad - (A \epsilon_{m-1}^n \mu_2 \frac{l_{m-1}}{R} \cos \beta + A \epsilon_{m-2}^n \mu_2 \frac{l_{m-2}}{R} \cos \beta + \cdots A \epsilon_1^n \mu_2 \frac{l_1}{R} \cos \beta) \end{aligned} \quad (2-49)$$

式中  $\bar{\sigma}_{sm}$ ——第  $m$  个凹模变形区内的平均变形抗力;

$t_m$ ——第  $m$  个凹模引伸后的壁厚;

$\epsilon_{m-1}$ ——第  $m-1$  个(倒数第二个)凹模内的真实变形;

$l_{m-2}$ ——第  $m-1$  到第  $m$  个凹模的间距。

为简化上式,取

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{sm} &= \bar{\sigma}_{sm-1} = \bar{\sigma}_{s1} = \bar{\sigma}_s \\ A \epsilon_{m-1}^n &= A \epsilon_{m-2}^n = A \epsilon_1^n = \bar{\sigma}_s \end{aligned}$$

则有

$$\sigma_m = 1.15 \bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t_m} - \bar{\sigma}_s \mu_2 \frac{L}{R} \cos \beta \quad (2-50)$$

式中  $L$ ——各凹模间距的总和。

为求最大加工率,令  $t_m$  为最大加工率时的工件壁厚,则有  $\epsilon_{\max} = \ln(t_0/t_m)$ ,  $\sigma_m$  为经过应变量为  $\epsilon_{\max}$  变形后工件的强度,上式经整理后得

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{1.15} \left( \frac{\sigma_m}{\bar{\sigma}_s} + \mu_2 \frac{L}{R} \cos \beta \right)$$

由于

$$\bar{\sigma}_s = \frac{1}{1+n} A \epsilon_m^n, \quad \sigma_m = A \epsilon_m^n$$

有

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{1.15} (1+n+\mu_2 \frac{L}{R} \cos \beta) \quad (2-51)$$

式(2-51)即为多模引伸加工极限的计算公式,如果把常用的参数代入,即可求出  $\epsilon_{\max}$  与  $L/R$  的具体数值,这些参数是  $\mu_2 = 0.12$ ,  $\beta = 1.5^\circ$ ,  $n = 0.23$ 。

| $L/R$             | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\epsilon_{\max}$ | 1.09  | 1.17  | 1.29  | 1.38  | 1.49  | 1.59  | 1.70  |
| $K_{\max}$        | 0.663 | 0.700 | 0.725 | 0.748 | 0.775 | 0.796 | 0.817 |

由上面的计算可以看出,多模引伸能较大地提高极限加工率的主要原因是存在着附加的由摩擦引起的压应力,它抵消了部分凹模出口处的拉应力。 $\sigma_{\mu 2}$  的数值相当可观,当  $K = 0.50$  时,  $L/R = 6$  时,计算的  $\sigma_{\mu 2} = 417 \text{ MPa}$ ,  $L/R = 2$  时  $\sigma_{\mu 2} = 139 \text{ MPa}$ 。

## 三、提高加工极限的方法

### 1. 加大两模间距离 (即加大 $l/R$ )

$l/R$  增大,  $\sigma_{\mu_2}$  增大,  $K_{\max}$  增大。从变形力学角度出发, 模数多、间距大对提高总加工率是有利的。但从生产角度考虑, 模子多会引起调整困难, 间距大会引起压床行程不够等问题, 因此模子数和间距应综合考虑确定。

### 2. 提高工件与冲子间的摩擦系数 $\mu_2$

多模引伸时由各个凹模中引伸出来的工件外表面可以冲淋到润滑液, 而工件内表面则不能, 即外表面的润滑情况优于内表面, 亦即出现  $\mu_2 > \mu_1$  的情况, 这对提高极限加工率极为有利。

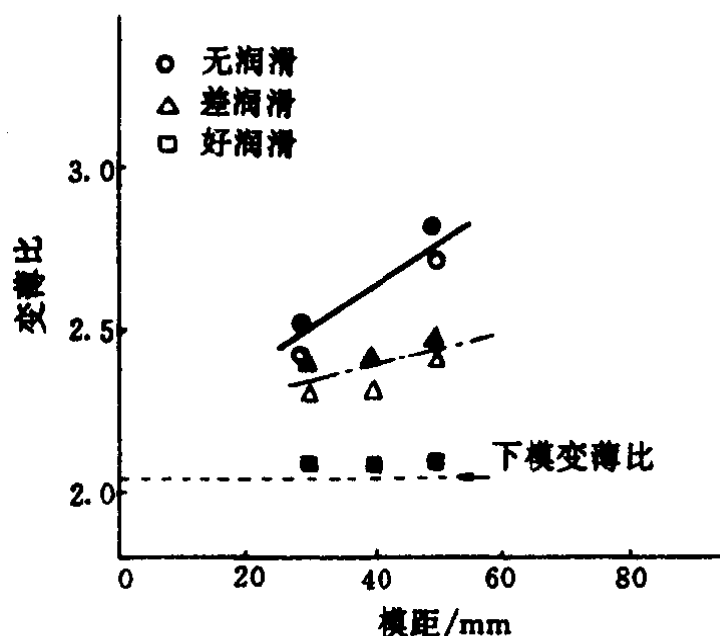


图 2-18 不同润滑条件下模间距与最大变薄比的试验结果

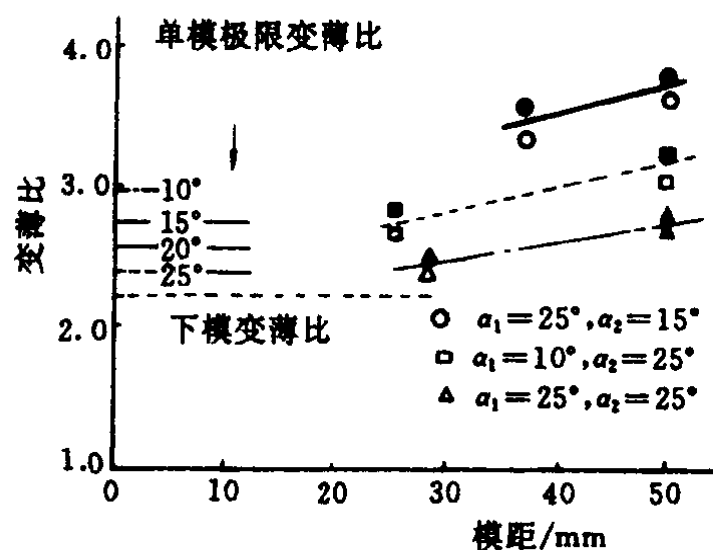


图 2-19 半模角  $\alpha$  与最大变薄比的关系

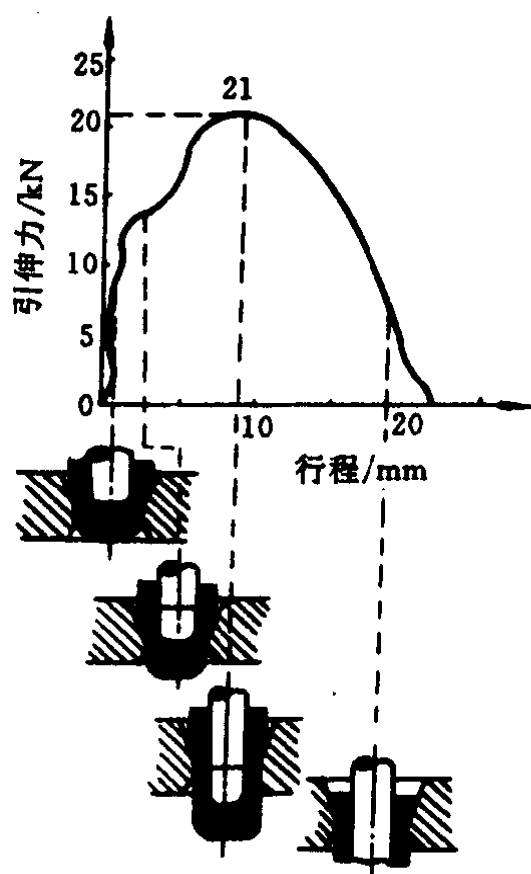


图 2-20 单模引伸的力-行程曲线

图 2-18 为三种不同的工件内表面润滑条件下, 模间距与最大变薄比的试验结果。试验装置同图 2-13, 上模直径为 22mm, 下模直径为 20mm, 冲子直径为 18mm, 即下模变薄比  $R_2$  为 2.1, 用改变工件的外径来改变上模的变薄比  $R_1$ , 使总变薄比  $R = R_1 \cdot R_2$ 。结果表明  $\mu_2 - \mu_1$  很小时  $R$  提高不多, 间距对  $R$  的影响也不明显。但  $\mu_2$  太大时工件很难从冲子上卸下。

### 3. 各凹模半模角的配合

一般情况下凹模半锥角  $\alpha$  减小, 对提高最大加工率是有利的。图 2-19 为试验结果。

提高单模  $R$  值的措施对多模引伸同样有效。

## 四、引伸力-行程曲线

多模引伸的最大变形力出现在多模同时引伸阶段, 因此可以用单模引伸变形力计算的经验公式 (2-32) 计算, 但变薄量应是同时在各模内变薄量的和。

### 1. 单模引伸的力-行程曲线

图 2-20 为 56 式 7.62 覆铜钢弹壳第一次引伸的实测的力-行程曲线, 凹模内径为 13mm。

## 2. 双模引伸的力-行程曲线

图 2-21 为与上述相同的工件在内径为  $\phi 13$  的凹模前增加一内径为  $\phi 13.9\text{mm}$  的凹模，形成双模引伸。两者对比可知同样的变薄量时多模引伸的变形力比单模小。其原因之一是双模引伸的下模为伸长类变形，由于受到上模后拉力的影响，使径向应力  $q_2$  降低，因而摩擦损失降低。对同一加工率的单模和双模引伸后的工件进行强度对比，结果双模引伸工件的强度比单模引伸工件低  $10 \sim 20\text{MPa}$ 。其原因可能是双模引伸下模的径向应力减小而降低了金属的附加流动。

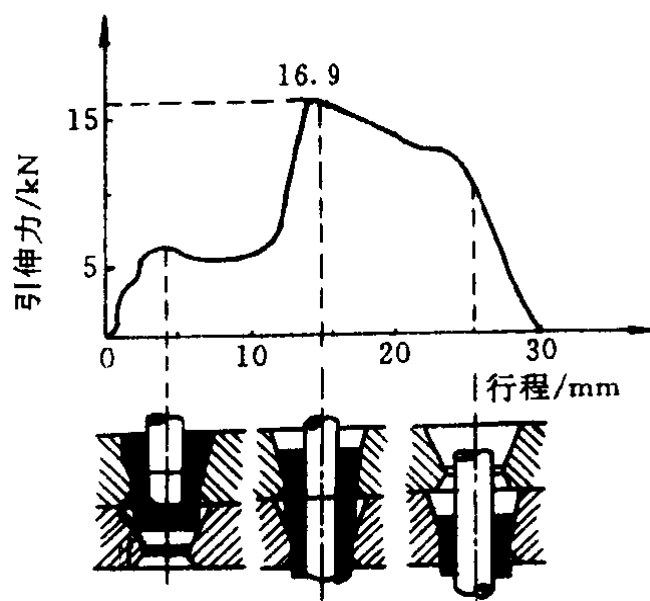


图 2-21 双模引伸的力-行程曲线

此外，引伸工件上薄下厚，变薄量也不等，变形力除与变薄量有关外，还与变薄部分的壁厚有关。单模引伸的最大变形力出现在下部开始变薄不久时，越往口部壁厚越薄，引伸力降低（见图 2-22），双模同时引伸时，两模变形力的总和正好避开了两个最大分力的叠加。

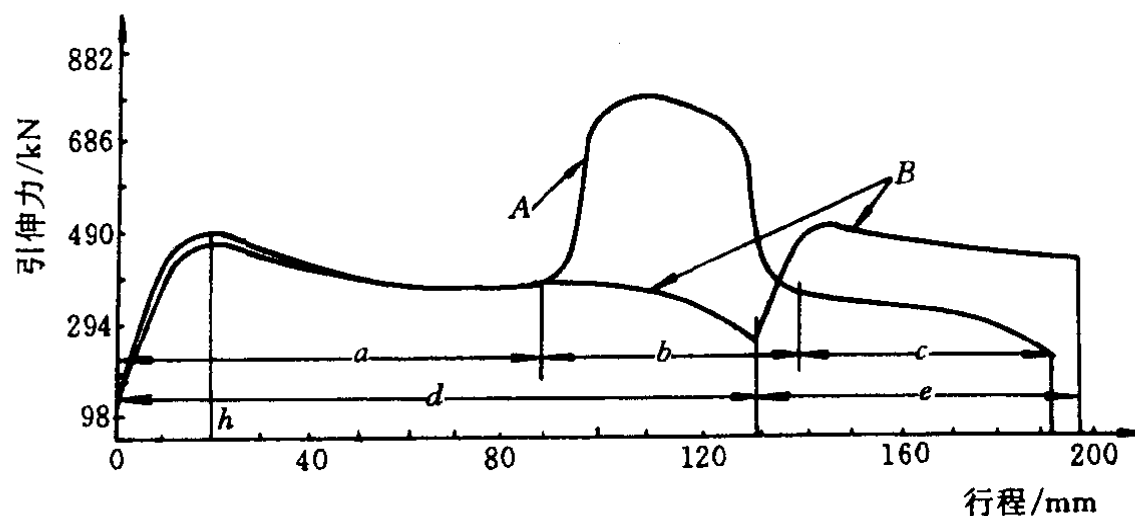


图 2-22 药筒双模引伸的力-行程曲线

图 2-22 为典型的上薄下厚的深筒形件双模引伸的力-行程曲线。该工件为 85 钢药筒第二次引伸，其外径  $112\text{mm}$ ，内径  $101.82\text{mm}$ ，上凹模内径  $106.9\text{mm}$ 。半模角  $\alpha_1 = 15^\circ$ ，下凹模内径  $105.2\text{mm}$ ， $\alpha_2 = 10^\circ$ ，冲子上直径为  $100.32\text{mm}$ 。

曲线 A 为双模引伸的力-行程曲线，a 段为上模引伸阶段，最高引伸力出现在 h 点，即冲子圆弧切点通过凹模时，因为开始引伸时药筒根部（底与壁交界处）受墩挤压力，变形力陡增，部分金属上流，增大了下部的变薄量。由于工件壁厚逐渐变薄，故引伸应力逐渐下降。b 为双模同时引伸阶段，c 为下模引伸阶段。

曲线 B 为双模断续引伸的力-行程曲线，即把两模间距加大到上模引伸完后再进入下模，这样即可以分别看出单独在上、下模引伸时的力-行程曲线。其中 0h 段高度不一致是因为两个产品尺寸误差引起的。

## § 2.6 单模连续引伸的力学分析

单模引伸属压缩类变形，压缩类变形可以用无中间退火的用多次小变形量加工来提高总变形程度。现用变形力学来说明其原理。

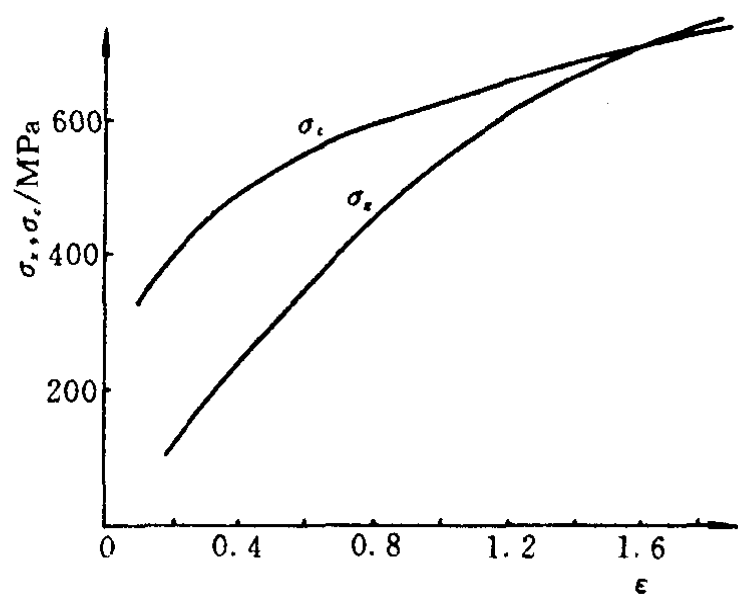


图 2-23  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  与  $\epsilon$  的关系曲线

根据功平衡法推导出的变薄引伸应力  $\sigma_2$

为

$$\sigma_2 = \bar{\sigma}_s \left[ \ln \frac{t_0}{t_1} + \frac{\alpha}{2} + \frac{\mu}{\alpha} \left( 1 - \ln \frac{t_0}{t_1} \right) \ln \frac{t_0}{t_1} \right] \quad (2-22)$$

$$\text{即} \quad \sigma_2 = \bar{\sigma}_s \left[ \epsilon + \frac{\alpha}{2} + \frac{\mu}{\alpha} (1 - \epsilon) \epsilon \right]$$

传力区的强度可用  $\sigma_c = A\epsilon^n$  计算。随着变形程度的增加  $\sigma_2$  和  $\sigma_c$  也升高，只要  $\sigma_2 < \sigma_c$ ，引伸可以进行。当  $\sigma_2 = \sigma_c$  时即可求得极限变形量。

S15A 钢在  $\mu = 0.10$  和  $\alpha = 12^\circ$  时  $\sigma_2$ 、 $\sigma_c$  随  $\epsilon$  而变化的曲线如图 2-23 所示，两曲线的

交点即为  $\epsilon_{\max}$ （功平衡法的计算准确度并不高）。

一只经过一次引伸的引伸件变薄率为  $\epsilon_1$ ，不退火（以变薄率为  $\epsilon_2$ ）再次引伸，则其引伸应力仍可用上式计算，只是平均变形抗力应用下式计算，即

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_s &= \frac{1}{(\epsilon_1 + \epsilon_2) - \epsilon_1} \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_1 + \epsilon_2} \sigma d\epsilon = \frac{1}{\epsilon_2} \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_1 + \epsilon_2} A\epsilon^n d\epsilon \\ &= \frac{A}{(1+n)\epsilon_2} \left[ (\epsilon_1 + \epsilon_2)^{n+1} - \epsilon_1^{n+1} \right] \end{aligned}$$

$$\text{有} \quad \sigma_2 = \frac{A}{(1+n)\epsilon_2} \left[ (\epsilon_1 + \epsilon_2)^{n+1} - \epsilon_1^{n+1} \right] \left[ \epsilon_2 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\mu}{\alpha} (1 - \epsilon_2) \epsilon_2 \right]$$

传力区的承载应力为

$$\sigma_c = A (\epsilon_1 + \epsilon_2)^n$$

求经过引伸的（变薄率为  $\epsilon_1$ ）再引伸件的极限加工率。可令  $\sigma_2 = \sigma_c$ ，有

$$(\epsilon_1 + \epsilon_2)^n - \frac{1}{(1+n)\epsilon_2} \left[ (\epsilon_1 + \epsilon_2)^{n+1} - \epsilon_1^{n+1} \right] \left[ \epsilon_2 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\mu}{\alpha} (1 - \epsilon_2) \epsilon_2 \right] = 0$$

式中  $\mu$ 、 $n$ 、 $\alpha$  均为已知数，只要给定一个  $\epsilon_1$  即可求得  $\epsilon_{2\max}$ 。现将求解结果列于下表：

|          |                    |       |       |       |       |       |       |
|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 第一次变薄率   | $K_1$              | 0.4   | 0.5   | 0.6   | 0.7   | 0.787 | 0.9   |
|          | $\epsilon_1$       | 0.511 | 0.693 | 0.916 | 1.20  | 1.547 | 2.30  |
| 第二次最大变薄率 | $K_{2\max}$        | 0.652 | 0.636 | 0.623 | 0.612 | 0.603 | 0.591 |
|          | $\epsilon_{2\max}$ | 1.055 | 1.01  | 0.976 | 0.947 | 0.923 | 0.894 |
| 两次总变薄率   | $K_\Sigma$         | 0.791 | 0.818 | 0.849 | 0.883 | 0.915 | 0.959 |
|          | $\epsilon_\Sigma$  | 1.566 | 1.703 | 1.892 | 2.147 | 2.470 | 3.194 |

以上计算表明：

(1) 两次或多次单模引伸的总变薄率可以超过一次引伸的最大变薄率。

(2) 即使用最大变薄率引伸的工件，仍能用一定的变薄率继续引伸。

多模引伸中如果加大两模间距离，使工件离开第一凹模后再进入第二凹模。如果压床行程足够，可以用一个冲子先后（不是同时）通过几个凹模进行引伸，这也是单模连续引伸的一种形式或称多模断续引伸。

多模断续引伸的变形情况与单模连续引伸的情况有些不同，即后者在引伸时为使冲子到达工件内底，冲子与工件间有间隙，而前者的下模内冲子和工件间是无间隙的，即待变形区与冲子间会产生象多模引伸一样的摩擦压应力（图 2-24），但此压应力随着引伸毛坯高度的减小而逐渐减小。

为了证明多模引伸可以提高极限加工率和引伸过的工件仍然可以用较大的加工率继续引伸，我们在现有生产条件下进行试验验证。将 56 式 7.62 覆铜钢弹壳第一次引伸后的工件分为退火和不退火两类，作单模和多模引伸试验。一引工件的加工率为  $K_1=0.667$ 。如果不退火的一引工件能通过再次引伸，说明引伸过的工件可以再引伸的理论是正确的。

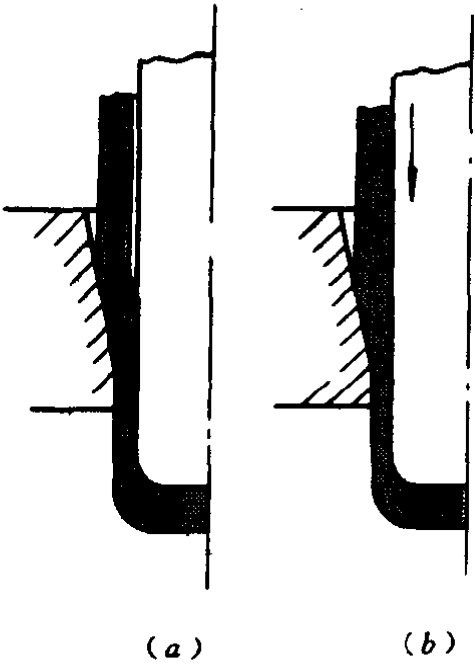


图 2-24 多模断续引伸时的压应力  
(a) 一般引伸；(b) 多模断续引伸的下模

表 2-1 单模和多模引伸试验

| 模子数  | 加工率/% | 试 验 结 果 |                        | 总加工率/% | 备 注                                                  |
|------|-------|---------|------------------------|--------|------------------------------------------------------|
|      |       | 引伸前工件退火 | 引伸前工件不退火               |        |                                                      |
| 单模引伸 | 20    | 良好      | 良好                     | 73.4   |                                                      |
|      | 58.4  | 良好      | 表面有线痕                  | 86.1   |                                                      |
|      | 67.3  | 100%拉断  | 100%拉断                 | 89.1   |                                                      |
| 双模引伸 | 58.4  | 良好      | 良好                     | 86.1   | 一 模 $k_1=20\%$ ，二 模 $k_2=48\%$                       |
|      | 67.3  | 良好      | 75%拉断<br>10%拉断         | 89.1   | 一 模 $k_1=58.4\%$ ，二 模 $k_2=21.5\%$                   |
|      | 67.3  | 良好      | 30%口部掉边                | 89.1   | 一 模 $k_1=21.5\%$ ，二 模 $k_2=58.4\%$                   |
| 三模引伸 | 67.3  | 良好      | 加工一定时间<br>后出现线痕及<br>掉边 | 89.1   | 一 模 $k_1=20\%$ ，二 模 $k_2=48\%$ ，<br>三 模 $k_3=21.5\%$ |

§ 2.7 变薄冲孟的变形力学分析<sup>[19]</sup>

变薄冲孟又称带变薄的首次拉深。就是在首次拉深（冲孟）的同时有意地把壁部变薄。药筒是厚底薄壁的高筒形件，冲孟的任务之一就是分配底部和体部金属。这样，孟子的高度不会很高，即冲孟的直径变形程度将很小，为了减少以后的变薄次数，在首次冲孟时采用了较大的变薄量，这就形成了变薄冲孟。弹壳制造时还可以利用多模引伸的原理，在变薄冲孟的凹模下再安排一次变薄引伸，使一次冲压即达到很大的变形程度。即下料、冲孟、变薄引伸

组合在一起，一次冲压即得到  $h/d$  很大的孟子。

## 一、变形过程分析

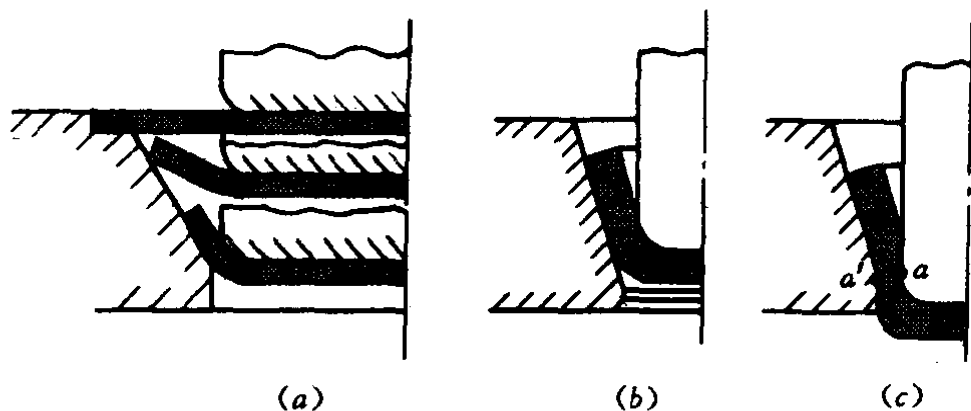


图 2-25 变薄冲孟的变形过程

(a) 收锥; (b) 壁部挤压; (c) 壁部变薄

弹壳冲孟毛坯的相对厚度 ( $t/D$ ) 很大 (可达 0.15 左右), 冲孟不需压边, 且与落料工序复合。冲孟都在锥形凹模中进行。随着冲子下行, 冲子周围的金属被逐渐地紧贴凹模锥面滑下, 并形成锥形 (直径收缩), 称为收锥阶段 (图 2-25a)。

从冲子下降到它与凹模的单面间隙等于板厚起, 由于继续下行时间隙的减小, 冲子圆角部分对工件的相应部分产生挤压 (图 2-25b)。这个阶段很短, 当冲子圆角上的切点  $a$  通过凹模导引部分的入口处  $a'$  时, 挤压阶段结束, 变薄拉深阶段开始 (图 2-25c)。

变形区  $abcd$  为变薄变形区 (图 2-26), 变薄区以上为收缩变形区。所以变薄冲孟可以视为不变薄冲孟与变薄引伸的组合变形, 即工件在壁变薄的同时又进行直径收缩的冲孟变形。

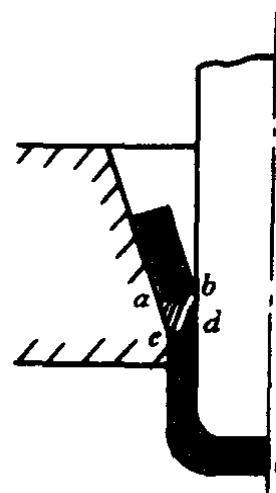


图 2-26 变薄冲孟的变形区

## 二、变形应力

### 1. 收锥应力 $\sigma_d$

$\sigma_d$  的计算可借用无芯棒减径拔管的拉应力推导结果<sup>[10]</sup>, 即

$$\sigma_d = \frac{1+B_1}{B_1} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^{B_1} \right] 1.15 \bar{\sigma}_{s1} \quad (2-52)$$

式中  $\sigma_d$ ——收锥所需的拉应力;

$\bar{\sigma}_{s1}$ ——材料平均变形抗力;

$D$ ——变形前毛坯直径;

$d$ ——变形后孟子直径;

$B_1$ ——系数,  $B_1 = \mu / \tan \alpha$ ;

$\mu$ ——凹模与工件的摩擦系数;

$\alpha$ ——凹模半锥角。

忽略摩擦影响 (即  $\mu=0$ ) 时有<sup>[10]</sup>

$$\sigma_d = 1.15 \bar{\sigma}_{s1} \ln \frac{D}{d} \quad (2-53)$$

### 2. 变薄应力 $\sigma_t$

$$\sigma_t = \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{t}{t_0} \right)^B \right] 1.15 \bar{\sigma}_s$$

$\mu_1 = \mu_2$  时

$$\sigma_t = 1.15 \bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t}$$

### 3. 变薄冲孟应力 $\sigma_{td}$

由前面分析可知, 变薄冲孟可以看作一个后拉力为收锥应力  $\sigma_d$  的变薄引伸, 因此可以推导出

$$\mu_1 = \mu_2 \text{ 时} \quad \sigma_{td} = 1.15 \bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t} + \frac{1+B_1}{B_1} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^{B_1} \right] 1.15 \bar{\sigma}_{s1} \quad (2-54)$$

$$\text{忽略 } \mu_1 \text{ 影响时} \quad \sigma_{td} = 1.15 \bar{\sigma}_s \ln \frac{t_0}{t} + 1.15 \bar{\sigma}_{s1} \ln \frac{D}{d} \quad (2-55)$$

## 三、极限变形程度

与不变薄冲孟相比, 变薄冲孟增加了变薄引起的拉应力, 其极限变形程度是否会降低? 回答是否定的, 因为变薄冲孟的危险断面的强度与不变薄冲孟相比, 因其变薄而提高了, 所以极限变形程度可以提高, 现证明如下:

最大变形应力出现在刚开始变薄引伸时, 因为这时收锥应力  $\sigma_d$  最大, 随着冲子的下行,  $D/d$  减小, 变形应力逐渐减小。因此用计算这一变形位置的最大变形应力来推导其变形极限。

收锥变形区平均变形抗力  $\bar{\sigma}_{s1}$  为

$$\bar{\sigma}_{s1} = \frac{1}{1+n} A \epsilon_d^n \quad (\epsilon_d = \ln \frac{D}{d})$$

孟子下壁部在收锥时基本上没有大的变形, 因此该处进入变薄变形区的平均变形抗力也可以用上式确定, 即

$$\bar{\sigma}_s = \frac{1}{1+n} A \epsilon_t^n \quad (\epsilon_t = \ln \frac{t_0}{t})$$

冲孟后下壁部的变形为  $\epsilon_t$ , 其强度为  $A \epsilon_t^n$ , 代入式 (2-55) 有

$$A \epsilon_t^n = \frac{1.15}{1+n} A \epsilon_t^{n+1} + \frac{1.15}{1+n} A \epsilon_d^{n+1}$$

化简整理得

$$\epsilon_d = \left[ \frac{1+n}{1.15} \epsilon_t^n - \epsilon_t^{n+1} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (2-56)$$

上式为极限变形程度时  $\epsilon_d$ 、 $\epsilon_t$  和  $n$  的关系式。 $n$  值由材料确定, 故对一定的材料, 其极限变形程度是确定的。现以 S15A 钢为例, 给定一个  $\epsilon_t$ , 即有一个  $\epsilon_d$ ,  $\epsilon_t + \epsilon_d$  即为极限变形程度, 计算结果如下表。

| 变薄变形量        |       | 直径变形量        |       | 总极限变形量                                    |          |
|--------------|-------|--------------|-------|-------------------------------------------|----------|
| $\epsilon_t$ | $K_t$ | $\epsilon_d$ | $K_d$ | $\epsilon_{td} = \epsilon_t + \epsilon_d$ | $K_{td}$ |
| 0.20         | 0.181 | 0.655        | 0.480 | 0.855                                     | 0.575    |
| 0.30         | 0.260 | 0.654        | 0.480 | 0.954                                     | 0.615    |
| 0.40         | 0.330 | 0.628        | 0.466 | 1.028                                     | 0.642    |
| 0.50         | 0.393 | 0.586        | 0.443 | 1.086                                     | 0.662    |
| 0.60         | 0.450 | 0.531        | 0.412 | 1.131                                     | 0.677    |
| 0.70         | 0.500 | 0.478        | 0.400 | 1.178                                     | 0.692    |

续表

| 变薄变形量        |       | 直径变形量        |       | 总极限变形量                                    |          |
|--------------|-------|--------------|-------|-------------------------------------------|----------|
| $\epsilon_t$ | $K_t$ | $\epsilon_d$ | $K_d$ | $\epsilon_{td} = \epsilon_t + \epsilon_d$ | $K_{td}$ |
| 0.80         | 0.550 | 0.384        | 0.294 | 1.184                                     | 0.694    |
| 0.90         | 0.593 | 0.292        | 0.252 | 1.192                                     | 0.696    |
| 1.00         | 0.632 | 0.182        | 0.166 | 1.182                                     | 0.693    |
| 1.10         | 0.667 | 0.034        | 0.033 | 1.134                                     | 0.678    |

计算结果看出, 当  $\epsilon_t = 0.90$  时  $\epsilon_{td}$  有最大值, 总极限变形程度为 1.192 (相对变形程度为 0.696, 现工厂生产弹壳用的  $K_{td}$  为 0.641, 计算结果与实际接近。比纯直径缩小的不变薄冲孟的极限变形量 ( $K_d = 1 - \frac{d}{D}$ ) 大 (一般  $K_d = 0.50$  左右)。

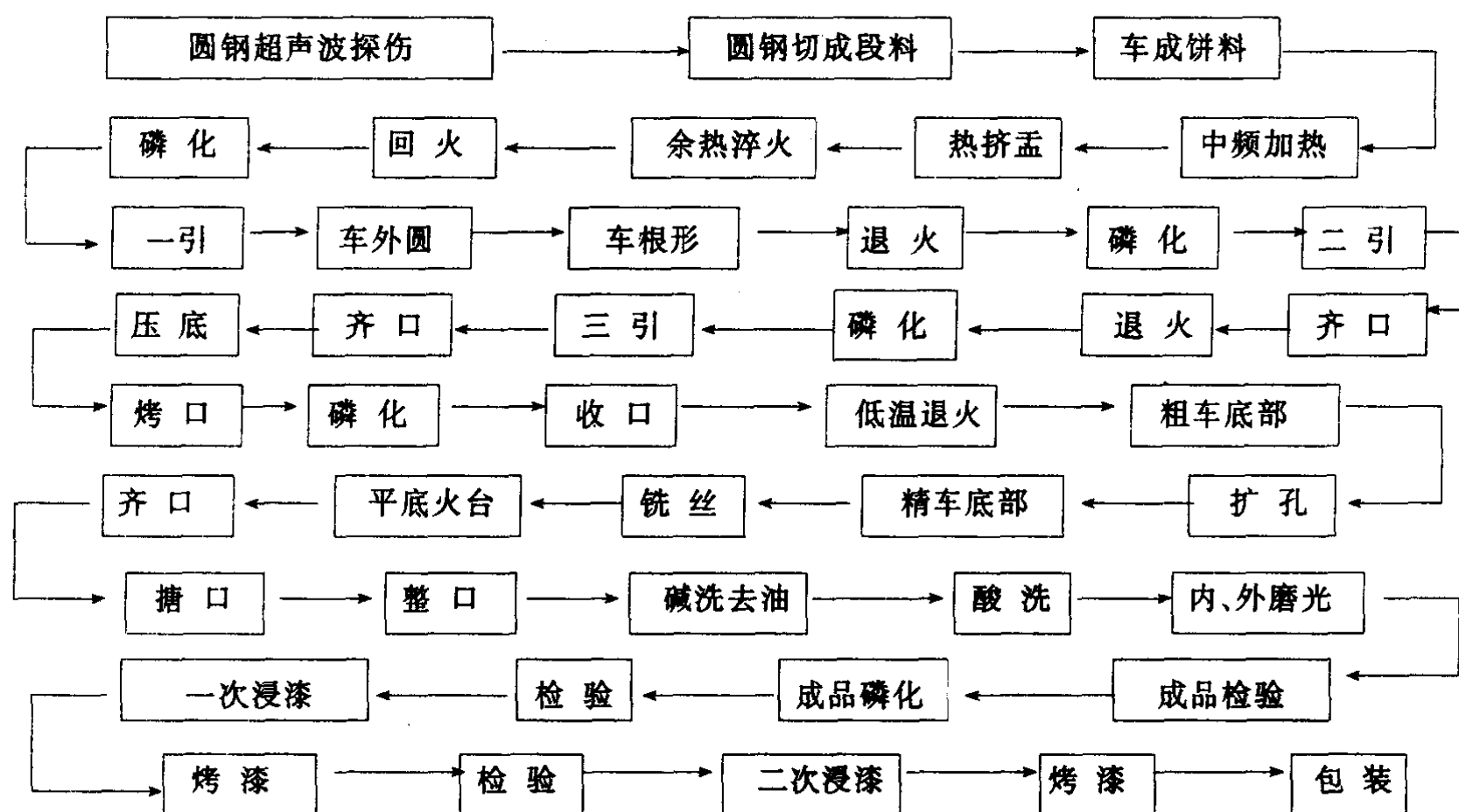
# 第三章 药筒（弹壳）制造

## § 3.1 工艺过程综述

由于口径不同，材料不同，药筒（弹壳）生产工艺过程也各不相同。即使是同一产品，由于生产条件的差异，加工工艺也不尽相同。现列举不同口径、不同材料的药筒工艺过程如下：

### 一、典型工艺流程介绍

#### 1. 85 钢药筒工艺流程



余热淬火是利用热挤孟后孟子的高温进行淬火，和随后的回火一起组成调质处理。目的是提高产品的强度极限和低温冲击值。

车外圆是以孟子内圆定位车削孟子的体外部，目的是车去挤孟时形成的壁厚差，因为孟子产生壁厚差在以后的各次引伸中是很难纠正的。此外车外圆也可车去表面缺陷。

齐口即切口，将口部切齐。搪口是切削口内部使壁厚均匀。整口是用过盈的冲子插入药筒口部，将口部整圆并达到一定的尺寸精度，因该处是与弹体紧配合的，有一定的拔弹力（弹体从药筒口部抽出所需的力）要求。

低温退火对于黄铜药筒是必须的，目的是消除自裂倾向。但对于低碳钢药筒低温退火的必要性尚有争论，有的认为无必要，但为安全起见，大口径钢药筒均有低温退火工序，小口径钢药筒和钢弹壳均不设低温退火工序。

各冲压工序半制品形状尺寸见图 3-1。

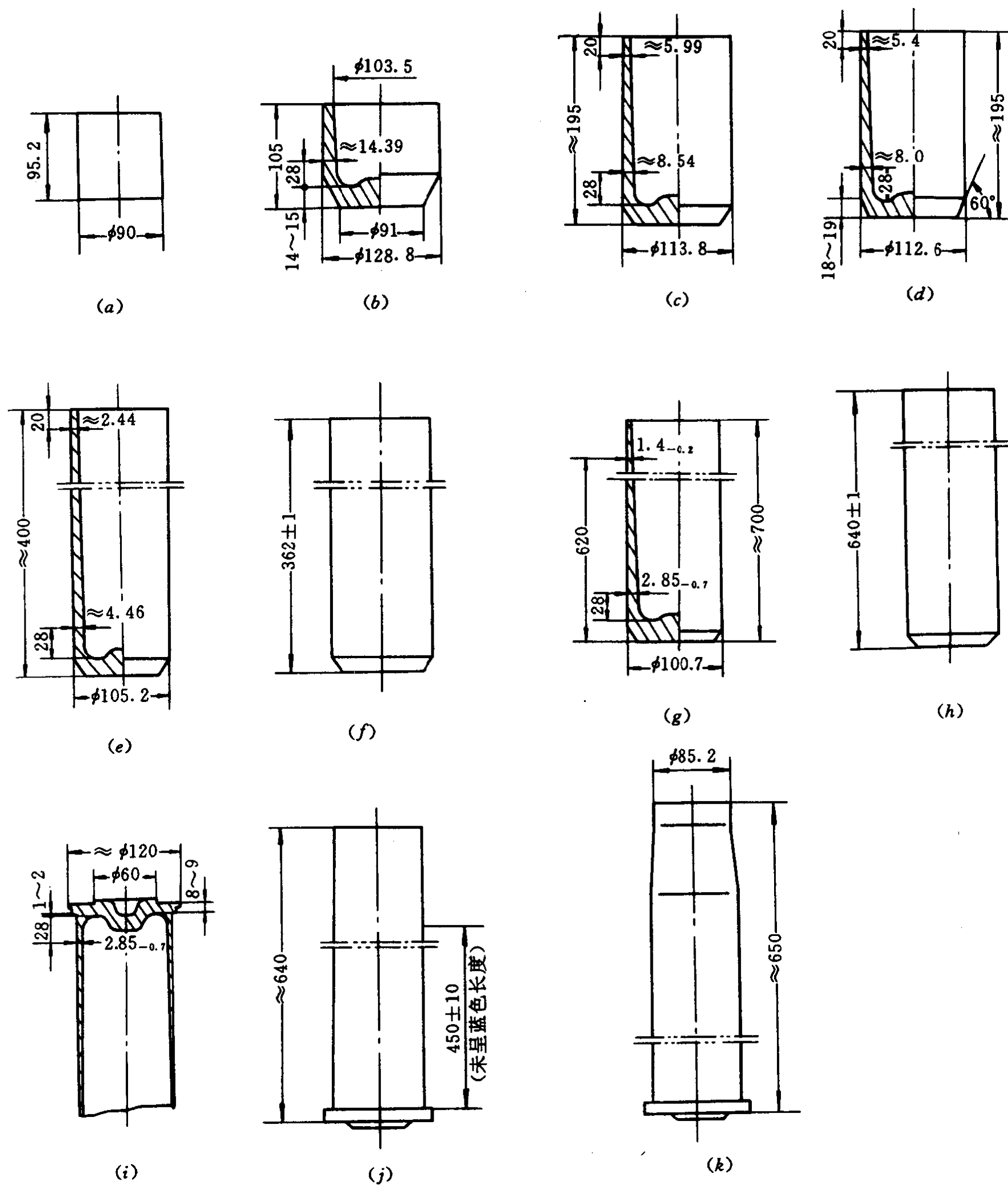
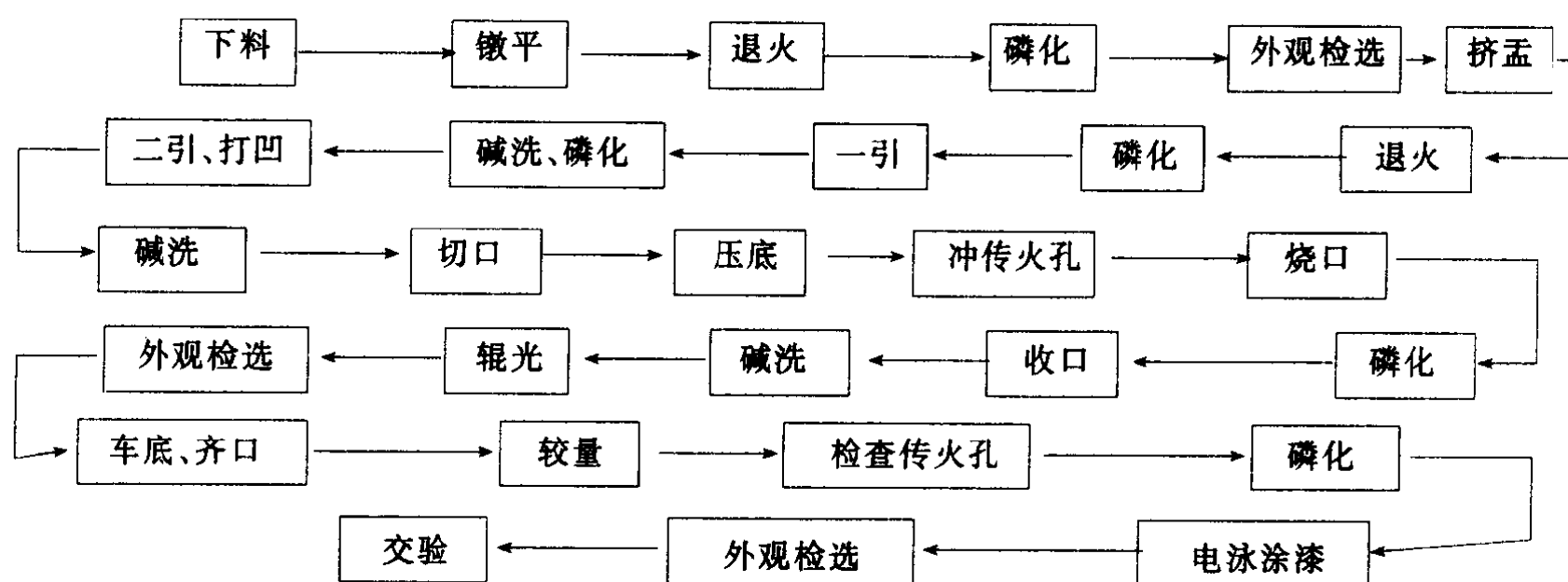


图 3-1 85 钢药筒冲压半制品图

(a) 毛坯; (b) 挤孟; (c) 一引; (d) 车外圆; (e) 二引;  
(f) 齐口; (g) 三引; (h) 齐口 (i) 压底; (j) 烤口; (k) 收口

## 2. 7.62 钢弹壳工艺流程



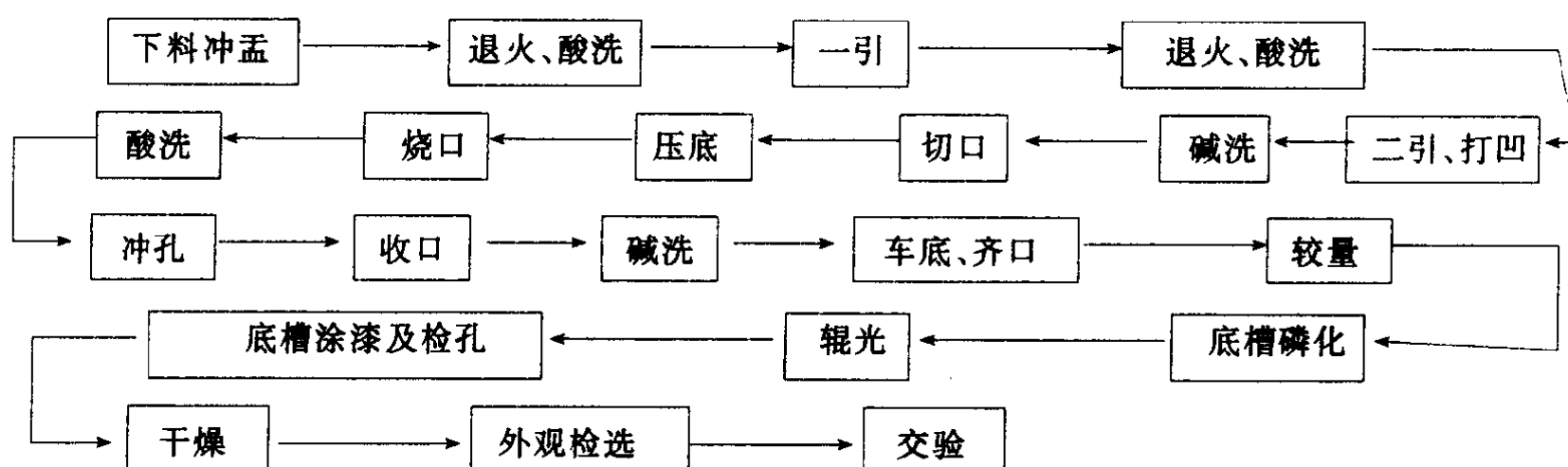
下料是用剪切法，因为棒料直径很小 ( $\phi 13$ )，锻平的目的就是消除剪切时形成的缺陷，使两端面平整，便于挤压。

碱洗的目的是去除工件表面的油污，以便在下道的切口和车底、齐口工序中工件不在夹具内打滑。一、二引间的碱洗、磷化工序也可省略。

辊光工序是使表面干净，便于外观检选，剔出外观不合格产品。此工序亦可省去。

较量是在机器（称较量机）中测量弹壳的所有尺寸，并把不合格者按大小分类挑出。

### 3. 7.62 覆铜钢弹壳工艺流程



7.62 钢弹壳和覆铜钢弹壳的冲压半制品图见图 3-2。

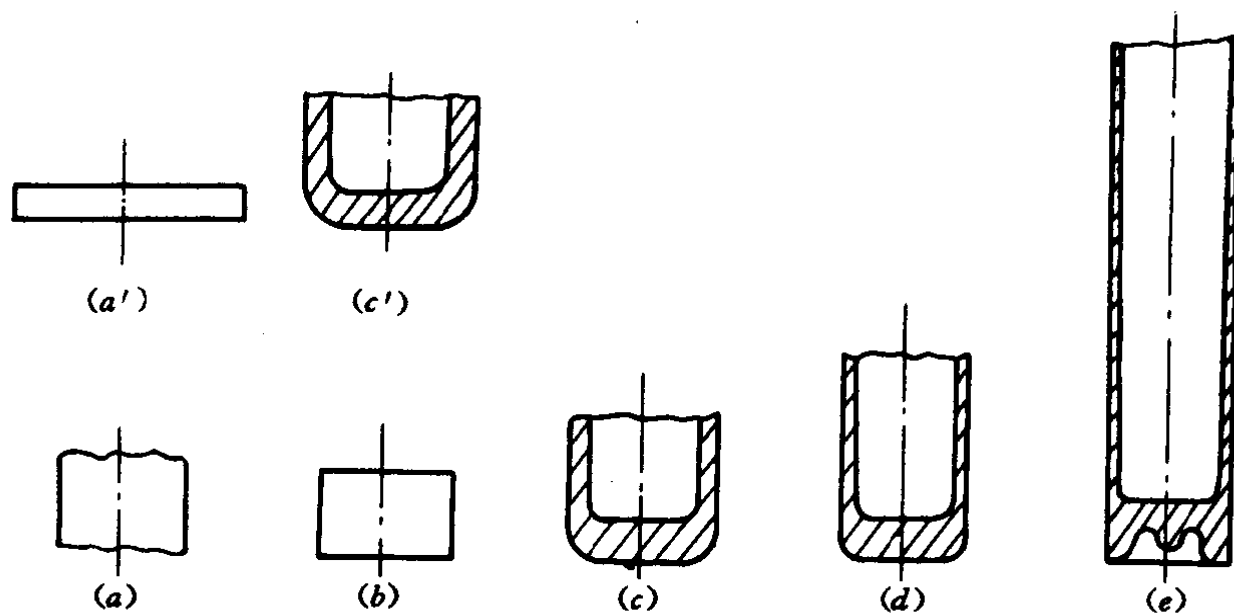


图 3-2

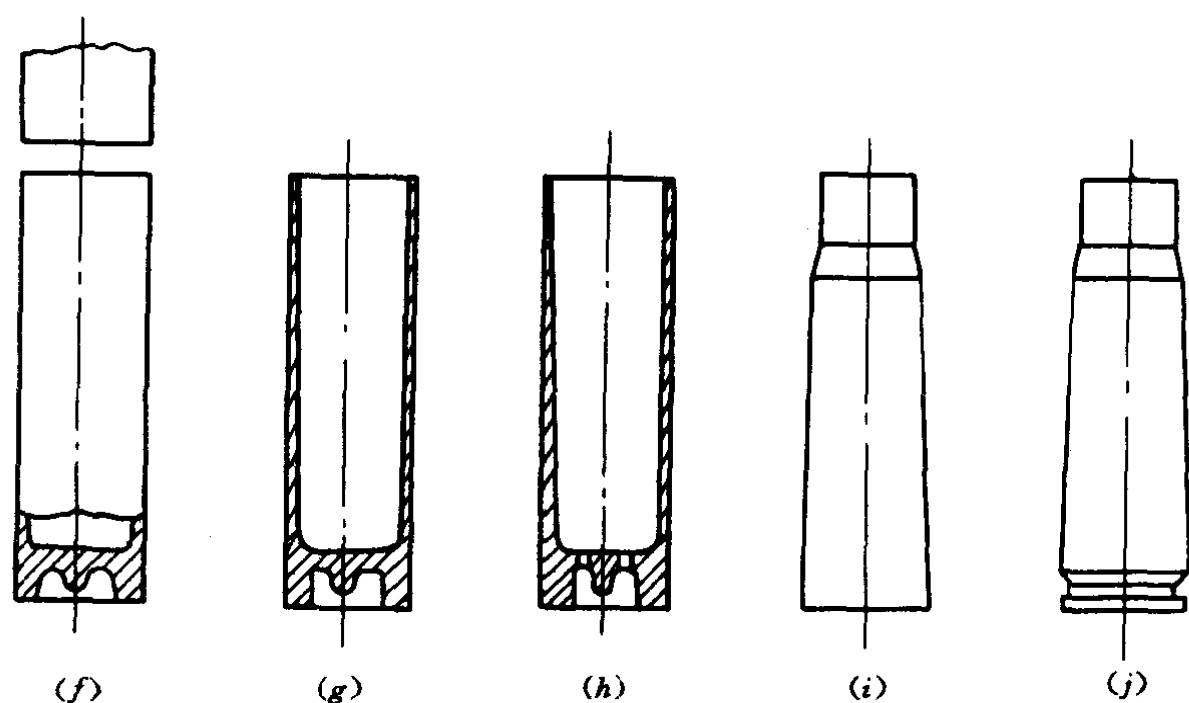
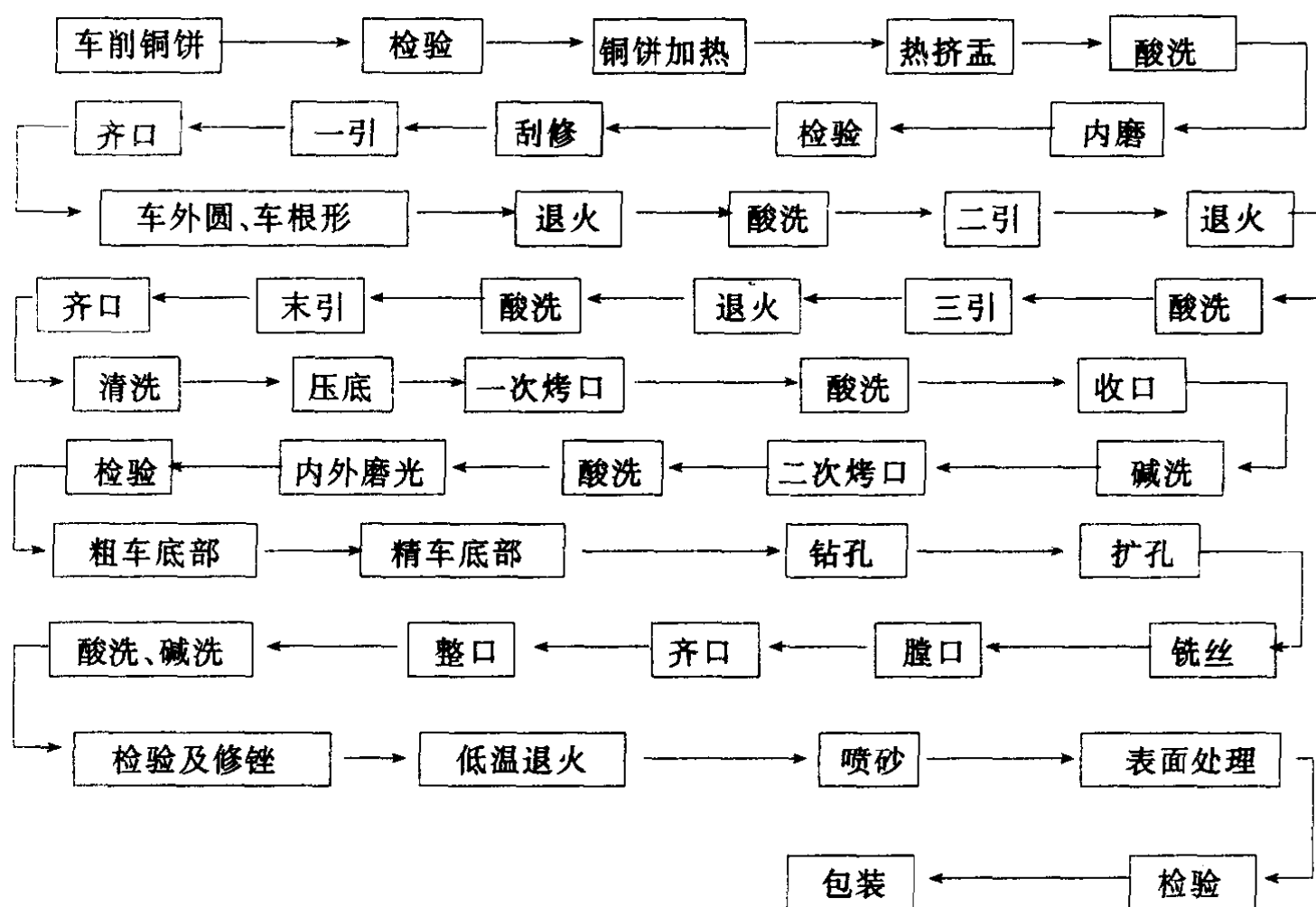


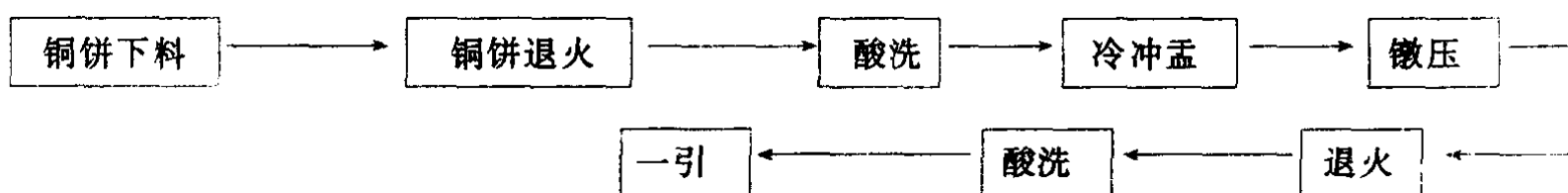
图 3-2 7.62 覆铜钢及钢质弹壳冲压半制品图

(a) 棒料下料; (a') 板料下料; (b) 镦平; (c) 挤孟; (c') 冲孟; (d) 一引;  
(e) 二引、打凹; (f) 切口; (g) 压底; (h) 冲传火孔; (i) 收口; (k) 车底、齐口

#### 4. 大口径黄铜药筒工艺流程



用冲孟法制造黄铜药筒的前几道工序是:



与钢药筒相比黄铜药筒的表面处理工序较少,但增加了一道喷砂工序,是用高压吹出的砂子打击底部车削部位,使该处的表面拉应力变为压应力,防止产生自裂。

冷冲孟药筒的镦压是为了形成底火室初形和孟子外底锥角,类似热挤孟的车根形(详见§3.11)。

从上述工艺流程可以看出，药筒（弹壳）制造中用到了以下五种工艺：

（1）冲压和挤压工艺：这是最主要的成型加工工序，如下料、冲盂、挤盂、冲孔、引伸、打凹、压底、收口等。通过冲压变形获得产品的形状、尺寸和机械性能。

（2）热处理工艺：有消除加工硬化的再结晶退火，改善机械性能的调质处理和提高长期储存性能的低温退火等。

（3）表面处理工艺：如酸洗（去锈、去氧化皮）、碱洗（去油）、磷化（润滑和防腐）和涂漆。这些工序不改变金属的形状和性能，但随着材料由黄铜和覆铜钢改为钢后，它在药筒制造中的作用将越来越不可忽视。

（4）机械加工工艺：在药筒制造中占的比重较大，底火室和底缘是用切削加工制得的。但在弹壳制造中仅车底槽一道工序，而大口径弹壳已经可以用压底缘的方法来形成底槽，不需切底槽工序了。枪弹的切口是用圆盘刀进行无切屑切口，应属于冲压工艺。

（5）检验工序：除了工序间检验外，对成品必须100%地进行尺寸较量、光电检孔和外观检查。外观检查是必须的，但又是很难用机械代替人工检验的工序。

## 二、强度曲线的形成

药筒（弹壳）和一般机械零件不同之处是它的各个部位强度不同，形成一个强度曲线（图3-3），此曲线随着弹道诸元、药筒结构和药筒材料的不同略有差异。不符合此曲线时就会出现各种射击疵病。

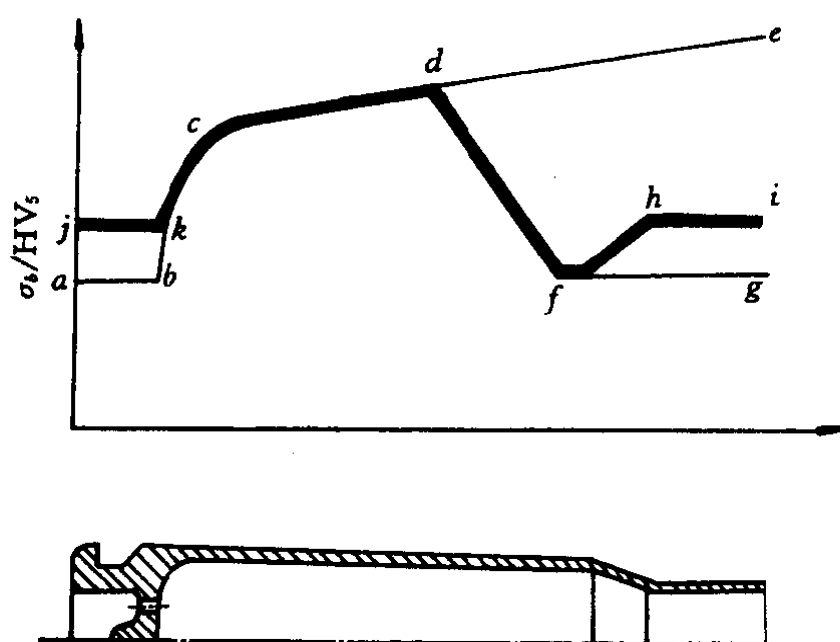


图 3-3 弹壳硬度曲线的形成

口部要求有一定强度，以保证有足够的拔弹力，过低则易形成弹头脱落，过高则起动压力增大，影响膛压。

肩部是强度最低的部位，利用它封闭炮膛，即在膛压不大时肩部就紧贴炮膛，阻止火药气体向后逸出。

体部是强度最高的部位，目的是防止卡壳（弹壳与炮膛形成过盈配合），并承受全部抽壳力。强度过低会形成卡壳，这是不允许产生的疵病，过高则会形成体部纵裂。

底部希望有较高的强度，过低的底部强度会形成枪弹底火脱落，漏烟等疵病。

药筒的强度曲线是在工艺过程中逐步形成的。末引时孟子底部未加工硬化，而体部加工

硬化达到最大值,故强度曲线为  $abcde$  (图 3-3),其中  $ce$  段的斜率随末引口部加工率而定,一般枪弹弹壳的  $ce$  段呈上升趋势,而药筒则呈下降趋势。

烤口(烧口)后孟子上部加工硬化消失,强度下降,体部强度如  $dfg$ 。

收口时口部加工硬化,强度升高,但下肩部因基本上未经塑性变形,故强度最低,收口后的强度曲线为  $dfhi$ 。

打凹、压底后底部强度升高到  $jk$ 。

因此曲线  $jkcdfhi$  即为药筒最终的硬度曲线。

### 三、影响工艺方式的因素

从以上四个典型工艺流程比较可以看出,各种药筒和弹壳的工艺流程相差不多,但它们的工艺方式各有不同,例如孟子制造可以用冷冲孟、冷挤孟、热挤孟和棒料下料后热镦平,然后再冷冲孟等方式。影响工艺方式的主要因素是口径和产品的材料。工厂现有设备条件也是影响工艺方式的一个因素。

#### 1. 口径对工艺方式的影响

各种药筒的形状相近,但品种繁多。口径从 5.56mm (或更小)、7.62mm 直至 152mm,从 20 多 mm 长的手枪弹弹壳到 800 多 mm 高的火炮药筒,口径的大小是影响工艺方式的重要因素。

落料:小口径弹壳采用棒料冷剪切,大口径弹壳和小口径药筒采用热(蓝脆)棒料剪切,而中大口径药筒则采用车切或锯切落料,这显然是因为口径越大棒料越粗,剪切越困难的缘故。

成孟:小口径药筒(37mm 以下)可以采用冷挤,而中大口径药筒由于压力机吨位等原因都采用热挤。此外小口径弹壳可用下料、冲孟复合工序。

机加:由于药筒底火采用旋入式,故螺纹和底缘加工不可避免地采用机加方式,而弹壳底火是压入式,可用冲压方式完成。因此药筒的机加工序多而弹壳只有车底缘一道工序。

工序的组合:小口径枪弹由于尺寸小、产量大,故尽量采用工序组合方式或多头方式,如下料-冲孟、引伸-打凹、车底-齐口、多模引伸、七冲下料-冲孟等。而大口径药筒都是单工序、单冲进行的。

生产自动化:小口径弹壳已实现了自动送料,工序间联动,甚至自动生产线。而口径越大则机械化自动化程度越低。

#### 2. 产品材料对工艺方式的影响

当前弹壳和药筒的材料有黄铜、覆铜钢和钢三种。它们对工艺方式和工艺性质的影响主要是在表面处理(包括润滑和防腐两类)和热处理方面。

表面处理:黄铜和覆铜钢冲压不需要专门的供润滑用的表面处理,其防腐处理也极简单,只需钝化即可。对底槽切去的覆铜层只需磷化涂漆即可。而钢质产品则每次冲压前均需表面处理,以作润滑用,而作为防腐的表面处理更为复杂,当前主要是磷化后两次(或一次)浸漆,有的甚至要电镀(如镀锌后涂漆)。而涂漆又有浸漆、电泳涂漆、静电喷漆、静电粉末喷漆等工艺方式。

热处理:以钢质药筒为最复杂,有冷挤前毛坯的球化退火,有调质处理。对强度要求高的药筒底部和根部,如果加工硬化达不到所要求的强度,还要用淬火方法来实现。

## § 3.2 工艺设计

### 一、工艺设计的依据

#### 1. 产品图和技术条件

这是工艺设计的主要依据。产品图包括产品的形状、尺寸、加工精度和各区的机械性能等。技术条件包括材料、制造及验收（靶场射击试验）技术条件等。对于军工产品，如果产品图是已定型的，则不许有任何修改。

#### 2. 生产纲领

生产纲领就是每年的生产量，它决定了生产类型。弹药消耗量大，因此生产量都很大。多为大量生产或多品种成批生产。因此都是流水线或轮换的生产方式。设备的选择、工艺装置的设计等均应与之相适应。

#### 3. 实际生产条件和技术水平

工艺设计立足于本工厂现有的生产条件和技术水平，并吸收其它方面先进技术，以便能迅速投入生产，取得良好的经济效益。还应考虑到工厂今后的发展，如新品开发和民品生产等问题。

在工艺设计中，与产品有关的技术资料、技术文件、技术标准等也是不可少的。

### 二、工艺方案的制定

药筒和弹壳的生产工艺比较成熟，因此制定一个新产品的工艺方案并不太难。在制定工艺方案时下述问题是应予确定的。

#### 1. 落料方式

对于棒料，落料方式有剪切、车切和锯切三种。剪切的生产率高，且为无切削加工，通常用于 37mm 口径以下。45mm 以上的圆钢采用车切或锯切。车切、锯切的切面质量好，可以不设镦平工序。

#### 2. 挤孟方式

即冷挤与热挤的选择。冷挤孟的生产效率、工具寿命、工件精度和表面质量都比热挤孟好。此外热挤孟尚需加热设备，劳动条件也差。热挤孟后还必须有车外圆工序，这样既增加了工序，又浪费了金属。但由于压力机吨位所限，当前大、中口径药筒都采用热挤孟方式。

#### 3. 冲压次数的计算

引伸次数可以通过计算确定。收口次数也可计算确定，一般是 1~2 次。压底次数取决于设备吨位，一般是 1~2 次。弹壳的底部成形都是分为打凹和压底两次成形的。

#### 4. 热处理方面的考虑

对于要求机械性能高的药筒可以考虑是否增加调质或成品淬火等热处理工序。

### 三、工艺设计的内容

#### 1. 工艺流程的初步拟定

根据上面提出的工艺方案可以拟定出一个初步的工艺流程，试制阶段按此流程进行，并在试制中考核、调整，最后制定出可行的工艺流程。

#### 2. 冲压工序的模具设计

这项工作的工作量很大，计算顺序也不一样，现介绍其中的一个计算顺序。

(1) 根据产品图，考虑到机加部位的切削余量，设计出药筒冲压件图，如图 3-15 所示。弹壳由于没有其它机加工序（仅为车底槽），故没有此步骤。

(2) 根据冲压件图设计末引半制品及其模具。

(3) 根据末引模具尺寸及产品图规定的抗拉强度设计末前引半制品及其模具。

(4) 根据产品图，考虑到生产过程中的各种损耗，确定毛坯的质量和尺寸。

(5) 孟子尺寸确定及其模具设计。

(6) 引伸次数计算及中间各次引伸模具设计。

(7) 确定压底次数，压底半制品及其模具设计，对弹壳则还有打凹及冲传火孔的模具设计。

(8) 收口次数及半制品和模具设计。

(9) 变形力计算，设备选择。

这种方法称为逆正法，即先由成品逆推（向毛坯方向），再由毛坯向成品方向正算。此法较适于冷冲孟和冷挤孟工艺。对热挤孟工艺的药筒冲模设计，习惯上采用逆推法，即由末引一直逆算到热挤孟和毛坯设计。即上述的（4）、（6）步骤交换位置。

### 3. 刀、夹、量具设计

刀、量具尽量采用标准件和通用量具，但有些成型车刀、专用量具（如合膛模）还是要专门设计的。

## 四、编制工艺规程

工艺规程是指导生产的技术文件，在工厂具有技术法规的效用。它的作用有：

(1) 作为生产、计划部门组织生产的依据。

(2) 作为劳资部门配备劳动力的依据。

(3) 作为机械动力部门配置设备、能源的依据。

(4) 作为物资部门订购生产所需的主要材料及辅助材料的依据。

(5) 作为工具部门订购、制造工具的依据。

(6) 作为生产车间制造产品的依据。

(7) 作为理化、检验部门鉴定产品的依据。

工艺规程内容包括：工艺流程，各工序使用的设备型号及精度要求，工艺装置（模具、夹具、刀具、量具、辅具等），原材料，辅助材料规格、标准，半制品形状、尺寸及技术要求，加工工艺规范，检验项目，操作守则及技安等。

工艺规程可按工艺性质分成毛坯制造、冲压加工、半制品润滑处理、热处理、切削加工和成品防腐处理等工艺规程。

在样品试制阶段可以编制试制方案或试制大纲。在设计定型阶段可编制临时工艺规程。正式的工艺规程是在生产定型阶段才能形成。

## 五、药筒的生产定型过程

药筒系军品，质量要求很严，又是大量生产，因此生产定型是很严格的，一般分为以下三个阶段。

### 1. 小量试制阶段

工艺设计完成后即可进行试制的各项准备工作。如原材料准备、生产线布置、工艺装置与非标设备的制造等。然后开始小量试制，这个阶段的主要目的是验证所设计的工艺能否满足产品图的基本要求，工艺是否可行。

#### 2. 批量试制阶段

主要目的是进一步暴露和解决小量试制中存在的主要技术问题，考核生产工艺是否合理完善，生产条件是否满足大量生产的要求。

#### 3. 生产定型阶段

通过三个定型批的生产考验后才能进行生产定型鉴定工作。鉴定内容包括：技术资料是否齐全、是否符合标准化要求，作业线及设备是否具备大量生产的条件，全面质量管理及工人技术培训是否达到要求。鉴定批产品要加倍测试其机械性能、防腐性能及射击试验。

以上项目全部合格后，经上级机关批准，才可以转入大量生产。

### § 3.3 药筒材料

#### 一、对药筒（弹壳）材料的要求

##### 1. 具有良好的冲压成形性能

药筒、弹壳主要是用冲压加工成形的，因此其材料必须有良好的冲压成形性能。

##### 2. 强度高、弹性好

即  $\sigma_s/E$  大，因为抽壳时形成最终间隙主要由药筒材料的  $\sigma_s/E$  决定。 $\sigma_s/E$  大，射击后回弹大，不易卡壳。要提高药筒的  $\sigma_s$ ，可选择加工硬化指数大的材料，以使用同样的加工率得到  $\sigma_s$  更高的工件。黄铜的  $E$  比钢小一倍，对抽壳是极为有利的。从  $E$  值角度讲铝的  $E$  值更小，但因  $\sigma_s$  很小，未能广泛应用。

##### 3. 具有良好的抗蚀性，防腐处理简单

弹药需有 15 年的储存期，因此药筒、弹壳必须进行严格的防腐处理。

##### 4. 长期储存中不改变机械性能

如低碳钢的时效，黄铜的自裂都是不允许的。

此外，不与发射药起化学作用，价格低，国内资源丰富等也是不可忽视的要求。

#### 二、药筒（弹壳）用材料简介

黄铜是最理想的药筒材料，因为其塑性好、强度高、弹性模量低、加工硬化指数高、防腐处理简单，而且黄铜药筒的重复使用性好，废品回收价值高，但它在国内资源不丰富，且价格贵。故已被钢所代用。

药筒使用的黄铜是专用的四六铁黄铜，黄铜中含有铁的成分。国产枪弹中已不采用黄铜作弹壳材料。覆铜钢板的覆铜层为 H90 铜。

我国枪弹药筒用钢已有钢材技术标准和试验验收方法。基本上都是低碳钢，用铝脱氧镇静钢，具体成分和机械性能见表 3-1 和 3-2。

表 3-1 药筒用钢的化学成分

| 钢的牌号  | 化 学 成 分/% |           |       |        |        |           |
|-------|-----------|-----------|-------|--------|--------|-----------|
|       | C         | Mn        | Si    | P      | S      | Al        |
| S10A  | 0.06~0.12 | 0.25~0.50 | ≤0.10 | ≤0.030 | ≤0.035 | 0.03~0.08 |
| S15A  | 0.12~0.18 | 0.25~0.50 | ≤0.10 | ≤0.030 | ≤0.035 | 0.03~0.08 |
| S15AQ | 0.13~0.19 | 0.35~0.65 | ≤0.10 | ≤0.030 | ≤0.035 | 0.03~0.08 |
| S20A  | 0.16~0.22 | 0.25~0.50 | ≤0.10 | ≤0.030 | ≤0.035 | 0.03~0.08 |

表 3-2 钢药筒用钢的机械性能

| 钢 号   | 检验方向 | $\sigma_b$ /MPa |         | $\delta_5$ /% |     | $a_k$ / (J/cm <sup>2</sup> ) |      |
|-------|------|-----------------|---------|---------------|-----|------------------------------|------|
|       |      | 经调质             | 经正火     | 经调质           | 经正火 | 经调质                          | 经正火  |
| S10A  | 纵    | ≥320            | 300~400 | ≥30           | ≥32 | —                            | —    |
|       | 横    | ≥300            | 300~400 | ≥28           | ≥28 | —                            | —    |
| S15A  | 纵    | ≥370            | 340~450 | ≥30           | ≥32 | ≥200                         | ≥120 |
|       | 横    | ≥370            | 340~450 | ≥27           | ≥30 | ≥60                          | ≥40  |
| S15AQ | 纵    | —               | 340~450 | —             | ≥32 | —                            | ≥12  |
| S20A  | 纵    | 380~500         | 380~480 | ≥28           | ≥32 | ≥200                         | ≥12  |
|       | 横    | 380~500         | —       | ≥26           | —   | ≥60                          | —    |

钢的各个化学元素对药筒的性能影响如下：

- （1）碳：碳钢的性能主要取决于含碳量，随着含碳量的增加，钢的强度指标升高，塑性指标下降。一般含碳量每增加 0.1%，强度约提高 90MPa。所以含碳量高的钢虽可增加药筒的强度，但塑性降低，冲压工艺性变差（废品率升高），工具磨损加快。所以药筒用钢的含碳量不能太高，大中口径药筒常用 S15A，大口径弹壳用 S20A。
- （2）锰：锰在钢中属有益元素，锰含量增加可以提高钢的强度而不明显地降低塑性。一般每增加 1% 锰，强度指标可以提高 100MPa。锰还可减弱 FeO 和 FeS 对钢的坏影响（热脆）。含锰量超过 0.45% 后钢对加工硬化敏感度增加。药筒钢的含锰量为 0.25~0.65%。
- （3）硅：硅在炼钢中是作为脱氧剂加入的，因为弹壳钢需用铝脱氧，以及硅能提高钢的强度而明显降低塑性，所以药筒钢中的硅含量很低，且规定为上限值≤0.10%。当硅以 SiO<sub>2</sub> 形式出现时会加速模具磨损，因为 SiO<sub>2</sub> 很硬。
- （4）铝：铝是作为脱氧剂加入的。铝在钢中呈固溶体、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 AlN 三种状态。由于 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 AlN 为难熔化合物，在凝固时作为晶核，可以使钢的晶粒细化。更主要的是 Al 与 N 的亲合力大，在钢中 Al 与 N 化合，消除了由于氮引起的时效作用。这就是药筒钢必须用铝脱氧的原因。铝在钢中的含量为 0.03~0.08%，此范围之外都会使晶粒度变大。
- （5）硫：硫是钢中的有害元素，因为它和铁形成的 FeS，熔点很低，且分布在晶界，热挤时形成热脆。
- （6）磷：磷也是钢的有害杂质。磷能使钢的强度升高，塑性降低，还能引起强烈的加工硬化和时效倾向，尤其是低温脆性的增加（冷脆）。药筒和枪弹都要经过低温（-50℃）射击

试验, 冷脆是不希望产生的。

### 三、低碳钢的时效

材料机械性能随时间而变化的现象称为时效。低碳钢时效后强度、硬度升高, 塑性降低。变得很脆, 无法进行冲压。更影响药筒的长期储存性能, 应设法消除。低碳钢时效分为淬火时效和应变时效两种。

#### 1. 淬火时效

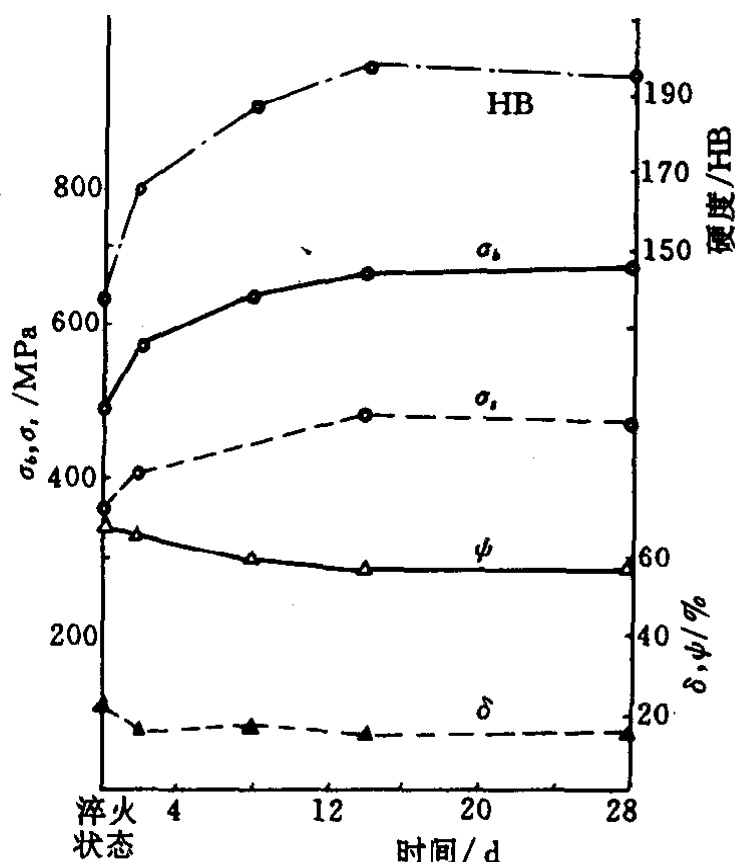


图 3-4 低碳钢的时效

低碳钢退火后冷却速度过快, 即可能产生时效, 这种时效称淬火时效。图 3-4 为低碳钢在 680℃ 淬火 (急冷) 后在室温存放时其力学性能随时间的变化。含碳量越低, 淬火时效对力学性能的影响越明显, 到含碳 0.3% 时这种影响已很不明显。

刚开始研制钢弹壳时由于钢的润滑、表面处理技术尚未很好掌握, 考虑到模具磨损, 采用含碳 0.11% 的低碳钢, 曾发生过时效现象。即突然有一批料无法冲压 (冲孟冲穿、冲裂), 后来降低退火后冷却速度, 这种现象即消失。

低碳钢淬火时效的主要原因是: 碳在  $\alpha$  铁中的过饱和固溶体脱溶所致。因为碳在  $\alpha$  铁中的溶解度在 723℃ 时为 0.02%, 而室温仅为 0.006%, 氮在  $\alpha$  铁中的溶解度在 590℃ 时为 0.115%, 而 100℃ 时仅为 0.001%, 氧

也相同。当退火后冷却速度过快时, 就以过饱和固溶体的形式保留下来。这种不稳定组织总要把过饱和的那一部分析出, 直到其室温时应有的溶解度为止。它们分别以  $\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_4\text{N}$  和  $\text{FeO}$  的形式成弥散状地析出在晶界周围。从而阻止了滑移, 因而强度高塑性降低, 钢变脆而难以冲压。

图 3-5 为含碳 0.06% 钢在 720℃ 淬火后的时效过程。从图中可以看出:

(1) 钢的硬度随时间而升高, 到达最大值后又逐渐下降。这是由于析出物的聚集和长大, 影响了钢的硬度。

(2) 温度升高, 时效时间缩短。利用这个特性可以把金属加热到一定的高温, 保持不长时间, 以此完成时效过程。这种方法称人工时效, 是消除淬火时效的一种方法。

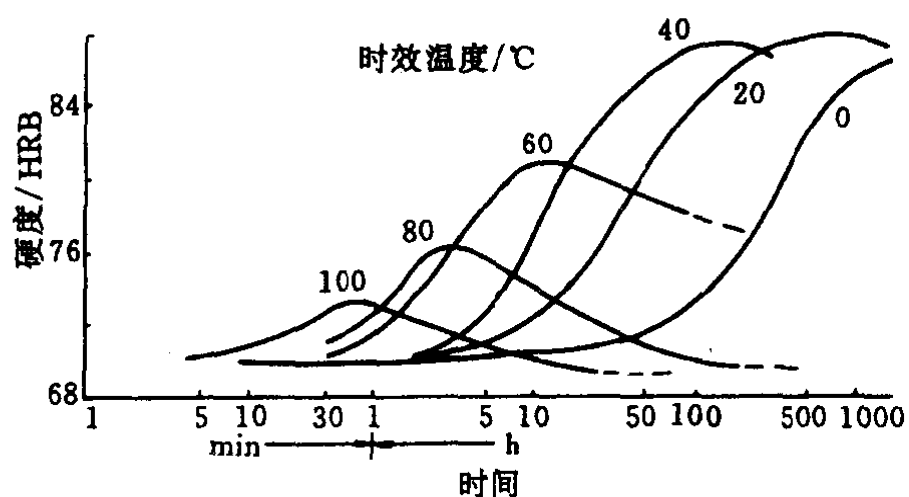


图 3-5 不同温度下的时效过程

(3) 时效温度高, 则最高硬度值降低, 但低于 50℃ 的时效, 其最高硬度值不受时效温度

影响。

## 2. 应变时效

溶解有碳、氮的低碳钢经冷塑性变形后，放置在室温或稍高的温度下，随着时间的转移，其机械性能将发生与淬火时效相似的变化。这种由于冷塑性变形引起的时效称为应变时效。应变时效有以下几个特征。

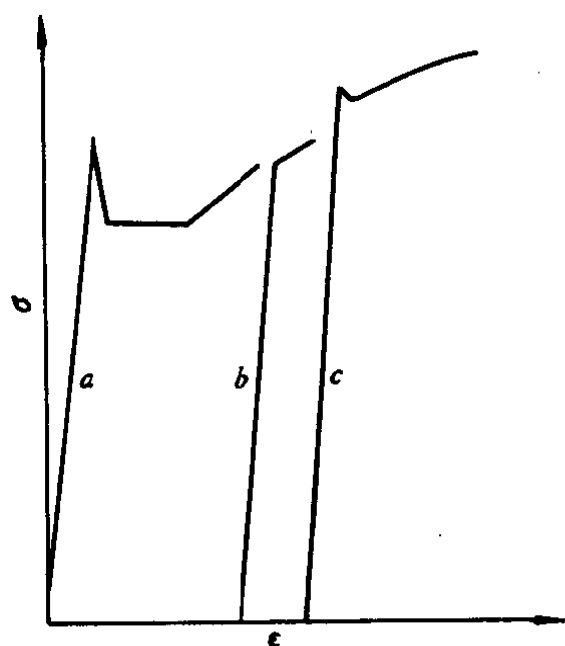


图 3-6 应变时效中的屈服现象

a. 第一次拉伸；b. 卸载后再拉伸；c. 应变时效后再拉伸

(1) 产生屈服现象：用退火状态的试片作拉伸试验，当到达上屈服限时试片上产生与拉伸方向成  $45\sim 60^\circ$  的条纹（滑移线），继续拉伸则条纹转向拉伸方向。超过屈服极限后条纹开始消失，而钢板表面变得粗糙，这种现象称为屈服现象。

(2) 变形后能重新出现屈服极限：低碳钢拉伸变形量超过屈服极限后卸载，然后立即加载，则再拉伸变形的应力与卸载时的应力是相等的，且第二次加载时不出现屈服平台（图 3-6a、b）。若卸载后停留较长时间再加载，又出现屈服平台，且屈服应力高于卸载应力（图 3-6c），这说明该金属产生了应变时效。

(3) 硬度只升高不下降：应变时效过程与淬火时效过程有不同之处，即前者在达到最高硬度值后硬度不下降。这是因为应变时效过程中没有析出碳化物和氮化物，当然没有其聚集和长大的过程。温度升高，时效时间缩短，但最高硬度值不随温度变化（图 3-7）。

控制时效的根本办法是控制氮和氧的有害影响，尤其是氮的影响。在钢中加入 Al、Ti、B 等元素可把氮固定。因为铝和氮的亲合力大于碳，因而生成 AlN，而无  $Fe_4N$  过饱和析出。所以药筒用钢中都用铝脱氧。

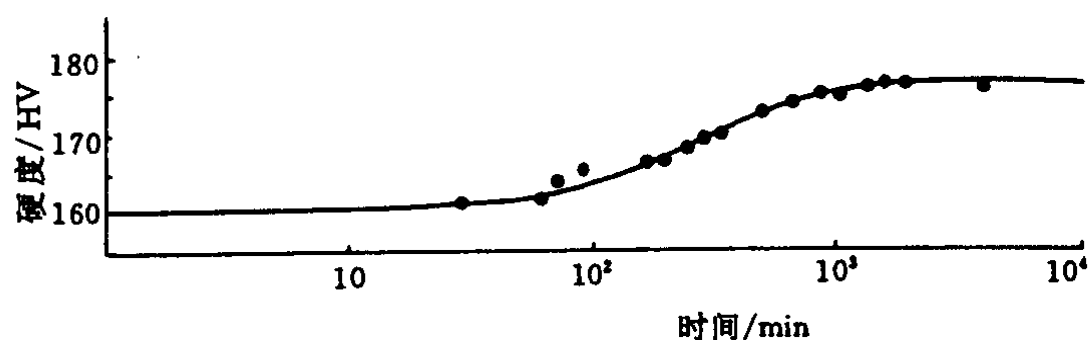


图 3-7 应变时效中的硬度变化

对于有时效倾向的钢，则可以降低冷却速度，缩短工序间存放时间，或在加工前对钢板进行  $0.8\sim 1.5\%$  的塑性变形（冷轧、校平）等。此外调质处理也是控制时效的有效方法。

## 四、钢的低温脆性

钢在较低温度下有冲击韧性显著下降的特性。弹药发射过程中药筒（弹壳）的受力属于冲击。为了适应高寒地区或高空作战，枪弹和药筒均有低温射击试验（一般为  $-50^\circ\text{C}$ ）。为此对药用钢有低温冲击强度要求。

在常温下钢的冲击韧性试验时断口属韧性破断，即在断口有明显的塑性变形和纤维结构。随着温度的下降，到一定低温时，冲击值突然下降，这时断口没有明显的塑性变形，而呈发亮的结晶状，这种破断称为脆性破断。

图 3-8 为典型的低碳钢冲击值随温度而变化的曲线图。可以看出，曲线分为三个部分。温度较高时，冲击值受温度的影响较小，试样属韧性断口，冲击值也较高。温度下降到一定值时冲击值突然下降，断口中部分为塑性断口，部分为脆性断口。过了这个温度范围  $L$ ，冲击值随温度下降而缓慢下降。

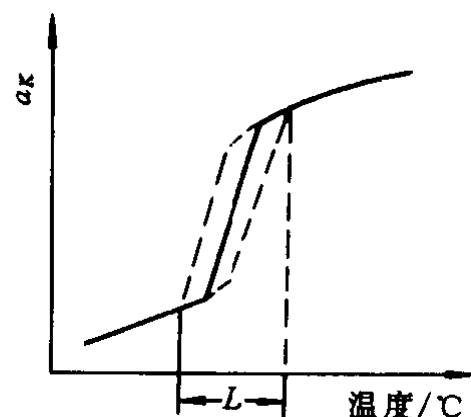


图 3-8 低碳钢的冲击值随温度的变化

冲击值突然下降的温度称为脆性转变温度。脆性转变温度是在一定的温度范围内（ $L$  区间），随钢种、试验条件、金相组织等因素而变。确定脆性转变温度的方法有两种，即出现 50% 脆性断口的温度为脆性转变温度和低温冲击值降低为常温冲击值的 0.4 倍时所对应的温度。

影响冲击值和脆性转变温度的因素很多，仅就已有的资料归纳如下：

(1) 变形速度：变形速度增加则脆性转变温度升高。例如 0.2% C 的碳钢经 1000℃ 退火后作缺口试样动力拉伸试验（试样尺寸为  $11 \times 9 \times 70\text{mm}$ ，缺口深 2mm）。结果是：变形速度  $V = 62 \times 10^{-4}\text{m/s}$  时脆性转变温度范围  $L = -110 \sim -75^\circ\text{C}$ ； $V = 4.2 \times 10^{-3}\text{m/s}$  时  $L = -105 \sim -70^\circ\text{C}$ ； $V = 8.3\text{m/s}$  时  $L = -20 \sim 15^\circ\text{C}$ ； $V = 83.3\text{m/s}$  时  $L = 10 \sim 30^\circ\text{C}$ 。

(2) 冷变形程度：一般地说，随着冷变形程度的增加，冲击韧性降低，脆性转变温度升高。图 3-9 为 0.2% C 的低碳钢，经 1200℃ 退火，试件尺寸为  $\phi 8 \times 70\text{mm}$ 。这个性质对钢药筒是相当不利的。因为药筒的体部有很高的塑性变形量。

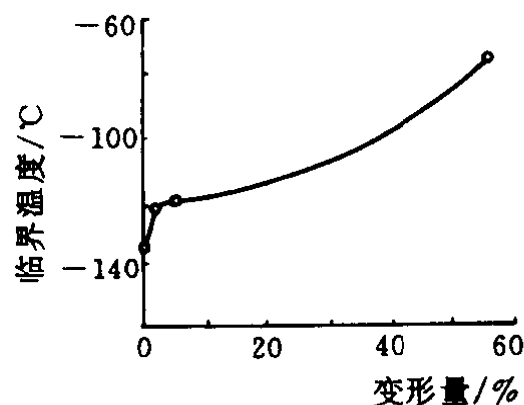


图 3-9 塑性变形量对脆性转化温度的影响

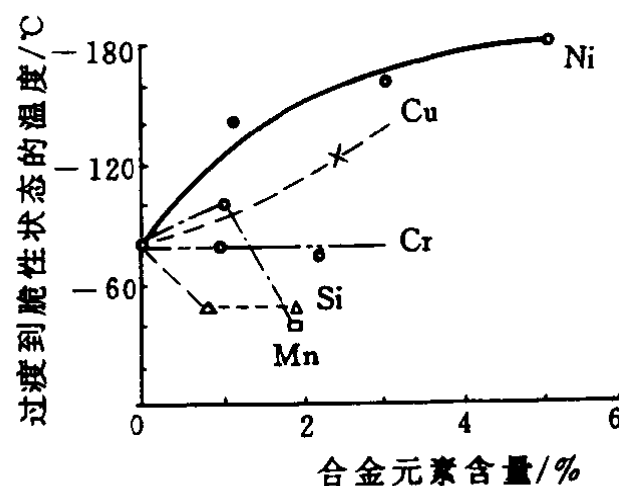


图 3-10 合金元素对脆性转变温度的影响

(3) 化学成分：根据试验，Ni、Cu 能显著降低脆性转变温度（图 3-10），尤其是 Ni，当含镍量高到一定值时甚至可以使脆性转变温度消失，即使在  $-200^\circ\text{C}$  时也不出现脆性断口。锰能提高冲击值。镍含量较低时能提高韧性断裂的冲击值，但含量升高则反而降低冲击值。碳、氮、氧含量增高时，脆性转变温度的上限升高而下限不变。磷含量增加则脆性转变温度提高，温度范围扩大。

(4) 金相组织：细晶粒钢可以降低脆性转化温度，如某锅炉钢晶粒平均尺寸为  $0.089\text{mm}$  时脆性转变温度为  $-90^\circ\text{C}$ ，晶粒平均尺寸为  $0.041\text{mm}$  时为  $-160^\circ\text{C}$ 。调质处理的钢冲击韧性大，如含碳 0.31% 钢在  $850^\circ\text{C}$  淬火后  $650^\circ\text{C}$  回火，其冲击值为  $190\text{J/cm}^2$ ，而  $850^\circ\text{C}$  退火处理的

冲击值为 110J/cm<sup>2</sup>。应变时效将提高脆性转变温度，并降低冲击值。

应该指出，目前对钢的低温脆性研究尚不多，而且影响因素多而复杂，在实际工作中还应多通过试验确定。

§ 3.4 毛坯尺寸确定

制造药筒和弹壳的毛坯为两种形式，即板料（冲孟）和棒料（挤孟）。冲孟毛坯尺寸确定就是要确定板料厚度、下料圆直径及板料的宽度；挤孟毛坯确定就是确定挤孟前毛坯的直径和高度及棒料落料的直径和高度。毛坯尺寸选择得正确与否对于原材料的消耗、产品机械性能及工艺的繁简等有很大影响。

一、毛坯质量的确定

毛坯质量等于药筒（弹壳）成品质量加上工艺过程中的损耗。而成品质量在产品图中有给定范围，计算时取其平均值。如产品图中未给出质量要求，则可将产品划分成许多简单的几何形状，以其平均公差来计算出其体积，然后再换算成成品的质量。

加工过程中金属的损耗有引伸后的切口、热处理和表面处理中的氧化和酸蚀、车底齐口和车底缘及车外圆的切屑量、冲孔和钻孔切屑等。要准确计算它们是较困难的，可参考当前工厂实用的金属损失率（表 3—3）。已知工艺中的损耗率，即可用下式确定毛坯质量。

$$G_o = \frac{G_k}{1 - \eta_o} \tag{3-1}$$

式中  $G_o$ ——毛坯质量；  
 $G_k$ ——成品质量；  
 $\eta_o$ ——材料损耗率（表 3—3）。

表 3—3 弹壳加工中各种金属损耗率 %

| 损 耗 项 目 | 损 耗 率 / % |           |         |
|---------|-----------|-----------|---------|
|         | 7.62 手枪弹壳 | 7.62 步枪弹壳 | 大口径机枪弹壳 |
| 切 口     | 5~6       | 10~13     | 12~15   |
| 车底、齐口   | 8~10      | 3~5       | 5~7     |
| 热处理     | 0.6       | 0.3~0.5   | 0.3~0.5 |
| 冲传火孔    | 0.5       | 0.5       | 0.5     |
| 总 计     | 14~17     | 14~19     | 18~23   |

药筒生产过程中各种损耗占药筒质量的百分比（ $\omega_o$ ）为：

|             |        |
|-------------|--------|
| 各道切口工序料圈损耗  | 9~18%  |
| 车外圆工序的切削损耗  | 10~13% |
| 热处理及酸洗工序损耗  | 1~3%   |
| 底部切削加工的切削损耗 | 8~12%  |
| 总 计         | 28~46% |

计算药筒毛坯质量时可用下式：

$$G_o = (1 + \omega_o) G_k \quad (3-2)$$

式中  $\omega_o$ ——药筒加工时材料损耗系数，无车外圆工序时取 0.15~0.3，有车外圆工序时取 0.3~0.5。

## 二、冲（挤）孟毛坯（料饼）尺寸的确定

### 1. 弹壳冲孟毛坯尺寸的确定

枪弹弹壳底部成形后没有机械加工工序，因此弹壳底部虽有硬度要求，但其硬度是由体积成型时的塑性流动所形成的加工硬化所确定的，工艺设计人员能改变其硬度的范围是有限的。因此毛坯厚度可以根据孟子底部体积等于弹壳底部体积的原则确定，其间还应考虑引伸过程中底厚和底部形状的改变。

以带凸缘的弹壳为例（图 3-11），底部可分成四部分，即传火孔隔板、底火室壁、底火台和凸缘。将它们的体积分别折合成末引孟子外径  $D$  所构成的圆片厚度，于是有：

$$t_o = \alpha \left[ t_g + \frac{h_s (D^2 - d_s^2)}{D^2} + \frac{d_t^2 (h_s - h_t)}{D^2} + \frac{t_g (D_y^2 - D^2)}{D^2} \right] \quad (3-3)$$

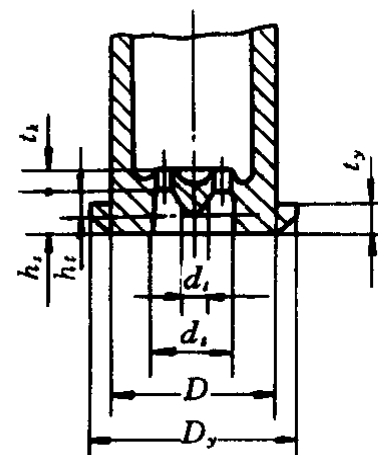


图 3-11 带凸缘的弹壳

式中  $t_g$ ——传火孔隔板厚；

$h_s$ ——底火室深度；

$D$ ——弹壳成品底部外径（近似等于末引孟子外径）；

$d_s$ ——底火室直径；

$d_t$ ——火台直径；

$h_t$ ——火台深度；

$t_y$ ——凸缘厚度；

$D_y$ ——凸缘直径；

$\alpha$ ——考虑冲压加工中影响底厚的系数，取 0.85~0.92。

系数  $\alpha$  考虑到的因素有引伸后底部变为球形，由于引伸模的锥角使孟子底厚变化及压底时大冲与末引冲的配合等。

对无凸缘弹壳

$$t_g = \alpha \left[ t_g + \frac{h_s (D^2 - d_s^2)}{D^2} + \frac{d_t^2 (h_s - h_t)}{D^2} \right] \quad (3-4)$$

下料圆直径

$$D_o = \sqrt{\frac{4G_o}{\pi t_o \gamma}} \quad (3-5)$$

式中  $\gamma$ ——钢板比重，对覆铜钢取 7.93g/cm<sup>3</sup>。

### 2. 药筒冲孟毛坯尺寸确定

药筒底部强度有严格的要求，且底部成形后有车底缘工序，因此冲孟毛坯厚度可以同冷挤孟孟子底厚确定的方法一样地确定，即

$$t_o = \frac{t_{dy}}{1 - k_d}$$

式中  $t_{dy}$ ——底部厚度；

$K_d$ ——底部强度要求的压底加工率，查图 1-27。

冲孟圆片直径 
$$D_o = \sqrt{\frac{4G_o}{\pi t_o \gamma}}$$

### 3. 挤孟毛坯（料饼）尺寸确定

挤孟毛坯尺寸可根据孟子尺寸确定。因为挤孟是在封闭的凹模内进行的，所以挤孟凹模和挤孟毛坯的径向有以下关系：

$$D_o = D_u - \Delta$$

式中  $D_u$ ——反挤孟子外径（凹模工作直径）；

$\Delta$ ——毛坯与凹模的间隙，弹壳取 0.1~0.3mm，中、小口径药筒取 0.3~1mm，大口径药筒取 1~2mm。

$\Delta$  值取小时，毛坯与反挤凹模的同轴度好，挤出的孟子壁厚差小，但料饼进凹模困难。如  $\Delta$  取大，则反之。

对于热挤孟则还应考虑到毛坯加热时的热膨胀，因此有

$$D_o = D_u - \Delta - C \quad (3-6)$$

式中  $C$ ——毛坯加热后的膨胀量；

$$C = \alpha t D_o$$

式中  $\alpha$ ——线膨胀系数，1/°C，钢为  $(14 \sim 15) \cdot 10^{-6}$ ；

$t$ ——加热温度，°C。

毛坯高度 
$$t_o = \frac{4G_o}{\pi \gamma D_o^2} \quad (3-7)$$

由于镦粗后毛坯呈鼓形，而上式是按圆柱体体积计算而得的，所以实际高度要比计算的略高，具体尺寸由试验确定。

## 三、棒料和板料尺寸的确定

### 1. 段料尺寸确定

由棒料上切下的料块称为段料，由于需经镦粗后才能成为挤孟毛坯，因此，段料比挤压毛坯（又称饼料）细而高，只要确定镦粗压缩率，即可算出段料尺寸为：

段料高度 
$$h_d = \frac{t_o}{1 - K_h}$$

棒料直径 
$$D_d = \sqrt{\frac{4G_o}{\pi \gamma h_d}}$$

式中  $K_h$ ——镦粗压缩率，小口径弹壳 0.12~0.2，大口径弹壳 0.3~0.4，药筒为 0.45~0.50。

镦粗压缩率取决于以下一些因素：

(1) 材料允许的压缩率，低碳钢允许的  $K_h$  较大，15 号钢为 0.70。

(2) 棒料剪切时切面的畸变程度。畸变严重，则为使饼料规整，压缩率应取大。小口径枪弹弹壳的棒料系冷拔料，且在硬化状态下剪切，故切面质量远比热轧圆钢好，故压缩率可取小些。

(3) 为了减小棒料直径，以便于用剪切下料，则可取较大的压缩率。

(4) 镦粗的压缩率影响镦粗后料饼的金属流线形状，而料饼的流线形状直接影响压底后药筒内底转角处金属流线的形状。射击时药筒内底转角处（体部与底部交接处）受到剪切应力，希望该处金属流线与受力方向垂直，否则射击时该处易破裂。实践表明，用镦粗压缩率大的料饼可以形成药筒内底转角处合理的金属流线。

枪弹药筒用的圆钢直径列于表 3—4，可供参考。

表 3—4 枪弹、药筒用圆钢直径 (mm)

|      |      |      |      |    |    |    |        |     |
|------|------|------|------|----|----|----|--------|-----|
| 产品口径 | 7.62 | 12.7 | 14.5 | 25 | 30 | 37 | 57     |     |
| 圆钢直径 | 13   | 23   | 26   | 35 | 40 | 45 | 75     | 100 |
| 镦粗情况 | 冷镦   | 冷镦   | 冷镦   | 冷镦 | 冷镦 | 冷镦 | 热镦后冲孟用 | 热镦  |

|      |    |     |     |     |     |
|------|----|-----|-----|-----|-----|
| 产品口径 | 85 | 100 | 122 |     | 130 |
| 圆钢直径 | 90 | 100 | 100 | 130 | 130 |
| 镦粗情况 | 热镦 | 热镦  | 热镦  | 热镦  | 热镦  |

2. 冲孟板料尺寸确定

冲孟用的下料圆片直径确定后，根据排样即可确定板料宽度。

由于枪弹是大量生产的，而板料占弹壳成本的 80% 左右，因此提高材料利用率是一个重要问题。对于圆件来说最经济的排样方式是长料的多行交错排样。行数越多，则材料利用率越高，但行数过多会使模具结构复杂化。在枪弹生产中普遍采用七行交错排样。

根据计算，多行交错排样的板料宽度按下式计算：

$$B = (D_0 + 2a) + (n - 1)(D_0 + a_1) \cos 30^\circ \tag{3-8}$$

- 式中  $B$ ——板料宽度；  
 $D_0$ ——下料圆片直径；  
 $n$ ——排样行数；  
 $a_1$ ——工件间搭边（表 3—5）；  
 $a$ ——工件与板料侧边的搭边（表 3—5）。

表 3—5 搭边  $a_1$  和  $a$  (mm)

| 板料厚度    | $a_1$ | $a$ |
|---------|-------|-----|
| 0.8~1.2 | 0.8   | 1.0 |
| 1.2~1.6 | 1.0   | 1.2 |
| 1.6~2.0 | 1.2   | 1.5 |
| 2.0~2.5 | 1.5   | 1.8 |
| 2.5~3.0 | 1.8   | 2.2 |
| 3.0~3.5 | 2.2   | 2.5 |
| 3.5~4.0 | 2.5   | 2.8 |

材料利用率为

$$\eta = \frac{n \cdot 0.785 D_0^2}{(D_0 + a_1) [(D_0 + 2a) + (n - 1)(D_0 + a_1) \cos 30^\circ]} \tag{3-9}$$

确定料饼和冲孟圆片厚度除了考虑底部强度外，还应考虑到底部的金属体积，即经过压底后弹壳底部能充满。金属体积不足时不能形成弹壳底缘或药筒底部切削余量不足。在加工过程中影响底部金属体积的因素较多，当生产中发现厚度不合适时可在其它冲压工序中调整，详见 § 3.11（压底）。

### § 3.5 末次引伸模具设计

药筒末次引伸后确定了药筒的外径、各部位的壁厚及壁厚的位置（高度）。底部经压底和适量机加达到最后尺寸，体部经收口后达到最后的外形。

模具设计时一般都把工件尺寸做为模具尺寸，但在决定产品最后尺寸的模具设计时必须对产品尺寸进行某些修正。具体地说引伸工件外径应按最小（或较小）尺寸设计，这是由于制造模具时直径因制造公差而扩大，使用时因磨损而扩大。工件内径（冲子）应取最大（或较大）的尺寸，理由同上。而工件壁厚应取最小（或较小）尺寸，因为冲子和凹模在制造和使用过程中都会使壁厚增大。末引模具的具体设计方法如下：

1. 末引凹模工作直径  $D_n$

这里指的是末引最下面一个凹模（如果是多模引伸的话）。确定该尺寸时不仅要考虑到凹模的制造公差，磨损量，还要考虑到工件出模后的回弹、打凹、压底时底部的径向扩大，防腐处理时（如电镀、涂漆）直径的增大。这些是无法计算的，只能参考现有情况选取。通常有

$$D_n = \eta D_j \tag{3-10}$$

式中  $\eta$ ——考虑引伸后制品直径扩大的系数（表 3-6）；

$D_j$ ——药筒（弹壳）底部外径。对带底缘的药筒是指底缘与体部交按处的直径（称接实际部）。

表 3-6 现用的  $\eta$  值

| 口径     | 7.62 手枪弹壳   | 7.62 弹壳     | 12.7、14.5 弹壳 | 37 药筒       | 85 药筒 | 152 药筒 |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------|--------|
| $\eta$ | 0.983~0.987 | 0.977~0.980 | 0.975~0.978  | 0.985~0.987 | 0.990 | 0.9985 |

$\eta$  取小，则引伸后工件直径偏小； $\eta$  取大，虽然收口时可以缩小，但因底部壁太厚，收口力过大，甚至引起模子破裂，故收口模设计时是该处不缩径的，是由引伸模直径确定的。

2. 壁厚计算

(1) 最小壁厚计算：从模具设计角度考虑，可以按最小壁厚设计模具，即

$$t_{\min} = t - \Delta t + \frac{1}{2} \rho \tag{3-11}$$

式中  $t_{\min}$ ——最小壁厚；

$t$ ——名义壁厚（最大壁厚）；

$\Delta t$ ——壁厚公差（产品图给定）；

$\rho$ ——壁厚差。

引伸后工件不可避免地会产生壁厚差。壁厚差是个双向的概念，反映到壁厚上应除二，例如一边增大 0.02mm，一边减小 0.02mm，则壁厚差为 0.04mm。制式枪弹弹壳的允许壁厚差

列于表 3-7。

表 3-7 各种弹壳允许的壁厚差

| 口径 | 51 式 7.62 | 56 式 7.62 | 53 式 7.62 | 12.7 | 14.5 |
|----|-----------|-----------|-----------|------|------|
| 口部 | —         | 0.07      | 0.05      | 0.10 | 0.12 |
| 根部 | 0.12      | 0.14      | 0.12      | 0.20 | 0.20 |

(2) 平均壁厚计算：有时可按中公差（平均壁厚）设计。

$$t_{pj} = t - \frac{1}{2} \Delta t - \frac{1}{2} \delta_m - \frac{1}{2} \Delta_m \quad (3-12)$$

式中  $\delta_m$ ——冲子和凹模制造公差总和；

$\Delta_m$ ——凹模在引伸时的弹性变形量，对硬质合金模  $\Delta_m = 0$ ，对碳钢模  $\Delta_m = (0.0005 \sim 0.001) D_n$ 。

(3) 口部壁厚：由于口部收口后壁厚增加，因此确定引伸件口部壁厚时应考虑此因素。无斜肩的（分装式）药筒可不考虑收口影响。对药筒由于有搪口工序（为使口部圆整而设的车削工序），应增加搪口量。

$$t_{kn} = (\bar{t}_k + z) \sqrt{\frac{D_k}{D_n}} \quad (3-13)$$

式中  $t_{kn}$ ——引伸件口部壁厚；

$\bar{t}_k$ ——口部平均壁厚；

$z$ ——搪口量，取 0.3~0.5；

$D_k$ ——产品图口部直径。

### 3. 冲子各部位直径

药筒各部位壁厚是不同的，一个药筒至少有三处不同的壁厚（图 3-12），即大圆弧的上切点处  $q$  点（又称根部），体上部  $x$  点处（又称下斜肩）、口部  $k$  点处（又称上斜肩），有的在体部还有几处不同的壁厚，冲子在相应高度应设计成不同直径，该直径计算方法如下：

$$\left. \begin{aligned} d_{kn} &= D_n - 2t_{kn} \\ d_{xn} &= D_n - 2t_{xn} \\ d_{qn} &= D_n - 2t_{qn} \end{aligned} \right\} \quad (3-14)$$

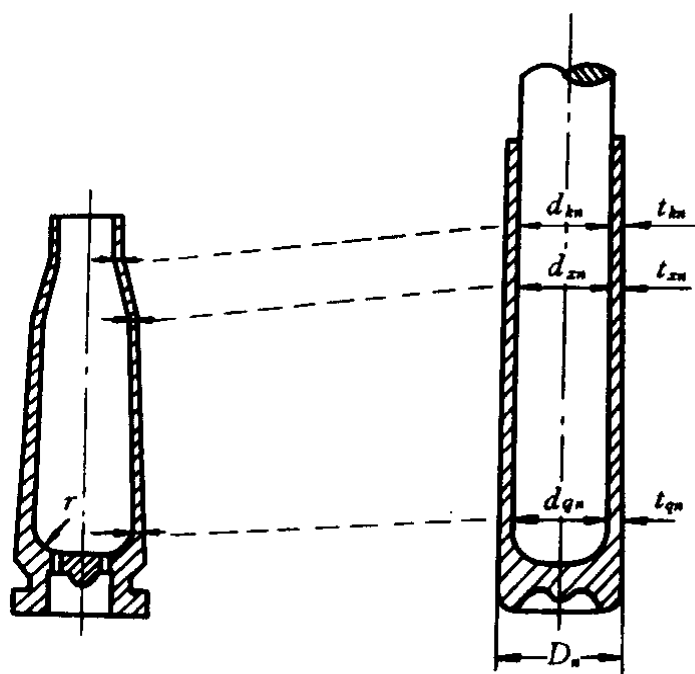


图 3-12 药筒各部位壁厚

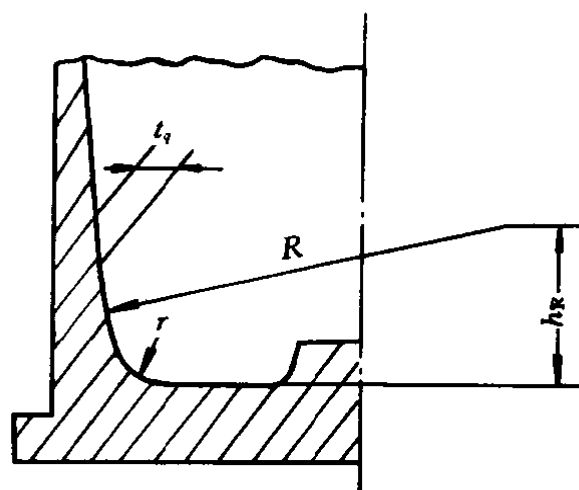


图 3-13 药筒内底形状

式中  $t_{kn}$ ——末引制品口部壁厚（用式 3-13 计算）；

$t_{xn}$ ——下斜肩处壁厚的计算值（用式 3-11 或 3-12 计算）；

$t_{qn}$ ——根部壁厚计算值。

#### 4. 冲子头部形状、尺寸

枪弹弹壳内体下部是以一个圆弧  $r$  与底面过渡的（图 3-12），因此冲子头部  $q$  点处用  $r$  与底面相切即可。而药筒内底部是以大小圆弧  $R$  和  $r$  与底面相接（图 3-13），因此有些尺寸需经几何换算。主要是计算大小圆弧相切点  $p$  处的直径和高度，因产品图不标注该尺寸。

由图 3-14 可知：

$$h_{Rn} = h_{qn} + R_n \sin \gamma \quad (3-15)$$

式中  $h_{Rn}$ ——末引冲子  $R$  的圆心距底面高度；

$\gamma$ ——末引冲子在  $R_n$  上切点  $q$  处的斜度；

$R_n$ ——末引冲子大圆弧半径；

$h_{qn}$ ——末引冲子在  $q$  点的高度。

$$h_{pn} = \gamma_n (1 - \sin \gamma') \quad (3-16)$$

式中  $\gamma'$ ——大小弧圆心连线与水平线的夹角，

$$\sin \gamma' = \frac{h_{Rn} - \gamma_n}{R_n - \gamma_n}$$

$$d_{pn} = d_{qn} - 2R_n (\cos \gamma - \cos \gamma') \quad (3-17)$$

药筒内底部形状最终是由压底工序确定的，但压底一般只能改变  $r_n$  的尺寸。因此末引冲子头部尺寸除  $r_n$  有时可以略大于产品图  $r$  外，其余尺寸均取与产品图相同的数值。因此末引冲子形状和尺寸如图 3-14 所示。

#### 5. 冲子各直径的高度

冲子上各直径的高度是以冲子底平面为基准的，但药筒冲压产品图（图 3-15）上的标注与冲子不同，因此要进行一些尺寸换算。

(1) 下斜肩  $t_x$  处的直径高度  $h_{xn}$

$$h_{xn} = \frac{L_{yx} + t_y - t_d}{\cos (\varphi_j / 2)} \quad (3-18)$$

式中  $L_{yx}$ ——产品图下斜肩至底缘的长度；

$t_y$ ——产品图底缘厚度；

$t_d$ ——产品图底部厚度；

$\varphi_j$ ——产品图斜肩全锥角。

(2) 口部壁厚  $t_k$  处的直径高度  $h_{kn}$

$$h_{kn} = h_{xn} + \frac{L_k}{\cos (\varphi_j / 2)} \quad (3-19)$$

式中  $L_k$ ——产品图斜肩部高度；

$h_{kn}$  以上部分全为圆柱形。

在打凹、压底大冲设计时，有时设计成冲子端面不与工件内底接触。这样，压底后各壁

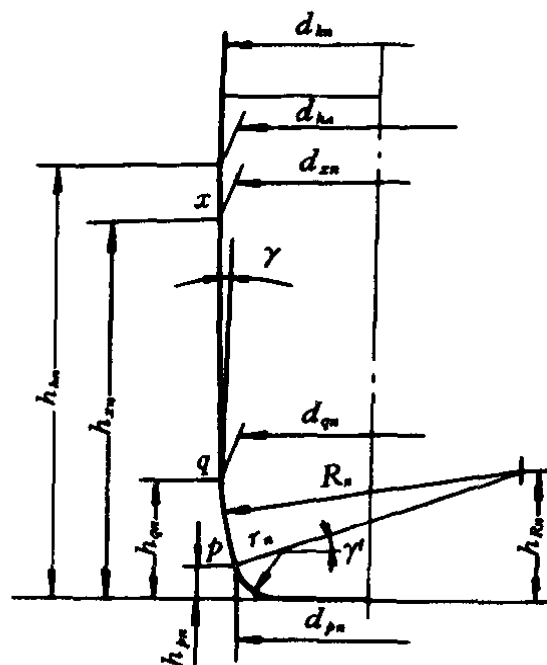


图 3-14 药筒冲子形状及尺寸

厚的高度均有所降低。这时各个高度均应予以适当修正。

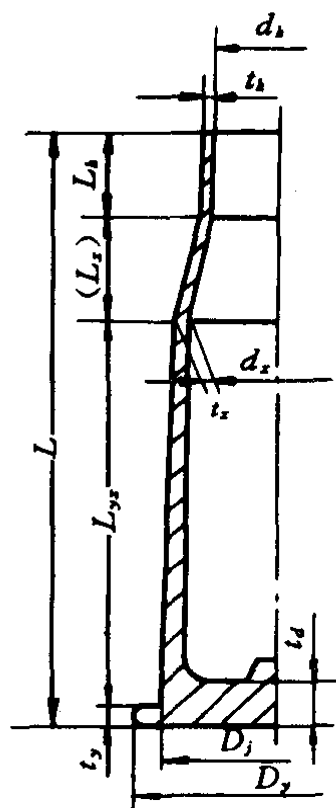


图 3-15 药筒产品图

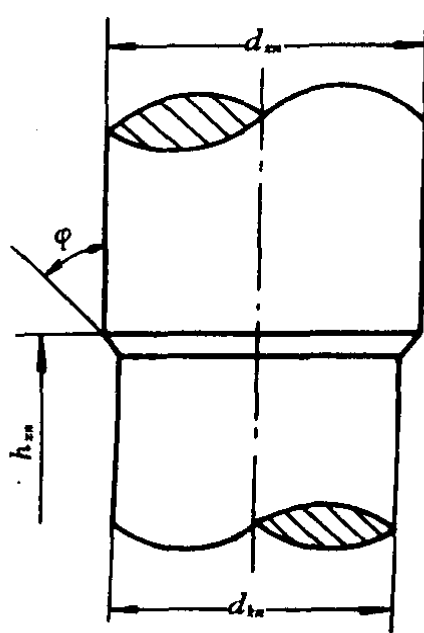


图 3-16 轧口冲形状和尺寸

## 6. 轧口部分设计

引伸后工件口部端面不齐，影响退料（工件从冲子内退出）和后续工序进行，必须将口部切齐，一般是用专门的切口工序。但在 12.7mm 以上口径的弹壳和药筒可以用轧口将口部多余的金属切去。轧口是在末引冲子的相应高度上直径陡然增大（图 3-16），使壁部因加工率过大而拉（或挤）断，这相当于末引和切口两工序合并。当然，轧口后口部端面含有毛刺。另外，轧断后的料圈和工件应能很好地分开。

### (1) 轧口刃直径 $d_{zn}$

$$d_{zn} = \sqrt{D_n^2 - (1 - k_z) (D_{n-1}^2 - d_{kn-1}^2)} \quad (3-20)$$

式中  $k_n$ ——轧口部位加工率，取  $K_2 = 0.70 \sim 0.75$ ；

$D_{n-1}$ ——末前引凹模工作直径；

$d_{kn-1}$ ——末前引冲子口部直径。

$k_z$  太小则不易轧断， $k_z$  太大则轧口刃直径  $d_{zn}$  与末引凹模直径  $D_n$  的间隙很小，轧口刃很易与凹模啃切，而且因为  $D_n - d_{zn}$  太小，刮料器很难将工件从冲子上卸下。轧口刃直径也可以用下式确定：

$$d_{zn} = d_{kn} + (1.4 \sim 1.6) t_{kn} \quad (3-21)$$

式中  $d_{zn}$ ——末引冲口部直径；

$t_{kn}$ ——末引工件口部壁厚。

还应注意， $d_{zn}$  要小于末前引工件口部内径（对药筒为 0.2~0.5mm），以便切下的料圈能顺利地从轧口刃直径上刮下。

(2) 轧断角  $\varphi$ ：轧断角过小则不易挤断，过大则口部易出现毛刺。一般取  $\varphi = 30 \sim 60^\circ$ 。

(3) 轧口刃直径的高度  $h_{zn}$

$$h_{zn} = h_{kn} + L_k + l_1 \quad (3-22)$$

式中  $h_{kn}$ ——口部壁厚  $t_k$  到药筒内底面距离；  
 $L_k$ ——药筒口部高度（见图 3-15）；  
 $l_1$ ——切口时的切口量， $l_1=15\sim30\text{mm}$ 。

§ 3.6 末前次引伸模具设计

末前引的任务是设计一个比末引工件短而壁厚的筒形制品，使它在经过末引后各部位（各高度位置上）的机械性能（抗拉强度和延伸率）都符合产品图要求。

药筒成品的各个高度部位（称各区）上都有强度和延伸率要求。例如某钢药筒全长 695mm，其各区的机械性能如下：

| 区 号 | 药筒口端面至试圈中心距离/mm | 抗拉强度 /MPa | 延伸率 /% | 试片厚 /mm |
|-----|-----------------|-----------|--------|---------|
| 1   | 19              | 400~550   | ≥6     | 1±0.1   |
| 2   | 240             | ≥500      | ≥3     | 2±0.1   |
| 3   | 615             | ≥700      | ≥2     | 2±0.1   |
| 4   | 660             | ≥750      | ≥2     | 2±0.1   |
| 底部  |                 | ≥480      | ≥4     |         |

因此准确的确定各区（取样中心点）的加工率（主要是末区加工率）是极为重要的。由于末区的试圈中心是在大圆弧位置，使计算工作增加了不少麻烦。

枪弹弹壳尺寸较小，弹壳各部位强度是用 HV<sub>5</sub> 来检验的，随着武器性能不同及弹壳材料不同，硬度曲线也不同（图 3-17）。但弹壳的内底形状很简单，是以一个极小的圆弧把内壁和底部连接。因此末前引模具设计较简单。本书主要介绍药筒的末前引模具设计。

一、末前引冲子头部形状的确定

末前引模具设计的难点是根部（即末区位置）的模具尺寸确定，因为该处的机械性能完全由模具设计确定，而口部和上部体的机械性能还可由引伸后的烤口（口部退火）工序来调节。

末前引模具设计的依据是末引模具尺寸和产品图各区机械性能。

1. 根据产品图要求的根部机械强度确定末引所需加工率

这实质上是根据材料的真实应力曲线（加工硬化曲线）确定真实应变量的问题。目前有幂强化公式和实验曲线两种方法。

（1）幂强化公式为

$$\sigma = A\epsilon^n$$

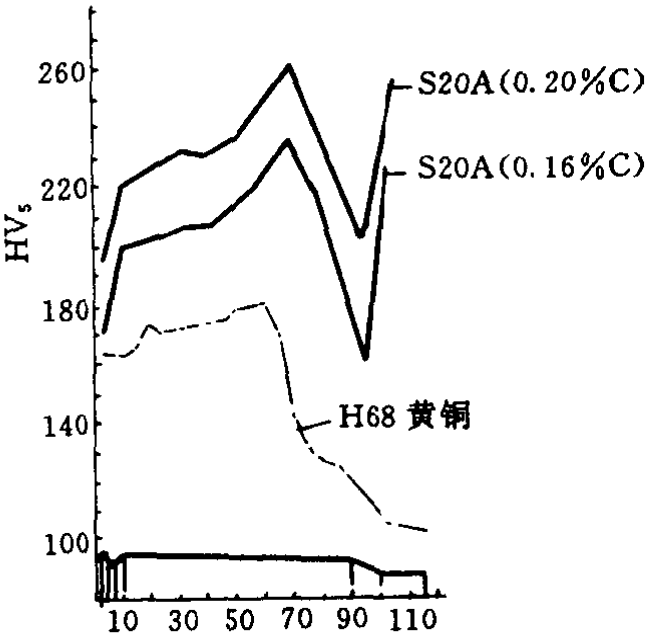


图 3-17 不同材料的弹壳硬度曲线

各种材料的  $A$ 、 $n$  值见表 1—4。式中的  $\sigma$  值为塑性变形时的真实应力，可以理解为屈服极限，但产品图要求的是抗拉强度。由于末引后的材料已具有很大的加工硬化，这时的  $\sigma_s$  和  $\sigma_b$  相当接近，因此可以把真实应力看为材料的强度极限，而不致引起大的误差。

实际测试表明，幂强化公式计算出的材料强度比实测的低很多，即用同一个  $\epsilon$  值冲压（引伸）出来的工件，实测得  $\sigma_b$  值大于幂强化公式的计算值，其原因是引伸过程中凹模锥角对变形金属产生两次剪切变形，这个剪切产生的变形量没有在公式的  $\epsilon$  中考虑进去。

根据功平衡法中剪切功可以推得引伸模半锥角与引伸应力的关系为

$$\sigma_a=0.0087\alpha\sigma_s, \tag{2-26}$$

为了使计算更符合实际，用幂强化计算  $\sigma$  时应考虑  $\sigma_a$ 。

(2) 试验曲线：图 3-18 为用引伸制品实测的加工率  $K$  与抗拉强度关系的试验曲线，材料为 S15A，是用变薄引伸法实现不同加工率的。引伸后切成试圈，做成试片拉伸，即拉伸方向与材料延伸方向垂直。这与药筒机械性能测定方法完全一致。

表 3—8 S15A 钢加工率与  $\sigma_b$ 、 $HV_5$  的关系

| 序 号 | 加工率/% | $\sigma_b$ /MPa | $HV_5$ |
|-----|-------|-----------------|--------|
| 1   | 20    | 500             | 150    |
| 2   | 30    | 550             | 166    |
| 3   | 40    | 600             | 175    |
| 4   | 50    | 660             | 188    |
| 5   | 60    | 720             | 200    |
| 6   | 70    | 770             | 207    |
| 7   | 80    | 810             | 217    |
| 8   | 90    | 850             | 227    |

表 3—8 为 S15A 钢的加工率与  $\sigma_b$ 、 $HV_5$  的关系。材料含碳 0.15%， $\sigma_b=400\text{MPa}$ 。用 5mm 钢板轧成一定加工率后做成试片，其拉伸方向与材料延伸方向一致。与图 3-18 相比，数据明显偏低，进一步说明了引伸模角对引伸件机械性能的影响。

图 3-19 和 3—20 分别为三七黄铜和四六黄铜的加工率与机械性能的关系曲线。

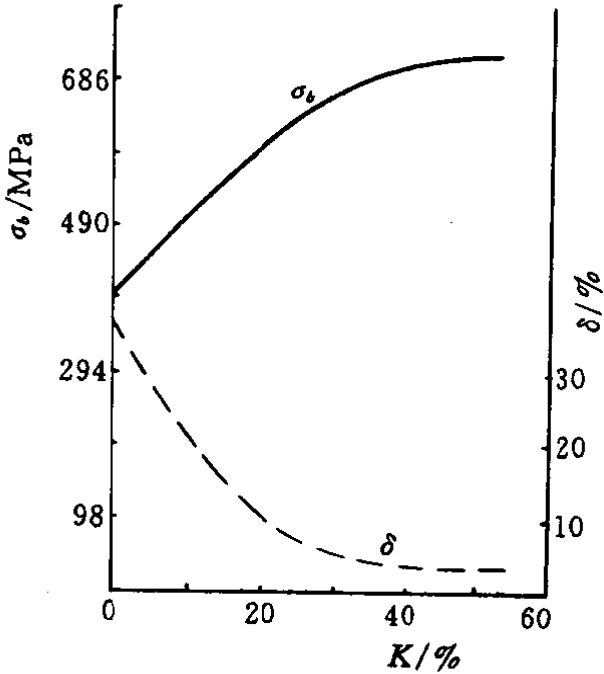


图 3-18 S—15A 钢引伸加工率与机械性能曲线

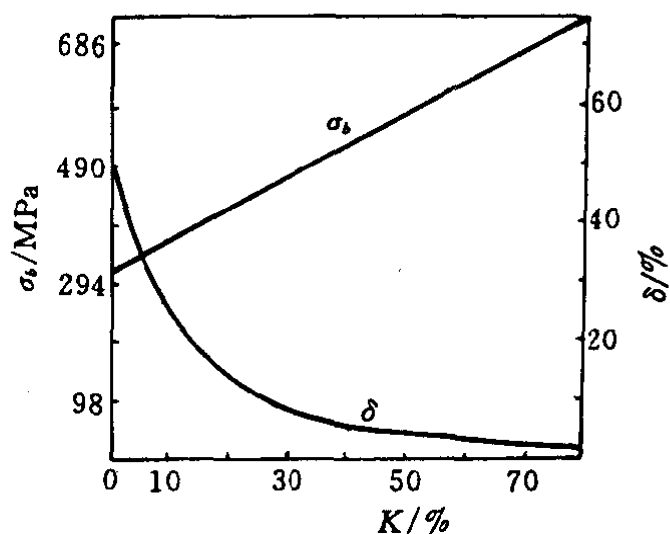


图 3-19 三七黄铜加工率—机械性能曲线

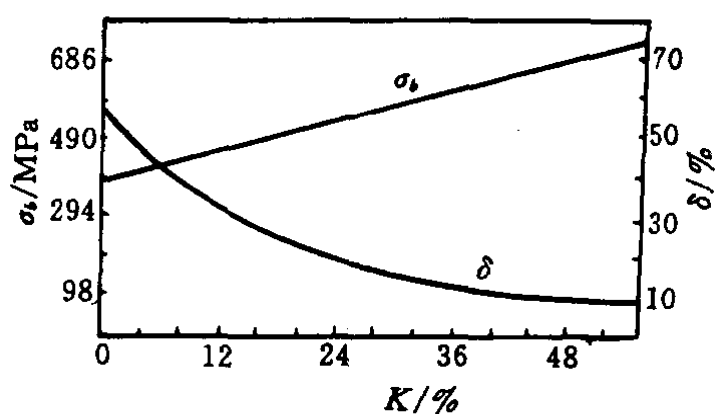


图 3-20 四六黄铜加工率—机械性能曲线

枪弹弹壳和弹头壳的强度在产品图上是用维氏硬度  $HV_5$  表示的。因此必须用加工率  $HV_5$  关系曲线确定所需的加工率。图 3-21 和 3-22 分别为 S10A、S15A 和 S20A 的加工率与维氏硬度的关系曲线。

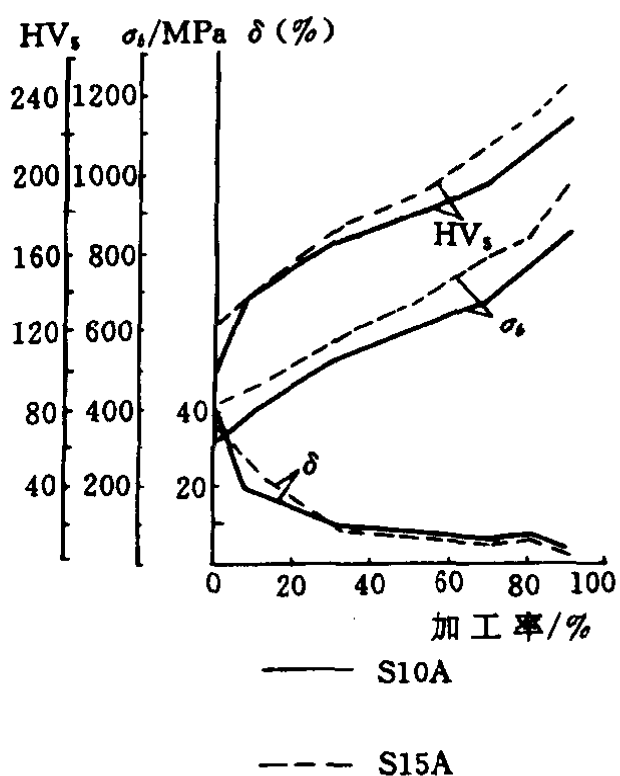


图 3-21 S10A、S15A 加工率— $HV_5$  曲线

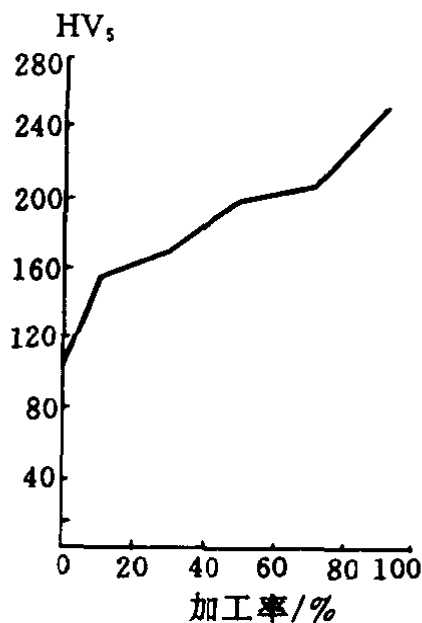


图 3-22 S20A 钢加工率— $HV_5$  曲线

弹壳制造中广泛采用多模引伸，其总加工率可以很大，用此加工率引伸出来的弹壳硬度远大于弹壳要求的最低值。因此多模引伸的末前引模具加工率的选择可不用硬度—加工率曲线，而是根据引伸允许的加工率来确定。

## 2. 确定 $h_n$ 及 $h'_{n-1}$

$h_n$  为药筒末区机械性能试样位置的中心至内底平面（相当于末引冲子的端面）的距离。末前引模具设计的主要任务是根据已确定的末前引加工率确定末前引工件的壁厚，并确定这个壁厚的高度，使末引后该壁厚高度正好到达  $h_n$  位置。前者很容易计算，而后者很难计算，因为这两个高度的位置是处在药筒的大圆弧  $R$  的位置上。

为了使末前引冲子头部的其它尺寸能够确定，先用等壁厚变形关系计算出与  $h_n$  相对应的末前引高度  $h'_{n-1}$ 。再在以后精确计算。

$$h'_{n-1} = h_n (1 - K_n) \quad (3-23)$$

式中  $K_n$ ——末引根部加工率。

3. 确定末引冲子上与  $h'_{n-1}$  相对应处的直径  $d'_n$

$h'_{n-1}$  初步确定了, 但  $h'_{n-1}$  所在的圆弧  $R_{n-1}$  或  $r_{n-1}$  处的直径  $d'_{n-1}$  还没有确定 (图 3-23)。要确定它们, 可根据与  $h'_{n-1}$  等高的末引冲子  $h'_n$  处的直径  $d'_n$ , 用放大间隙  $c$  (称直径递减量) 来确定  $d'_{n-1}$ 。而求  $d'_n$  有两种情况:

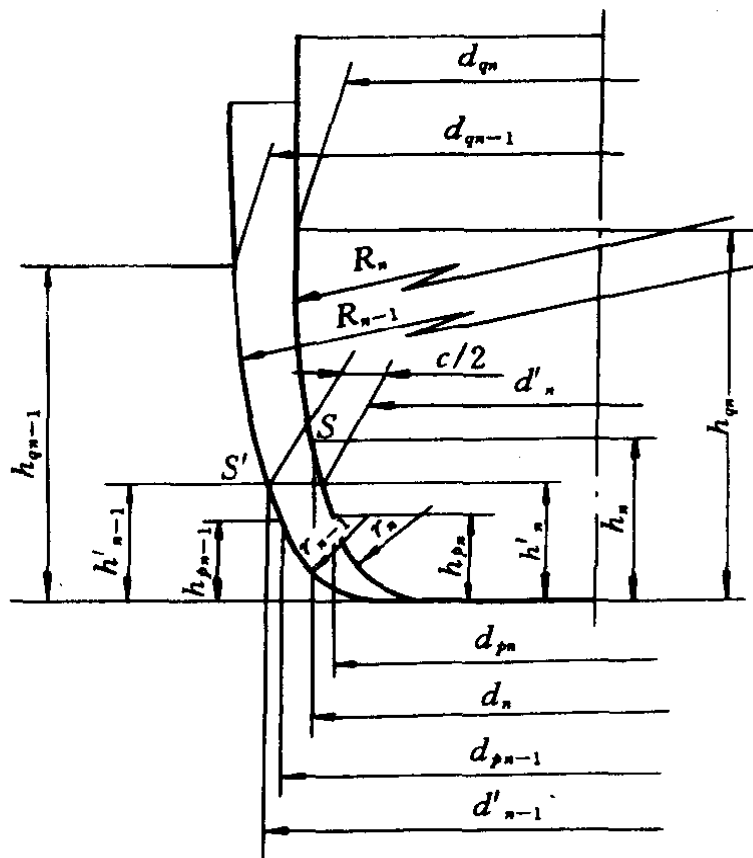


图 3-23 末前引冲子头部形状的确定

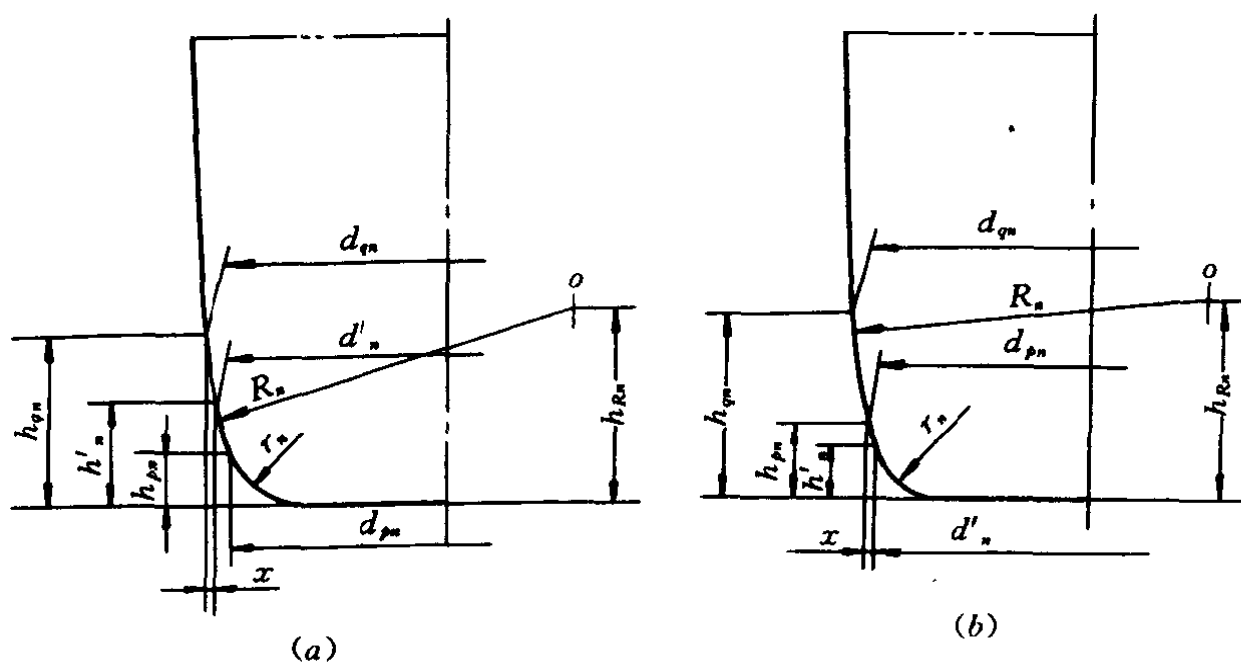


图 3-24 计算  $d'_n$

(a)  $h'_n$  在大圆弧上; (b)  $h'_n$  在小圆弧上

(1)  $h'_n$  在大圆弧上 (图 3-24a)

$$d'_n = d_{qn} - 2x \quad (3-24)$$

式中  $d_{qn}$ ——末引冲大圆弧  $R_n$  与锥体的切点。

$$x = \sqrt{R_n^2 - (h_{Rn} - h_{qn})^2} - \sqrt{R_n^2 - (h_{Rn} - h'_n)^2} \quad (3-25)$$

式中  $h_{Rn}$ ——大圆弧  $R_n$  的圆心高;

$h_{qn}$ ——大圆弧  $R_n$  与锥体切点的的高度。

上式中  $h'_n = h'_{n-1}$ 。

(2)  $h'_n$  在小圆弧上 (图 3-24b)

$$\begin{aligned} d'_n &= d_{pn} - 2x \\ x &= \sqrt{r_n^2 - (r_n - h_{pn})^2} - \sqrt{r_n^2 - (r_n - h'_n)^2} \end{aligned} \quad (3-26)$$

式中  $r_n$ ——末引冲子小圆弧半径；

$h_{pn}$ ——末引冲子  $R_n$  和  $r_n$  切点的高度；

$d_{pn}$ ——末引冲子  $R_n$  和  $r_n$  切点处的直径。

#### 4. 根据冲子直径递减量确定 $d'_{n-1}$

为了使末引冲子能进入末前引工件的内底，冲子各部位的直径都应比工件内径（即末前引冲子的直径）小一个间隙。各次引伸都如此，这个间隙称为引伸冲子直径递减量。因此  $d'_{n-1}$  即可用下式确定：

$$d'_{n-1} = d'_n + c \quad (3-27)$$

式中  $c$ ——直径递减量， $c = 0.2 \sim 0.6 \text{ mm}$ 。

#### 5. 确定末前引冲子的其它头部尺寸

这些形状包括体部锥度  $\gamma$ 、大圆弧半径  $R_{n-1}$ 、小圆弧半径  $r_{n-1}$ 、大圆弧与锥体切点位置 ( $h_{qn-1}$ 、 $d_{qn-1}$ ) 和大小圆弧切点位置 ( $h_{pn-1}$ 、 $d_{pn-1}$ )。

这些数据是无法用理论计算来确定的，由于这些尺寸的变动对成形过程没有明显的影响，故用经验确定是可行的。

$\gamma$  角由  $x$  点、 $q$  点的位置确定，因  $x$  点（斜肩位置）尚未确定，只得先给以设定，待以后确定后再予修正。其它数值可取： $R_{n-1} \leq R_n$ ， $r_{n-1} \leq r_n$ ， $h_{qn-1} \leq h_{qn}$ ， $d_{qn-1} = d_{qn} + c_q$ ， $h_{pn-1} \leq h_{pn}$ ， $d_{pn-1} = d_{pn} + c_p$ 。式中的  $c_q$ 、 $c_p$  均为  $q$  点和  $p$  点的直径递减量。

有了以上的数据范围可以用作图法或解析法画出末前引冲子头部形状或计算出头部尺寸数据。其中应注意到：

(1) 圆弧一定要通过已知点 ( $h'_{n-1}$  和  $d'_{n-1}$  的交点)。

(2) 末引和末前引的  $R$ 、 $r$  应有均匀的间隙。

## 二、计算末前引凹模工作直径 $D_{n-1}$

已知  $d_n$ 、 $D_n$  和  $d'_{n-1}$  即可根据根部（末区）加工率  $K_n$  计算出  $D'_{n-1}$ 。

$$D'_{n-1} = \sqrt{d'^2_{n-1} + \frac{D_n^2 - d_n^2}{1 - K_n}} \quad (3-28)$$

如前所述， $h'_{n-1}$  是根据等壁厚关系计算而得，实际上  $h'_{n-1}$  是在圆弧上，所以  $h'_{n-1}$  和  $d'_{n-1}$  都是初步的计算值。即  $S'$  点 ( $h'_{n-1}$  和  $d'_{n-1}$  的交点) 经末引后不可能正好位于末引的  $S$  点 ( $h_n$  和  $d_n$  的交点)。现在末引和末前引冲子头部尺寸已定，可以根据体积不变条件计算出真实的  $S'$  点。即根据末引  $S$  点以下的金属体积，可以在末前引找到一个新的  $S'$  点，如果新的  $S'$  点与原来的  $S'$  点重合，则  $h'_{n-1}$  即为最终的真实值，一般是不可能的。因为  $S'$  点处在圆弧上，所以  $h'_{n-1}$  有些误差对  $d'_{n-1}$  的影响很大，因而对加工率  $K_n$  影响很大。当计算出新的  $S'$  点后可用下式计算加工率  $K'_n$ 。

$$K'_n = 1 - \frac{D_n^2 - d_n^2}{D'^2_{n-1} - d'^2_{n-1}} \quad (3-29)$$

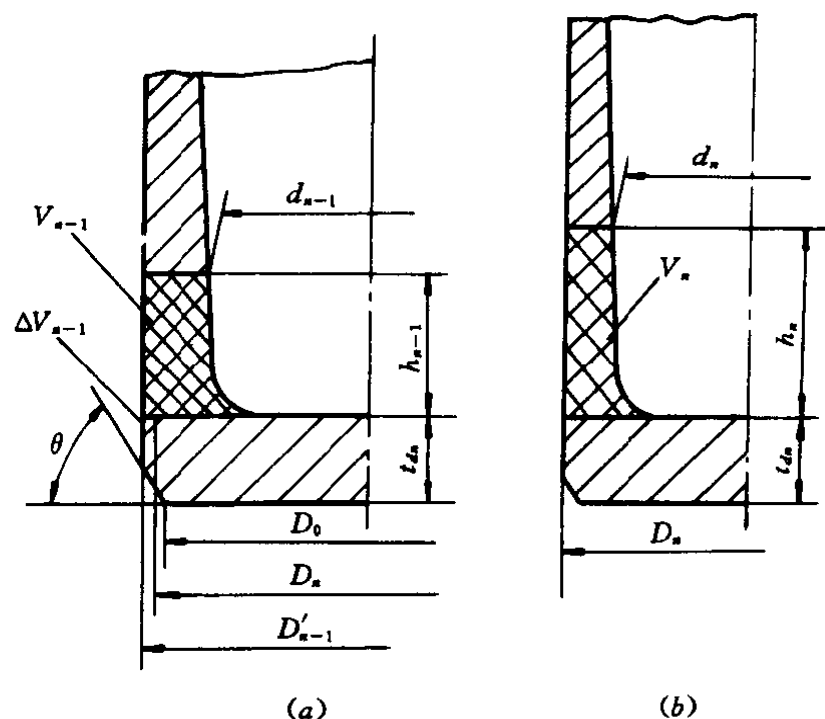


图 3-25 末引和末前引制品体积  
(a) 末前引制品; (b) 末引制品

如果相差不大时即可认为新的  $S'$  点是与末引  $S$  点相应的点。如果相差大, 则改变  $D'_{n-1}$  或其它参数重新计算, 经多次反复计算才能最终确定真实的  $S'$  点, 因而最终确定  $h_{n-1}$ 、 $d_{n-1}$  和  $D_{n-1}$ 。

末引前引头部金属体积间的关系可用下式确定 (图 3-25), 即

$$V_n = V_{n-1} + \Delta V'_{n-1} \quad (3-30)$$

式中  $V_n$ ——末引制品  $S$  点到内底 ( $h_n$  段) 的体积;

$V_{n-1}$ ——末前引制品真实的  $S'$  点到内底 ( $h_{n-1}$  段) 的体积;

$\Delta V'_{n-1}$ ——末前引制品底部由于直径减小而流向体部的体积。

由于凹模为锥形, 底部由于直径减小而流动的的金属, 一部分向底部流动, 使底厚增加或底部成球形, 另一部分则流向体部, 半锥角越大则流向体部的金属量增加。其定量的计算只能用以下的经验式, 即

$$\Delta V'_{n-1} = \Delta V_{n-1} \left( 1 - \frac{c \cos \alpha}{\sin \alpha + \cos \alpha} \right) \quad (3-31)$$

式中  $\Delta V_{n-1}$ ——底部金属流动的总量;

$\alpha$ ——末引凹模半模角;

$c$ ——系数,  $c=0.3 \sim 0.6$ ,  $\alpha$  大时取上限。

计算  $\Delta V_{n-1}$  时  $\theta$  为挤孟时的根形角,  $D_0$  也由挤孟时确定。

用  $V_{n-1}$  确定  $h_{n-1}$  时可能遇到三种情况:

(1) 末前引冲只有一个小圆弧, 且  $h_{n-1}$  不在小圆弧上 (在锥体上)。这种情况很容易确定  $h_{n-1}$ 。只要在  $V_{n-1}$  中减去小圆弧部分的体积, 剩下的体积等于一个锥体体积, 用解析法即可确定锥体高度。

(2)  $h_{n-1}$  在小圆弧上。计算小圆弧段的体积  $V_{m-1}$ , 当  $V_{m-1} > V_n$  时说明  $h_{n-1}$  在小圆弧段。这时将小圆弧分成不同高度的圆弧段进行试算, 最后求出  $h_{n-1}$ 。

(3)  $h_{n-1}$  在大圆弧上。大多数情况下  $h_{n-1}$  是在大圆弧段内。当  $V_{n-1} > V_{m-1}$  时说明  $h_{n-1}$  在  $R_{n-1}$  弧段, 用同上方法计算出  $h_{n-1}$ 。

末引凹模直径  $D_{n-1}$  的确定, 难度不大, 但计算工作量极大, 重复试算次数很多, 用计算机辅助设计可以减轻劳动量, 提高工作速度。

### 三、冲子口部 (圆柱部) 直径 $d_{kn-1}$ 及高度 $h_{kn-1}$ 的确定

末引冲子由于产品图的要求, 可有几个不同高度的直径组成, 因产品图各部位均有不同的壁厚, 而末前引一般均由两个直径组成, 即大圆弧上切点 ( $q$  点) 和口部 ( $k$  点) 直径。

末引口部加工率不是由产品机械性能来确定的, 而主要是由引伸后、收口前的口部退火

来达到的。由于口部壁最薄，所以总的引伸加工率在口部最大，为减少引伸次数，希望末引口部加工率尽量取大。但是过大的口部加工率会使口部断裂，并引起壁厚差的加大。根据生产实践，口部加工率  $K_{kn}$  取以下范围：单模引伸时为 38~45%，双模引伸时为 40~50%。于是末前引冲子口部直径可按以下方法确定：

#### 1. 末引不轧口时

$$d_{kn-1} = \sqrt{D_{n-1}^2 - \frac{D_n^2 - d_{kn}^2}{1 - K_{kn}}} \quad (3-32)$$

式中  $d_{kn}$ ——末引冲子口部直径。

计算结果应满足冲子口部直径递减量要求，即

$$d_{kn-1} - d_{kn} = c_k \quad (3-33)$$

式中  $c_k$ ——口部直径递减量， $c_k = 1 \sim 3\text{mm}$ ， $c_k$  值可用改变加工率的方法来调整。

#### 2. 末引带轧口时

$d_{kn-1}$  不仅要满足与  $d_{kn}$  的直径递减量，而且还应考虑到  $d_{kn-1}$  与轧口刃直径  $d_z$  间有 0.2~0.5mm 的间隙。因此  $d_{kn-1}$  要经过多次调试才能确定。一般是先确定一个中等程度的加工率，计算出一个  $d_{kn-1}$ ，并校核直径递减量，符合要求后再选一个轧口加工率，计算出轧口刃直径  $d_z$ ， $d_z$  应满足  $d_{kn-1} - d_z = 0.2 \sim 0.5\text{mm}$  及  $D_n$  有一定的间隙。如不能满足，则可调整加工率。增大加工率  $K_{kn}$  时， $d_{kn-1}$  将减小，冲子直径递减量  $C_k$  将减小，但是  $d_{kn-1}$  的减小有可能造成  $d_{kn-1} < d_z$ ，使料圈难以从冲子上刮下。

$d_{kn-1}$  的高度  $h_{kn-1}$  仍可用体积相等方法确定（图 3-26）：

$$V_{zn-1} = V_{kn} - V_{qn-1} \quad (3-34)$$

式中  $V_{zn-1}$ ——末前引半制品锥度段（ $k$  至  $q$ ）的体积；

$V_{kn}$ ——末引半制品口部（ $k$  点）以下（含底部）体积；

$V_{qn-1}$ ——末前引半制品锥度段以下（ $q$  点）体积（含底部）。

已知  $V_{zn-1}$  后即可算出锥度段高  $h_{zn-1}$ ，从而求得  $h_{kn-1}$ 。

$$h_{kn-1} = h_{zn-1} + h_{qn-1} \quad (3-35)$$

式中  $h_{qn-1}$ ——末前引冲子  $q$  点以下的高度。

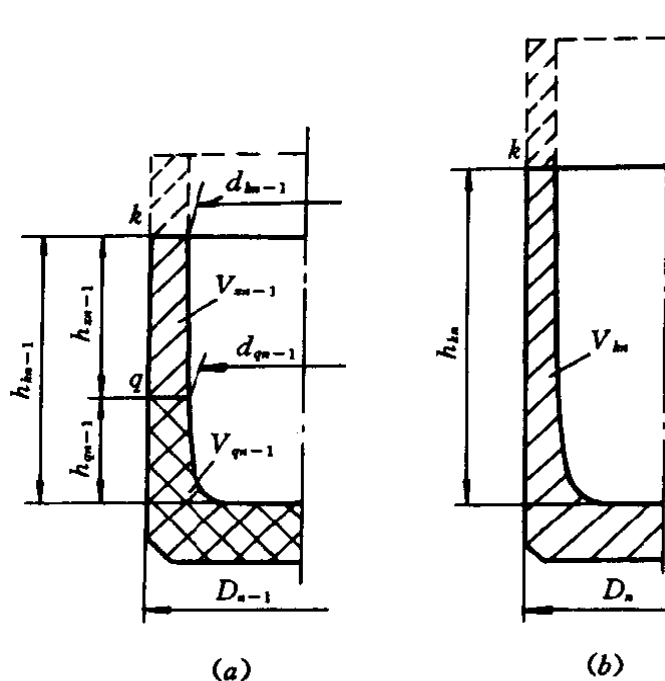


图 3-26 用体积相等计算  $h_{kn-1}$

(a) 末前引；(b) 末引

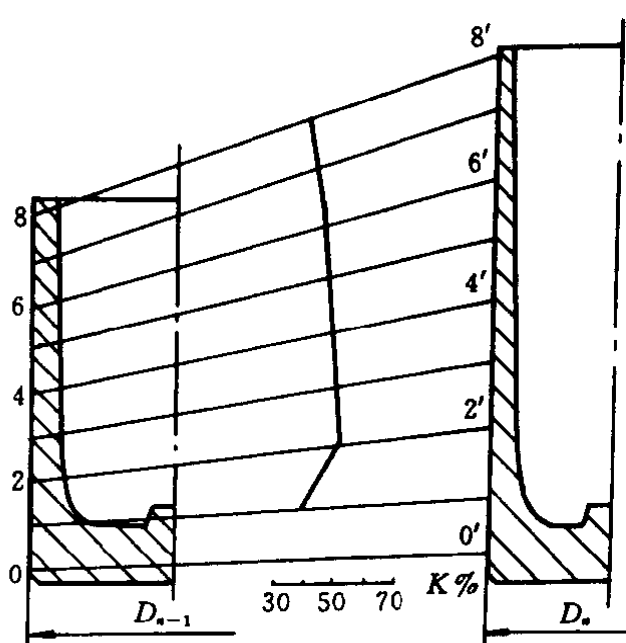


图 3-27 药筒加工率曲线图

#### 四、其余各区机械性能的校核

末前引冲的  $q$  点和  $k$  点直径确定后末前引模具设计即告完成。体部的加工率是由末引和

末前引冲子的  $k$ 、 $q$  点直径的连线自然形成的，而不是像  $S$  点那样根据加工率设计的。因此必须校核体部各区的加工率，是否符合机械强度所需的加工率。

这个校核比较容易，因为体部为锥形。可以在坐标纸上画出末引和末前引半制品的放大图（图 3-27）。在末引制品上每过一定间隔设一个计算点，量出其壁厚（或内径），根据体积相等原理算出它在末前引半制品上的对应位置，量出其壁厚（或内径）即可计算出各计算点的加工率，并给成曲线。也可用加工率查出各点的强度绘成末引后药筒各部位的强度曲线。检查在试样圈中心点的强度是否符合产品图要求。如不符合，则仍需调整尺寸。方法是在末前引冲子的体部设计成多锥度。

## 五、计算体积的几何公式

### 1. 锥体体积

$$V = \frac{\pi}{12} h (D_o^2 + d_i^2 + d D_o) \quad (3-36)$$

式中  $h$ ——锥体高；

$D_o$ ——锥体大直径；

$d_i$ ——锥体小直径。

### 2. 小圆弧段体积（图 3-28）

(1) 冲子小圆弧段体积  $V'_r$

$$V'_r = \pi \left\{ h_{pi} (r_i^2 + s^2) - \frac{r_i^3}{3} + \frac{h^3}{3} + s \left[ \frac{\pi}{2} r_i^2 - h \sqrt{r_i^2 - h^2} - r_i^2 \arcsin \frac{h}{r_i} \right] \right\} \quad (3-37)$$

式中  $h_{pi}$ ——冲子大小圆弧切点处高度，即小圆弧段高度；

$r_i$ ——冲子小圆弧半径；

$h$ ——冲子小圆弧圆心  $O$  至大小圆弧切点  $p$  的纵向距离；

$s$ ——冲子小圆弧圆心  $O$  至冲子中心线的水平距离；

$$s = \frac{d_{pi}}{2} - \sqrt{r_i^2 - h^2}$$

$d_{pi}$ ——冲子大小圆弧切点  $p$  的直径。

(2) 半制品小圆弧段体积  $V_{ri}$

$$V_{ri} = \frac{\pi}{4} D_i^2 h_{pi} - V'_r \quad (3-38)$$

### 3. 大圆弧段体积（图 3-29）

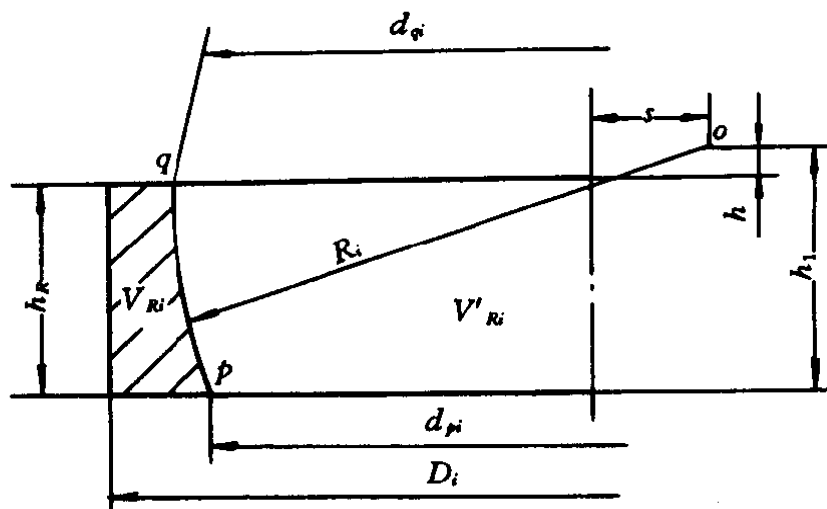


图 3-29 大圆弧段尺寸

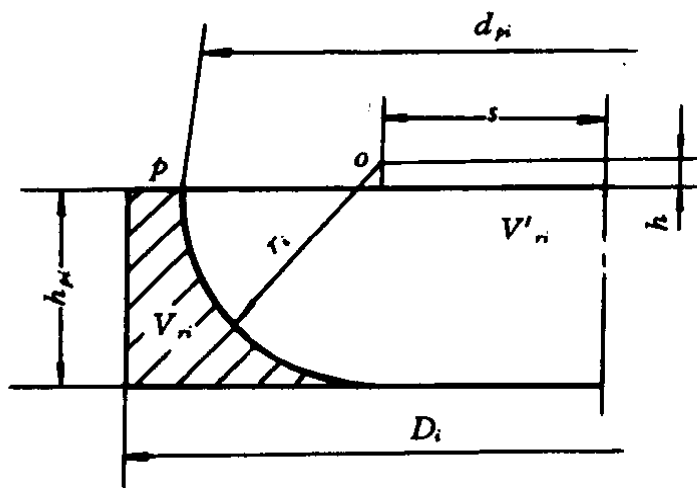


图 3-28 小圆弧段尺寸

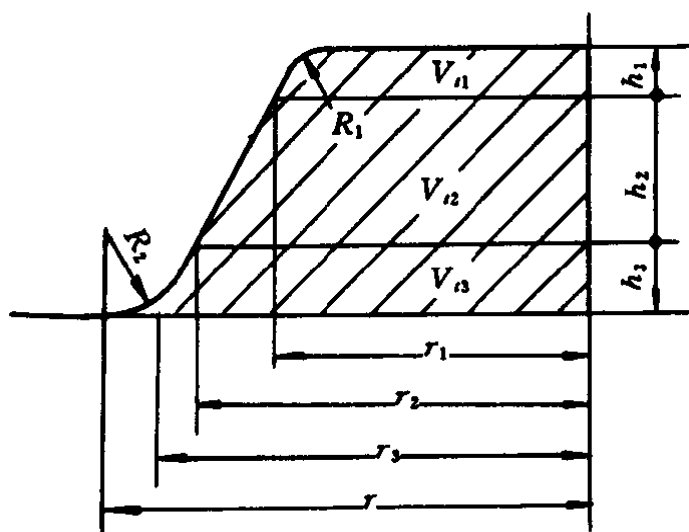


图 3-30 凸起部体积计算

(1) 冲子大圆弧段体积  $V'_{Ri}$

$$V'_{Ri} = \pi \left\{ (R_i^2 + S^2) h_R + \frac{h^3}{3} - \frac{h_1^3}{3} - s \left[ h_1 \sqrt{R_i^2 - h_1^2} - h \sqrt{R_i^2 - h^2} + R_i^2 \arcsin \frac{h_1}{R_i} - R_i^2 \arcsin \frac{h}{R_i} \right] \right\} \quad (3-39)$$

式中  $R_i$ ——冲子大圆弧半径；

$h$ ——冲子大圆弧圆心至大圆弧与锥体切点的纵向距离；

$h_1$ ——冲子大圆弧圆心至大小圆弧切点  $p$  的纵向距离；

$h_R$ ——冲子大圆弧段高度；

$s$ ——冲子大圆弧圆心至冲子中心线距离；

$$s = \sqrt{R_i^2 - h^2} - \frac{d_{qi}}{2}$$

$d_{qi}$ ——冲子大圆弧与锥体的切点  $q$  处的直径。

如果冲子大圆弧的圆心与  $q$  同高，则  $h=0$ ，于是上式可简化为

$$V'_{Ri} = \pi \left\{ (R_i^2 + s^2) h_R - \frac{h_R^3}{3} - s \left[ h_R \sqrt{R_i^2 - h_R^2} + R_i^2 \arcsin \frac{h_R}{R_i} \right] \right\} \quad (3-40)$$

如果  $R_i < d_{qi}/2$ ，则圆心  $O$  在中心线左方， $V'_{Ri}$  的公式应改为

$$V'_{Ri} = \pi \left\{ (R_i^2 + s^2) h_R + \frac{h^3}{3} - \frac{h_1^3}{3} + s \left[ h_1 \sqrt{R_i^2 - h_1^2} - h \sqrt{R_i^2 - h^2} + R_i^2 \arcsin \frac{h_1}{R_i} - R_i^2 \arcsin \frac{h}{R_i} \right] \right\} \quad (3-41)$$

(2) 大圆段体积  $V_{Ri}$

$$V_{Ri} = \frac{\pi}{4} D_i^2 h_R - V'_{Ri} \quad (3-42)$$

#### 4. 凸起部体积

凸起部可以分成三段计算（图 3-30）。

体积  $V_{i1}$  可用式 (3-37) 计算。体积  $V_{i2}$  可用式 (3-36) 计算。体积  $V_{i3}$  可用下式计算：

$$V_{i3} = \pi h_3 \left( r^2 + R_2 h_3 - \frac{h_3^2}{3} \right) - 2\pi r \left\{ \frac{h_3 - R_2}{2} \sqrt{2R_2 h_3 - h_3^2} + \frac{R_2^2}{2} \left[ \arcsin \frac{h_3 - R_2}{R_2} - \arcsin (-1) \right] \right\} \quad (3-43)$$

凸起部体积

$$V_i = V_{i1} + V_{i2} + V_{i3} \quad (3-44)$$

#### 5. 已知锥度段体积求锥度段高

此公式在用调整体积方法确定  $h_{n-1}$  时会用到。

某锥度段柱形外径  $D$ ，锥形内径的小端直径为  $d$ ，大端为  $d_1$ ，其全锥度为  $k$ ，如该锥度段的体积为  $V$ ，则其高度  $h$  可用下式计算：

$$h = \frac{(D^2 - d^2) - \sqrt{(D^2 - d^2)^2 - 5.1dVk}}{2kd} \quad (3-45)$$

该式的推导如下：

锥体大端直径：

$$d_1 = d + kh$$

锥度段体积：

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h - \frac{\pi}{12} h (d_1^2 + d^2 + d_1 d)$$

消去  $d_1$  后有：
$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h - \frac{\pi}{4} d^2 h - \frac{\pi}{4} k d h^2 - \frac{\pi}{12} k^2 h^3$$

$k$  值很小，其高次项可以忽略，经整理后可得：

$$h^2 - \frac{D^2 - d^2}{dk} h + \frac{4V}{\pi dk} = 0$$

求解上述一元二次方程的根，经整理后即可求得 (3-45) 式。

## 六、末引和末前引模具尺寸确定举例<sup>[26]</sup>

某四六黄铜药筒的主要尺寸见图 3-31，其各区的机械性能如下表，试设计其末引及末前引的冲子与凹模的主要尺寸。

| 区 号 | 口部端面至试样中心距离/mm | $\sigma_b$ /MPa | $\delta$ /% |
|-----|----------------|-----------------|-------------|
| 1   | 20             | 370~430         | >20         |
| 2   | 70             | $\geq 370$      | >15         |
| 3   | 195            | $\geq 490$      | >7          |
| 4   | 364            | $\geq 540$      | >5          |
| 5   | 403            | $\geq 540$      | >5          |
|     | 底 部            | $\geq 460$      |             |

该药筒为分装式，无斜肩，口部不与弹丸连结，尺寸精度不高，因此加工并不困难。末区的抗拉强度为  $\geq 540$ MPa，对黄铜药筒属于低值，很容易达到。

### 1. 末引模具设计

(1) 凹模工作直径  $D_n$ ：根据 (3-10) 式，取制品直径扩大系数  $\eta$  为 0.9917，则有

$$D_n = 0.9917 \times 139.36 = 138.2$$

(2) 工件壁厚：用平均壁厚计算，取冲子和凹模制造公差各为 0.05mm，凹模引伸时的弹性变形量  $\Delta m = 0.00075 \times 138.2 = 0.1$ ，据 (3-12) 式和 (3-13) 式有：

$$\begin{aligned} \text{口部壁厚: } t_{kn} &= \left( 1.3 - \frac{0.3}{2} - \frac{0.1}{2} - \frac{0.1}{2} \right) \\ &\quad \times \sqrt{\frac{125.2}{138.2}} = 1 \end{aligned}$$

$$\text{根部壁厚: } t_{qn} = 2.4 - \frac{0.4}{2} - \frac{0.1}{2} - \frac{0.1}{2} = 2.1$$

(3) 冲子直径

$$\text{圆柱部直径: } d_{kn} = 138.2 - 2 \times 1 = 136.2$$

$$\text{根部直径: } d_{qn} = 138.2 - 2 \times 2.1 = 134$$

(4) 大小圆弧半径  $R_n$ 、 $r_n$ ：大圆弧半径取与

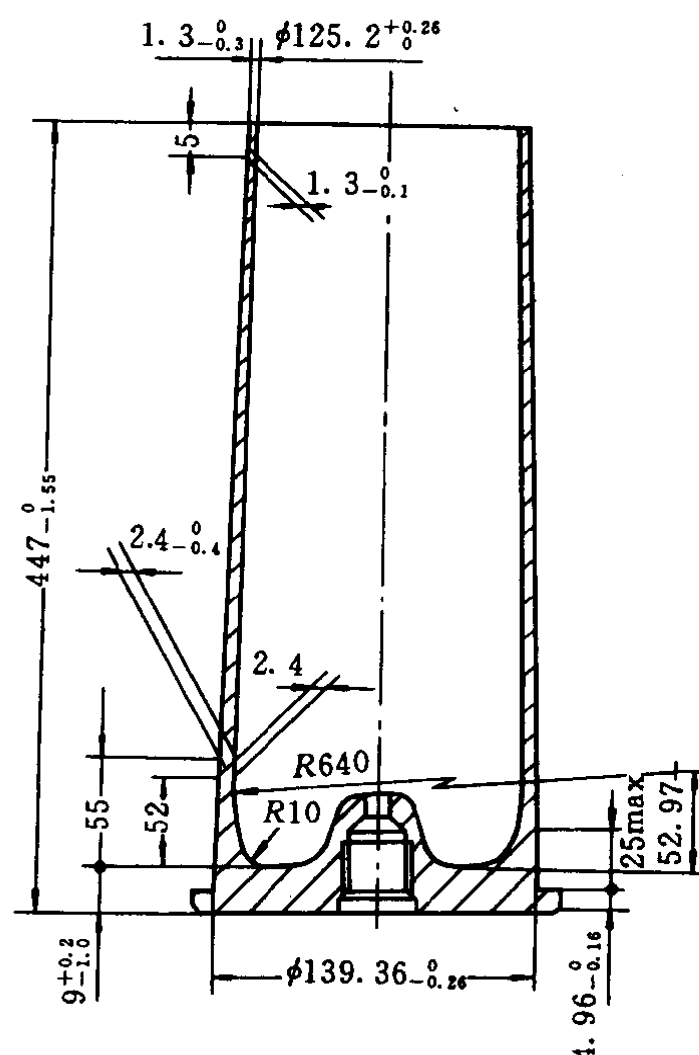


图 3-31 黄铜药筒简图

产品图相同数值, 即  $R_n=640$ 。

为使内转角处能得到一定的强化, 取小圆弧半径  $r_n$  比成品略大, 因为  $R_n$  可以在压底时最后确定, 即  $r_n=12$ 。

(5) 冲子半锥角  $\gamma$ : 由于工件壁厚不等形成的冲子半锥角  $\gamma$  可用下式计算:

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \gamma &= \frac{(139.36-1.3 \times 2)-(139.36-2.4 \times 2)}{2(447-9-52-5)}=0.00289 \\ \gamma &=0.165^{\circ}, \text{ 取 } \gamma=0.17^{\circ}\end{aligned}$$

(6) 冲子各部位直径高度

①大圆弧圆心高  $h_{Rn}$ 。考虑到压底时  $h_{Rn}$  位置的变动, 取  $h_{Rn}=50$

②大圆弧与锥体切点处高度  $h_{qn}$

$$h_{qn}=50-640 \sin 0.17^{\circ}=48.1$$

③大小圆弧切点处高度  $h_{pn}$

$$\sin \gamma' = \frac{50-12}{640-12}=0.0605$$

式中  $\gamma'$ ——大小圆心连线与水平线夹角。

$$h_{pn}=12(1-0.0605)=11.27$$

④锥体与口部圆柱体交点处高度  $h_{kn}$ 。由于药筒体部外形全锥角只有  $1.5^{\circ}$ , 忽略该影响, 则

$$h_{kn}=447-9-18=420$$

式中 18mm 为供检验口部壁厚和壁厚差用的口部圆柱部高度。

⑤轧口刃高度  $h_{zn}$ 。取切口余量为 27mm, 则

$$h_{zn}=420+18+27=465$$

(7)  $h_{pn}$  处的直径  $d_{pn}$ 。参考 (3-24)、(3-25) 式, 有

$$d_{pn}=134-2\left(\sqrt{640^2-(50-48.1)^2}-\sqrt{640^2-(50-11.27)^2}\right)=131.66$$

## 2. 末前引模具设计

(1) 确定末前引冲子的主要尺寸

①大圆弧半径  $R_{n-1}$  及其圆心高  $h_{Rn-1}$ : 取  $R_{n-1}=500$ ,  $h_{Rn-1}=h_{Rn}=50$ 。

②小圆弧半径  $r_{n-1}$ : 取  $r_{n-1}=r_n=12$ 。

③冲子半锥角  $\gamma_{n-1}$ 。冲子半锥角  $\gamma_{n-1}$  既影响头部圆弧处与末引冲的配合间隙, 也影响口部直径  $d_{kn-1}$ 。为使末引轧口下来的料圈易于脱下,  $d_{kn-1} > d_{zn}$ 。因此必须多次试算后确定。由于锥形部高度减小, 故一般  $\gamma_{n-1} > \gamma_n$ 。本例中经试算, 先取  $\gamma_{n-1}=0.43^{\circ}$ , 将在以后检验其是否合适。

④大圆弧与锥体切点的高度  $h_{qn-1}$

$$h_{qn-1}=50-500 \sin 0.43^{\circ}=46.26$$

⑤大小圆弧切点处高度  $h_{pn-1}$

$$\sin \gamma' = \frac{50-12}{500-12}=0.07787$$

$$h_{pn-1}=12(1-\sin \gamma')=11.07$$

⑥大圆弧与锥体切点处的直径  $d_{qn-1}$ 。先求出末引冲与  $h_{qn-1}$  等高处的直径  $d_{qn}$ , 再用间隙确定  $d_{qn-1}$ 。

$$d'_{qn}=134-2\left[\sqrt{640^2-(50-48.1)^2}-\sqrt{640^2-(50-46.26)^2}\right]=133.98$$

取该处两冲子的配合间隙  $C_q=1.22$ , 则

$$d_{qn-1}=133.98+1.2=135.2$$

⑦大小圆弧切点处直径  $d_{qn-1}$

$$d_{qn-1}=135.2-2\left[\sqrt{500^2-(50-46.26)^2}-\sqrt{500^2-(50-11.07)^2}\right]=132.2$$

(2) 检查冲子头部间隙是否均匀: 在确定末前引凹模直径  $D_{n-1}$  前, 必先检查冲子头部各圆弧的间隙是否均匀。如不均匀则应将上述参数适当调整。

为求末前引冲  $h_{pn-1}$  处的间隙, 必须求出该高度处末引冲的直径  $d'_{pn}$ , 即

$$d'_{pn}=131.66-2\left[\sqrt{12^2-(12-11.27)^2}-\sqrt{12^2-(12-11.07)^2}\right]=131.63$$

则该点的间隙  $c_p=d_{pn-1}-d'_{pn}=0.57$

为求小圆弧下切点(与冲子端平面的切点)处的间隙, 必先求出该点( $s$  点)的直径  $d_{sn-1}$  和  $d_{sn}$ 。

$$d_{sn-1}=132.2-2\sqrt{12^2-(12-11.07)^2}=108.27$$

$$d_{sn}=131.66-2\sqrt{12^2-(12-11.27)^2}=107.7$$

$s$  点的间隙  $c_s=108.27-107.7=0.57$

$c_p=c_s$ , 说明小圆弧处两冲的间隙均匀。

(3) 确定末引根部加工率  $K_n$ : 根据末区机械强度要求, 查图 3-20 曲线, 即可得所求的根部加工率。由于该处的  $\sigma_b$  值只规定下限, 且数值也不高, 考虑到生产中各种可能使  $\sigma_b$  下降的因素, 取  $K_n$  值比查表数值高一定数值。取  $K_n=45\%$ 。

(4) 确定末引加工率的位置  $h_n$  并初算  $h'_{n-1}$ : 从产品图的机械性能表看出, 最高机械性能位于内底平面以上 35~74mm 处, 即 4 区和 5 区。药筒弧形部壁厚越近内底面, 壁越厚, 因此在同一个壁变薄量时越近内底面相对变形值(加工率)越小。为此在 35~74mm 的范围内  $h_n$  不能取在中间, 而应取最低点, 即取  $h_n=35$ 。

末前引冲与  $h_n$  相对应的高度  $h'_{n-1}$  的初步计算值为

$$h'_{n-1}=35\times(1-0.45)=19.25$$

末引冲  $h_n$  处的直径  $d_n$  为

$$d_n=134-2\left[\sqrt{640^2-(50-48.1)^2}-\sqrt{640^2-(50-35)^2}\right]=133.65$$

末前引冲  $h'_{n-1}$  处的直径  $d'_{n-1}$  为

$$d'_{n-1}=135.2-2\left[\sqrt{500^2-(50-46.26)^2}-\sqrt{500^2-(50-19.25)^2}\right]=133.34$$

(5) 初算末前引凹模直径  $D'_{n-1}$

$$D'_{n-1}=\sqrt{133.34^2+\frac{138.2^2-133.65^2}{1-0.45}}=141.52$$

(6) 校对体积: 分别计算末引制品  $h_n$  点至内底的体积  $V_n$  与末前引  $h'_{n-1}$  点至内底的体积  $V_{n-1}$ , 使两者接近。否则调整参数, 直至接近为止。

①末引制品小圆弧段体积  $V_m$ 。用公式 (3-37) 计算  $V'_m$  其中  $r_n=12$ ,  $s=53.85$ ,  $h_{pn}=11.27$ ,  $h=0.73$ 。得冲子小圆弧段体积  $V'_m=141273.8$ 。

用公式 (3-38) 计算  $V_m$ , 其中  $D_n=138.2$ 。

$$V_m=\frac{\pi}{4}138.2^2\times11.27-141273.8=27782$$

②末引半制品  $h_{pn}$  至  $h_n$  间的体积  $V_{Rn}$ 。该段冲子部分体积用 (3-39) 式计算, 其中  $R_n = 640$ ,  $s = 573$ ,  $h = 15$ ,  $h_1 = 38.73$ ,  $h_R = 23.73$ 。得  $V'_{Rn} = 328713.3$

$$V_{Rn} = \frac{\pi}{4} \times 138.2^2 \times 23.73 - 328713.3 = 27249$$

③末前引制品小圆弧段体积  $V_{rn-1}$

$V_{rn-1} = 12$ ,  $s = 54.14$ ,  $h_{pn-1} = 11.07$ ,  $h = 0.93$ ,  $D'_{n-1} = 141.52$ 。得

$$V'_{rn-1} = 139799.6$$

$$V_{rn-1} = \frac{\pi}{4} 141.52^2 \times 11.07 - 139799.6 = 34330$$

④末前引半制品  $h_{pn-1}$  至  $h_{n-1}$  间的体积  $V_{Rn-1}$

$R_{n-1} = 500$ ,  $s = 432.39$ ,  $h = 30.75$ ,  $h_1 = 38.93$ ,  $h_R = 8.18$ 。得

$$V'_{Rn-1} = 113279.76$$

$$V_{Rn-1} = \frac{\pi}{4} 141.52^2 \times 8.18 - 113279.76 = 15391$$

⑤半制品底部金属向上流的体积  $\Delta V'_{n-1}$

$D_0 = 132$ ,  $\theta = 45^\circ$ ,  $t_{du} = 13.5$  (以上为热挤孟孟子底部直径, 锥角和底厚),  $D_n = 138.2$ ,  $D'_{n-1} = 141.52$ 。则参与变形的底部金属总量  $\Delta V_{n-1}$  为

$$\Delta V_{n-1} = 6978$$

用式 (3-31) 计算  $\Delta V'_{n-1}$ , 其中取  $\alpha = 15^\circ$ ,  $c = 0.95$ , 则

$$\Delta V'_{n-1} = 6978 \left( 1 - \frac{0.95 \times \cos 15^\circ}{\sin 15^\circ + \cos 15^\circ} \right) = 1750$$

⑥末引与末前引体积之差  $\Delta V$

$$\Delta V = V_n - V_{n-1} - \Delta V'_{n-1} = (27782 + 27249) - (34330 + 15391) - 1750 = 3560$$

(7) 修正  $D'_{n-1}$ : 如果  $\Delta V = 0$ , 则  $h'_{n-1}$  点的金属引伸后正好到达  $h_n$  点。现在  $\Delta V > 0$ , 说明初算的  $h'_{n-1}$  低于实际的高度  $h_{n-1}$ ,  $h'_{n-1}$  需要加大一个  $\Delta h$  值。但由于  $h'_{n-1}$  增高使该处冲子直径增大, 壁厚减薄, 结果  $h'_{n-1} + \Delta h$  处的金属到达  $h_n$  处的加工率降低。实际设计模具时, 如加工率的绝对值改变 1% 以上, 即应调整  $D'_{n-1}$ 。

为计算方便, 计算  $\Delta h$  时可用锥体体积, 即使  $\Delta V$  等于锥体的体积。本例中经计算,  $\Delta h = 2.04$ ,  $h'_{n-1} + \Delta h$  处的加工率为 43.4%, 应对  $D'_{n-1}$  修正, 加大  $D'_{n-1}$ 。

采取试算逼近法来逐步确定加大后的  $D'_{n-1}$ 。其方法如下。从体积差  $\Delta V$  中取出一部分体积 (例如 1/2 或 1/3) 换算成一个等体积的薄壁筒, 该筒的高为  $h'_{n-1} + \Delta h$ , 内径为  $D'_{n-1}$ , 则外径即为初步试算后加大的末前引凹模直径  $D''_{n-1}$ 。因此可用下述公式计算:

$$D''_{n-1} = \sqrt{D'^2_{n-1} + \frac{4\Delta V'}{\pi(h'_{n-1} + \Delta h)}} \quad (3-46)$$

式中  $\Delta V'$  ——  $\Delta V$  的修正量,  $\Delta V' = \alpha \Delta V$ , 系数  $\alpha$  可先取 1/2 或 1/3。

本例中取  $\alpha = 1/3$ , 即  $\Delta V' = 3560/3 = 1187$

用式 (3-45) 计算  $\Delta h$ , 其中冲子全锥角  $k$  为

$$k = \frac{d_{qn-1} - d'_{n-1}}{h_{qn-1} - h'_{n-1}} = \frac{135.2 - 133.34}{46.26 - 19.25} = 0.0689$$

$$\Delta h = \frac{141.52^2 - 133.34^2 - \sqrt{(141.52^2 - 133.34^2)^2 - 5.1 \times 2373 \times 133.34 \times 0.0689}}{2 \times 133.34 \times 0.0689}$$

$$=1.35$$

$$D''_{n-1} = \sqrt{141.52^2 + \frac{4 \times 1187}{\pi (19.25 + 1.35)}} = 141.78$$

增高  $\Delta h$  后的  $h''_{n-1}$  处的直径  $d_H$  为

$$d_H = 135.2 - 2 [\sqrt{500^2 - (50 - 46.26)^2} - \sqrt{500^2 - (50 - 20.6)^2}] = 133.5$$

核算修正后的加工率  $K'_n$  为

$$K'_n = 1 - \frac{138.2^2 - 133.65^2}{141.78^2 - 133.5^2} = 45.7\%$$

和第一次试结果相差 0.7%；加工率略偏大。说明试算中  $\alpha$  值取得过大。因加工率偏差值小于 1%，可以不再试算，或将  $D''_{n-1}$  略为缩小，如取 141.70 或 141.75 等。如进行第二次试算，则取  $\alpha = 1/3$ ，计算结果  $D''_{n-1} = 141.71$ ， $K'_n = 45.1\%$ 。因此最终取末前引凹模工作直径为

$$D_{n-1} = 141.70$$

(8) 校核产品图第 4 区的加工率：本例药筒的第四区的强度与第五区相同，故应进行加工率校核，校核方法与末引第五区加工率校核相同，只是这里的  $D_{n-1}$  是已知的。

(9) 末引冲圆柱部直径  $d_{kn-1}$  和高度  $h_{kn-1}$ ：凹模直径  $D_{n-1}$  已定，只要给出口部加工率即可求出半制品口部内径（即引伸冲圆柱部直径）。药筒口部机械性能由口部退火（烤口）来确定，因此口部加工率应选较大值，以减少引伸次数。本例中取  $K_{kn} = 43\%$ ，则

$$d_{kn-1} = \sqrt{141.7^2 - \frac{138.2^2 - 136.2^2}{1 - 0.43}} = 138.26$$

$$\text{口部间隙 } c_k = 138.26 - 136.2 = 2.06$$

口部间隙稍大是允许的，如要改变间隙，可以改变  $K_{kn}$ 。

圆柱部高度可根据冲子的斜锥角  $r_{n-1}$  确定

$$h_{kn-1} = \frac{138.26 - 135.2}{2 \tan 0.34^\circ} + 46.26 = 250.5$$

严格地说  $h_{kn-1}$  应根据体积相等的方法确定。

(10) 末引轧口刃直径  $d_{zn}$ ：取加工率  $K_{zn} = 78.5\%$ ，则

$$d_{zn} = \sqrt{138.2^2 - (1 - 0.785)(141.7^2 - 138.26^2)} = 137.45$$

$$d_{kn-1} - d_{zn} = 138.26 - 137.45 = 0.81$$

说明被切下的料圈可以被退下。

### § 3.7 中间各道引伸模具设计

中间各道引伸是指从一引至末前二引，各道的作用和模具设计方法均相同。是把孟子的壁减薄，高度增大。引伸间可以退火，半制品无机械性能要求。因此应尽量采用最大加工率，以减少引伸次数。

如前所述，药筒引伸工具设计步骤有逆推法和逆正法两种。两者设计方法差别不大，只是逆正法需要计算引伸次数，而逆推法则不需计算，但每逆推一次需要计算一次孟子是否可以用挤压或冲孟方法制造。

## 一、中间各引模具设计步骤

### 1. 逆推法

- (1) 确定末前二引冲与末前引冲在口部、根部的直径递减量。
- (2) 根据直径递减量确定末前二引冲子各部位（口部、根部）直径。 $d_{n-2}=d_{n-1}+\Delta$ 。
- (3) 根据口部加工率计算末前二引凹模工作直径。
- (4) 冲子大小圆弧确定。
- (5) 冲子各部位直径的高度计算。
- (6) 其它非工作尺寸确定。
- (7) 计算挤孟变形程度  $K_u$  和孟子相对壁厚  $L_d$

热挤孟系数  $K_u = \frac{d_i^2}{D_i^2} \times 100\%$

孟子相对壁厚  $L_d = \frac{t_{ki}}{l_i} \times 100\%$

式中  $d_i$ ——第  $i$  道引伸孟子口部内径 ( $i=1, 2\cdots$ );

$D_i$ ——第  $i$  道引伸孟子外径;

$t_{ki}$ ——第  $i$  道孟子口部壁厚;

$l_i$ ——第  $i$  道孟子高度。

当  $K_u \leq 65 \sim 75\%$  和  $L_d \leq 10 \sim 20\%$  时该孟子尺寸即为热挤孟子尺寸。否则继续设计上一道引伸孟子（模具）。

### 2. 逆正法

- (1) 根据孟子和末引孟子口部截面积计算总引伸次数。
- (2) 分配各道引伸的口部加工率。
- (3) 确定各道引伸的口部和根部直径递减量。
- (4) 根据直径递减量确定各道冲子口部和根部直径。 $d_1=d_u-\Delta$ ,  $d_2=d_1-\Delta$ 。
- (5) 根据口部加工率确定各道凹模工作直径。
- (6) 各道冲子大小圆弧的确定。
- (7) 各道冲子工作直径的高度确定。
- (8) 各道冲模非工作尺寸（与金属变形无直接关系的尺寸）的确定。

## 二、引伸次数的确定

|                |                                         |                                         |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 第一次引伸加工率       | $K_1 = 1 - \frac{f_1}{f_u}$             | $\frac{f_1}{f_u} = 1 - K_1$             |
| 第二次引伸加工率       | $K_2 = 1 - \frac{f_2}{f_1}$             | $\frac{f_2}{f_1} = 1 - K_2$             |
| .....          | .....                                   | .....                                   |
| 第 $n-1$ 次引伸加工率 | $K_{n-1} = 1 - \frac{f_{n-1}}{f_{n-2}}$ | $\frac{f_{n-1}}{f_{n-2}} = 1 - K_{n-1}$ |
| 第 $n$ 次引伸加工率   | $K_n = 1 - \frac{f_n}{f_{n-1}}$         | $\frac{f_n}{f_{n-1}} = 1 - K_n$         |
| 总引伸加工率         | $K_\Sigma = 1 - \frac{f_n}{f_u}$        | $\frac{f_n}{f_u} = 1 - K_\Sigma$        |

式中  $f_u$ 、 $f_1$ 、 $f_2$ ——孟子、一引、二引孟子口部截面积；  
 $f_{n-1}$ 、 $f_n$ ——第  $n-1$  次、 $n$  次引伸孟子口部截面积。

$$\frac{f_n}{f_u} = \frac{f_1}{f_u} \times \frac{f_2}{f_1} \times \dots \times \frac{f_{n-1}}{f_{n-2}} \times \frac{f_n}{f_{n-1}}$$

$$1 - K_z = (1 - K_1) (1 - K_2) \dots (1 - K_{n-1}) (1 - K_n)$$

$$\text{令 } K_1 = K_2 = \dots = K_{n-1} = K_n = K_{pj}$$

式中  $K_{pj}$ ——口部平均引伸加工率。

则有

$$1 - K_z = (1 - K_{pj})^n$$

引伸次数

$$n = \frac{\log (1 - K_z)}{\log (1 - K_{pj})} \quad (3-47)$$

各种引伸的最大加工率  $K_{max}$  和平均加工率  $K_{pj}$  的实用范围如下：

单模引伸  $K_{max} = 50 \sim 60\%$   $K_{pj} = 35\%$

双模引伸  $K_{max} = 60 \sim 65\%$   $K_{pj} = 50\%$

三模引伸  $K_{max} = 70\%$   $K_{pj} = 65\%$

由于药筒（弹壳）口部比根部的截面积小得多，即口部的引伸总加工率大。因此引伸次数是由口部截面积计算的。

式（3-47）是计算由一引至末引的引伸次数，实际上  $K_n$  是已知的，因为末引模具已经设计完毕。故计算由一引至  $n-1$  次引伸的次数也可以，只要在计算  $K_z$  时用  $f_{n-1}$  即可，但计算出的是一引至  $n-1$  引的次数，总引伸次数还应加 1（即加末引），并取整数。

各种制式弹壳的各道引伸加工率的分配见表 3-9。

表 3-9 弹壳引伸加工率分配

| 弹壳种类                      | 工序   | 加工率/% |       | 说明                     |
|---------------------------|------|-------|-------|------------------------|
|                           |      | 口部    | 根部    |                        |
| 56 式 7.62 覆铜钢弹壳           | 一引上模 | 10~15 | 5~10  | 一引后半制品退火               |
|                           | 中模   | 40~45 | 25~30 |                        |
|                           | 下模   | 30~35 | 20~25 |                        |
|                           | 总计   | 60~70 | 40~50 |                        |
|                           | 二引一模 | 0     | 0     | 一模为导向模                 |
|                           | 二模   | 18~23 | 10~15 |                        |
|                           | 三模   | 45~50 | 15~20 |                        |
|                           | 四模   | 20~25 | 5~10  |                        |
| 56 式 7.62 钢质弹壳<br>(共一次引伸) | 总计   | 60~70 | 30~40 | 二、三模间加间隔环，<br>以增加两模间距离 |
|                           | 一模   | 22~28 | 3~7   |                        |
|                           | 二模   | 42~48 | 25~30 |                        |
|                           | 三模   | 18~23 | 10~15 |                        |
|                           | 四模   | 45~50 | 13~18 |                        |
|                           | 五模   | 20~25 | 5~10  |                        |
| 12.7 钢质弹壳                 | 总计   | 80~90 | 45~55 | 一引后工件退火                |
|                           | 一引上模 | 26~32 | 8~13  |                        |
|                           | 中模   | 38~43 | 25~30 |                        |
|                           | 下模   | 25~30 | 18~23 |                        |
|                           | 总计   | 65~75 | 45~55 |                        |
|                           | 二引上模 | 45~50 | 28~33 |                        |
|                           | 下模   | 15~20 | 5~10  |                        |
|                           | 总计   | 50~60 | 30~40 |                        |
|                           | 三引一模 | 35~40 | 15~20 |                        |

续表

| 弹壳种类      | 工序     | 加工率/% |       | 说明     |
|-----------|--------|-------|-------|--------|
|           |        | 口部    | 根部    |        |
| 14.5 钢质弹壳 | 一引一模   | 55~60 | 33~38 | 一引后不退火 |
|           | 二模     | 33~38 | 20~25 |        |
|           | 三模     | 28~33 | 13~18 |        |
|           | 四模     | 25~30 | 10~15 |        |
|           | 总计     | 80~88 | 60~68 |        |
|           | 二引     | 25~30 | 3~8   |        |
|           | 一、二引总计 | ≈90   | ≈65   |        |

三、冲子直径递减量的确定

正常情况下下一道引伸冲子各部位的直径应比上一道冲子在相应部位的直径小一个不大的数值，这个数值称为直径递减量。显然递减量的存在，主要是让冲子能进入上道引伸制品内，直至冲子端面与工件内底接触。直径递减量的大小对引伸件质量有很大的影响，尤其是根部的递减量。

(1) 递减量过大：递减量过大，则冲子容易到达孟子底部。但因冲子与工件内形间的空隙较大，容易造成冲子与工件的中心线不重合，形成壁厚差和口偏斜（口部端面一边高，一边低）。因此递减量，尤其是根部递减量不应取大。

当然，递减量大带来一个好处是因为径向收缩量大，使径向回弹大，对工件从冲子上退出会有些好处。

(2) 递减量小或为零：理论上讲，直径递减量为零是最理想的，因为这时冲子与工件将自动对中，壁厚差最小。但实际生产中是不可能的，两个冲子的制造公差和使用中的磨损都影响实际的递减量值，如果上道冲子制造和磨损得过小，则有可能在下道形成负值（直径递增），产生不良后果，故实际上应取较小的递减量为宜。

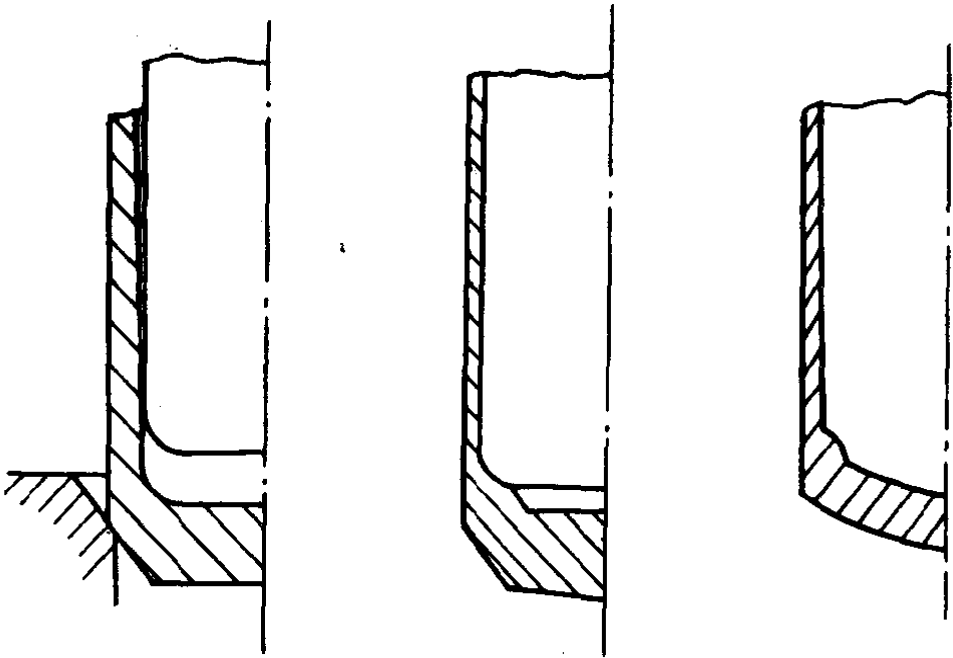


图 3-32 球形底与金属堆积

(3) 递减量为负：递减量为负，则冲子不能全部进入工件，引伸时工件应处在冲子给工件的作用力与

凹模给工件的作用力平衡的位置。由于底部是悬空的，在凹模锥角的作用下底部形成球形（引伸前底部是平面），在转角处有金属堆积（图 3-32）。这种堆积对引伸件会带来以下影响：

①增加了底部金属量。这种设计方法在板料冲孟法制造药筒时用来增加底部金属量、减薄板料厚度。因为厚底药筒需要厚度大的板料，由于药筒体部金属量不多，结果冲孟时直径收缩量很小，给冲孟带来了困难。为此必须减薄板料，或采用冲子不到底的方法来增加底部金属量。

②内底转角处金属得到强化。该处金属在引伸时几乎没有变形，而经多次退火后可能晶粒长大。这部分堆积的金属在压底时流向底缘，与无金属堆积时相比，增加了变形量，提高

了强度。

③可能会形成药筒内底转角处的皱折（详见本章十一节）。

因此，根部递减量应在不形成内底皱折条件下取越小越好，它的大小直接影响壁厚差。一般取  $0.1 \sim 0.6\text{mm}$ ，口径越小，递减量也小。口部递减量可以适当取大些，一般为  $1 \sim 3\text{mm}$ 。口部递减量大时，冲子斜度大，对工件从冲子上卸料有利。

口部递减量的含意，严格地说是指工件口部内径与冲子相应部位的双向（直径方向）间隙。设计时是用两个冲子口部直径之差来给定递减量的，由于两冲子口部直径的高度不在同一位置上，加之冲子都有斜度。因此有可能在口部产生负递减量的情况，使口部在引伸时扩径，甚至会胀破。为了避免此现象的产生，可在设计完冲子后，把各道引伸和冲（挤）孟的冲子尺寸中心线重合后画放大图，如果冲子外形上发生交叉，说明产生了负递减量，应予修改冲子尺寸（改变递减量，相应地改变凹模直径），尽量使各冲子的间隙均匀（图 3-33）。

图中的二引在开始时有间隙，但在引伸将结束时会产生口部扩径，应调整递减量。

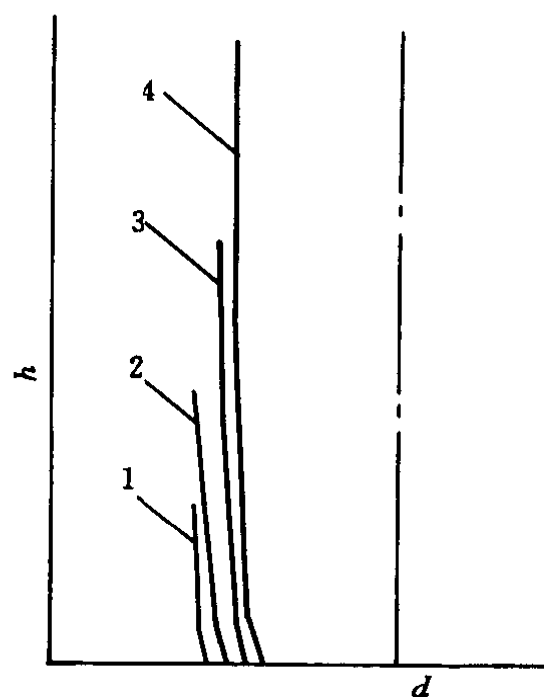


图 3-33 用冲子轮廓放大检查冲子直径递减量

#### 四、冲子圆角半径的确定

弹壳和药筒内底圆角半径在末引时已基本确定，压底时可能有少许变动。因此中间各道引伸冲的圆角半径对成品的尺寸和性能无直接影响。确定其尺寸时主要考虑到各道冲子能到达工件内底，且圆弧部间隙尽量均匀。

##### 1. 成品内转角处为一个圆弧时

枪弹弹壳和小口径炮弹药筒的内底转角为一个圆弧过渡的。对这种形状，冲子圆角半径设计时只要考虑到能进入工件内底即可。满足以下两条件时冲子即能到达工件内底。

第一，各道圆弧的上切点处都有一定的直径递减量。

第二，各道圆弧的下切点（与冲子端面的切点）逐道向内移。

根据此原理，各道圆弧的关系可以有以下三种情况：（图 3-34）。

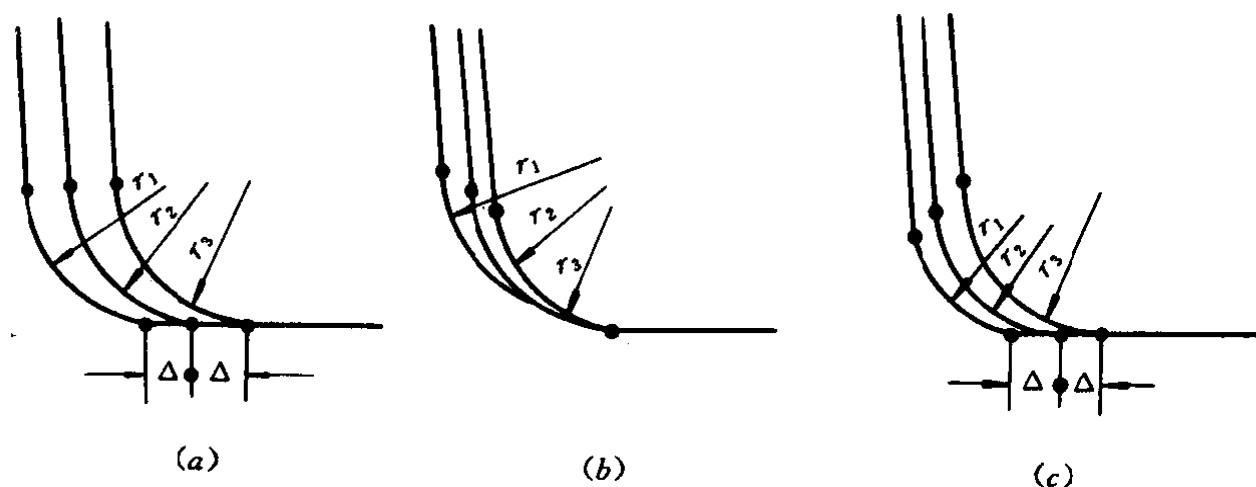


图 3-34 引伸冲  $r$  的配合

(a)  $r$  相等；(b)  $r$  递减；(c)  $r$  递增

(1) 各道  $r$  相等：即  $r_1 = r_2 = r_3$ 。由于上切点均有直径递减量  $\Delta$ ，故如果冲子斜度相同，则

冲子下切点也逐道向内（向中心线方向）移动  $\Delta$  值。

(2) 各道  $r$  逐道减小：即  $r_1 > r_2 > r_3$ 。因各道间尚有间隙，故下切点仍有可能内移（只要  $r$  递减量不大），但仍应计算或画放大图检查之。

(3) 各道  $r$  逐道增大：即  $r_1 < r_2 < r_3$ 。这时上切点上移，下切点内移。这种设计，目的是积累底部金属（引伸后底部球形很大），减薄板料的厚度。但球形大时在压底时会形成成品内转角处的皱折。

2. 成品内转角为两个圆弧时

大、中口径药筒的体至内底的过渡都是由大小两个圆弧实现的。其圆弧确定原则与上述相同，即冲子能到底和间隙均匀。

(1) 大圆弧确定：大圆弧确定方法有三种：各道（包括末前引） $R$  和  $h_q$ （ $R$  的上切点  $q$  到底端面高度）都相等、由末前引往前  $R$  和  $h_q$  逐渐减小、由末前二引（ $n-2$  次引伸）起改为只有一个小圆弧。常用的是第一种，其优点是设计简单。给出  $q$  点的直径递减量  $\Delta_q$  和  $h_q$ ，则  $q$  点位置已确定，冲子的斜角  $r$  也可确定。给出  $p$  点的直径递减量  $\Delta_p$  和  $h_p$ ，则  $p$  点位置确定。 $R$  是已知的，则  $R$  圆心的位置也可求出。

(2) 小圆弧确定： $r$  的确定有两种方法，即  $r$  相等和  $r$  往前递增。有  $\Delta_p$  存在，各道  $r$  取相等时可保证下切点内移，冲子能够到底。当取  $r$  往前递增时， $\Delta_p$  应取大些，否则会产生冲子不到底的可能。这种设计的优点是热挤孟冲的  $r$  大，有利于金属流动及提高冲子寿命。

表 3-10 列出几种药筒各道引伸的  $r$ 、 $R$ 、 $h_R$ （ $R$  的圆心高）、 $h_q$ 、 $\Delta_k$ （口部间隙）、 $\Delta_q$ 、 $\Delta_p$ 、 $\gamma$ （冲子斜角）。

表 3-10 几种药筒的冲子头部参数

| 口径<br>/mm | 引伸<br>次数 | $r$<br>/mm | $R$<br>/mm | $h_R$<br>/mm | $h_q$<br>/mm | $\Delta_k$ /mm |      | $c_q$<br>/mm | $c_p$<br>/mm | $\gamma$ | 注   |
|-----------|----------|------------|------------|--------------|--------------|----------------|------|--------------|--------------|----------|-----|
|           |          |            |            |              |              | 实际             | 名义   |              |              |          |     |
| 37        | 1        | 8          | —          | —            | —            | 0.48           | -1.0 | —            | 1.86         | 1°8'     | 冷挤孟 |
|           | 2        | 5          | 50         | 19           | 19           | 2.06           | 1.27 | 0.86         | 2.49         | 33'20"   |     |
|           | 3        | 5          | 50         | 19           | 19           | 1.51           | 0.93 | 0.15         | 0.15         | 11'      |     |
| 85        | 1        | 20         | —          | —            | —            | 6.66           | 4.18 | —            | 2.53         | 1°12'    | 热挤孟 |
|           | 2        | 15         | 41         | 22.31        | 22           | 3.14           | 1.5  | 0.28         | 1.57         | 26'      |     |
|           | 3        | 15         | 41         | 22.088       | 22           | 2.97           | 2.06 | 0.36         | 0.24         | 7'       |     |
| 152       | 1        | 12         | 300        | 50           | 46.251       | 4.28           | 4.25 | 0.41         | -0.16        | 43'      | 热挤孟 |
|           | 2        | 12         | 300        | 50           | 46.476       | 1.68           | 0.3  | 1.49         | 1.49         | 41'      |     |
|           | 3        | 12         | 300        | 50           | 47.479       | 2.44           | 0.18 | 1.14         | 1.14         | 29'      |     |
|           | 4        | 12         | 300        | 50           | 49.347       | 3.45           | 3.66 | 0.07         | 0.06         | 8'       |     |

五、凹模直径确定

凹模工作直径是根据口部加工率确定的，因此根部加工率就自然形成而不能有很大变化。根据口部直径递减量即可确定冲子口部直径，选定加工率后即可确定凹模工作尺寸（即引伸件外径）。

用逆推法由  $i+1$  次引伸推出  $i$  次引伸的凹模工作直径（ $i$  为任意引伸次数）可用下式：

$$D_i = \sqrt{d_{ki}^2 + \frac{D_{i+1}^2 - d_{ki+1}^2}{1 - K_{ki+1}}}$$

由正推法从  $i-1$  次引伸推至  $i$  次引伸, 凹模工作直径可用下式表示, 即

$$D_i = \sqrt{d_{ki}^2 + (1 - K_{ki})(D_{i-1}^2 - d_{ki-1}^2)}$$

式中  $d_{ki}$ ——第  $i$  道引伸冲子口部直径;  
 $d_{ki+1}$ 、 $d_{ki-1}$ ——第  $i+1$ 、 $i-1$  道冲子口部直径;  
 $K_{ki+1}$ 、 $K_{ki}$ ——第  $i+1$ 、 $i$  道引伸口部加工率;  
 $D_{i+1}$ 、 $D_{i-1}$ ——第  $i+1$ 、 $i-1$  道凹模工作直径。

六、凹模半锥角  $\alpha$  的选择

凹模半锥角  $\alpha$  是引伸凹模的重要参数, 它对引伸变形和凹模本身影响很多。因此不是能用计算确定的。

(1) 对引伸件强度的影响: 引伸凹模锥角使引伸件进入和离开变形区时产生两次剪切变形, 从而提高了工件的强度。前已推得半锥角对引伸应力的关系是:

$$\sigma_\alpha = 0.0087\alpha\sigma_s$$

如果把由于  $\alpha$  角引起的引伸应力  $\sigma_\alpha$ , 理解为引伸件的加工硬化引起的强度增量, 则上式即为每一度  $\alpha$  角可使引伸件强度增加  $0.0087\sigma_s$  ( $\sigma_s$  为变形区平均变形抗力)。

用四六黄铜药筒实测半锥角对产品强度极限的影响结果列于表 3-11。

表 3-11 半锥角  $\alpha$  对机械强度的影响

| 半锥角/(°) |                                               | 8       | 10  | 12      | 14  | 16      | 18      | 平均  |
|---------|-----------------------------------------------|---------|-----|---------|-----|---------|---------|-----|
| 药筒 1    | $\sigma_b/\text{MPa}$                         | 612~623 |     | 637~654 |     | 652~674 | 672~687 | 6.5 |
|         | $\Delta\sigma_b^*/\alpha/(\text{MPa}/^\circ)$ | —       |     | 7.0     |     | 4.4     | 8.3     |     |
| 药筒 2    | $\sigma_b/\text{MPa}$                         |         | 645 |         | 680 |         | 700     | 6.9 |
|         | $\Delta\sigma_b/\alpha/(\text{MPa}/^\circ)$   |         | —   |         | 8.8 |         | 5.0     |     |

\*  $\Delta\sigma_b/\alpha$  为每一度半模角增加的强度。

用理论公式 (2-26) 计算结果如下 (取  $A=669\text{MPa}$ ,  $n=0.37$ ,  $\epsilon=0.693$ , 即  $K=0.50$ ):

$$\begin{aligned}\sigma_b &\approx \sigma_s = A\epsilon^n = 669 \times 0.693^{0.37} = 584\text{MPa} \\ \sigma_\alpha &= 0.0087\alpha\sigma_b \\ \frac{\sigma_\alpha}{\alpha} &= 0.0087\sigma_b = 5.1\text{MPa}/^\circ\end{aligned}$$

试验表明,  $\alpha$  角对引伸件机械强度的影响还与引伸加工率有关, 加工率小时,  $\alpha$  角对  $\sigma_b$  的影响非常明显。随着加工率的增大,  $\alpha$  角对  $\sigma_b$  的影响减小。其试验结果如图 3-35 所示。

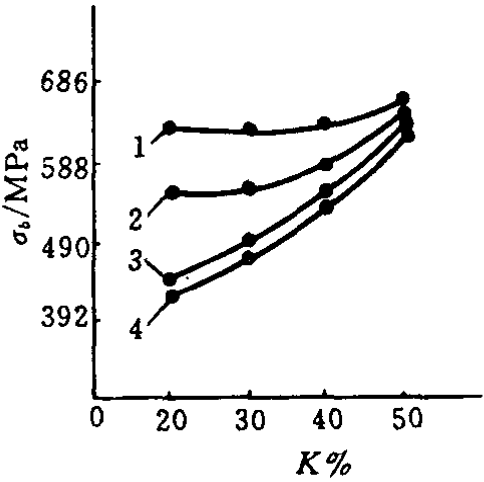


图 3-35  $\alpha$  角、加工率  $K$  与  $\sigma_b$  的关系

1.  $\alpha=30^\circ$ ; 2.  $\alpha=20^\circ$ ; 3.  $\alpha=14^\circ$ ; 4.  $\alpha=10^\circ$

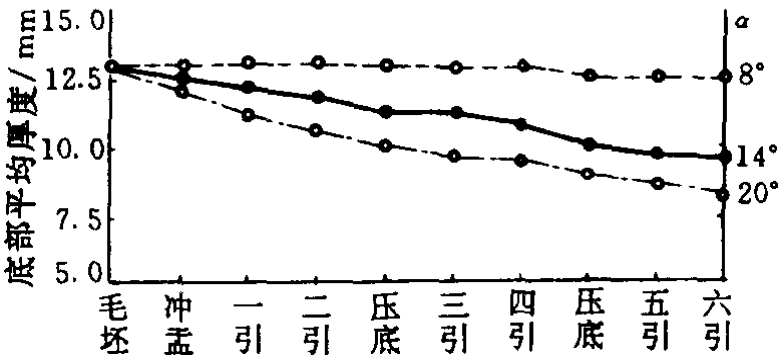


图 3-36  $\alpha$  角对药筒加工中底厚的影响

$\alpha$  角对  $\sigma_b$  影响只有在末引时才有意义,而对于中间各次引伸因不测定引伸后的强度,因此不属考虑因素之列。

(2) 对底厚的影响:板料冲孟时孟子底部受径向拉应力而减薄,对于相对厚度  $t/D$  大的冲孟,这种减薄更明显。变薄引伸时底部同样受壁部的拉应力而变薄。尤其是冲孟后底部成球形,引伸时冲子端面与孟子内底不接触,底部更易拉薄。

引伸一开始,底部直径缩小,这部分金属体积(图 3-25 中的  $\Delta V_{n-1}$ )一部分流向底部,一部分流向壁部。 $\alpha$  角越小,水平分力越大,流向底部的金属越多。冲孟的黄铜药筒引伸过程中底厚的变化见图 3-36。

(3) 对最大加工率的影响:当冲子与工件的摩擦系数  $\mu_2$  大于凹模与工件的摩擦系数  $\mu_1$  时,如果  $\alpha$  角减小,则变形区扩大, $\mu_2$  对降低引伸力有利影响扩大,允许的加工率可以提高。 $\mu_2 > \mu_1$  的情况一般发生在多模引伸的以后几个凹模中。

(4) 对凹模强度的影响: $\alpha$  角减小时引伸力的水平(径向)分力大,凹模易破裂。一、二次引伸件壁厚,引伸力大,故一般取大的  $\alpha$  角,而以后各次引伸的  $\alpha$  角可取小。

(5) 对凹模高度的影响:同样的壁变薄量(直径收缩量)时, $\alpha$  角减小则凹模锥形高度增加。锥形部高度  $h$  至少应为

$$h = \frac{D_1 - D_2}{2 \tan \alpha}$$

式中  $D_1$ ——引伸前工件直径;

$D_2$ ——引伸后工件直径。

$\alpha = 8^\circ$  时的  $h$  为  $\alpha = 18^\circ$  时的 2.3 倍。 $h$  增大则模具制造困难,冲床行程增加。所以多模引伸的  $\alpha$  角不能太小。

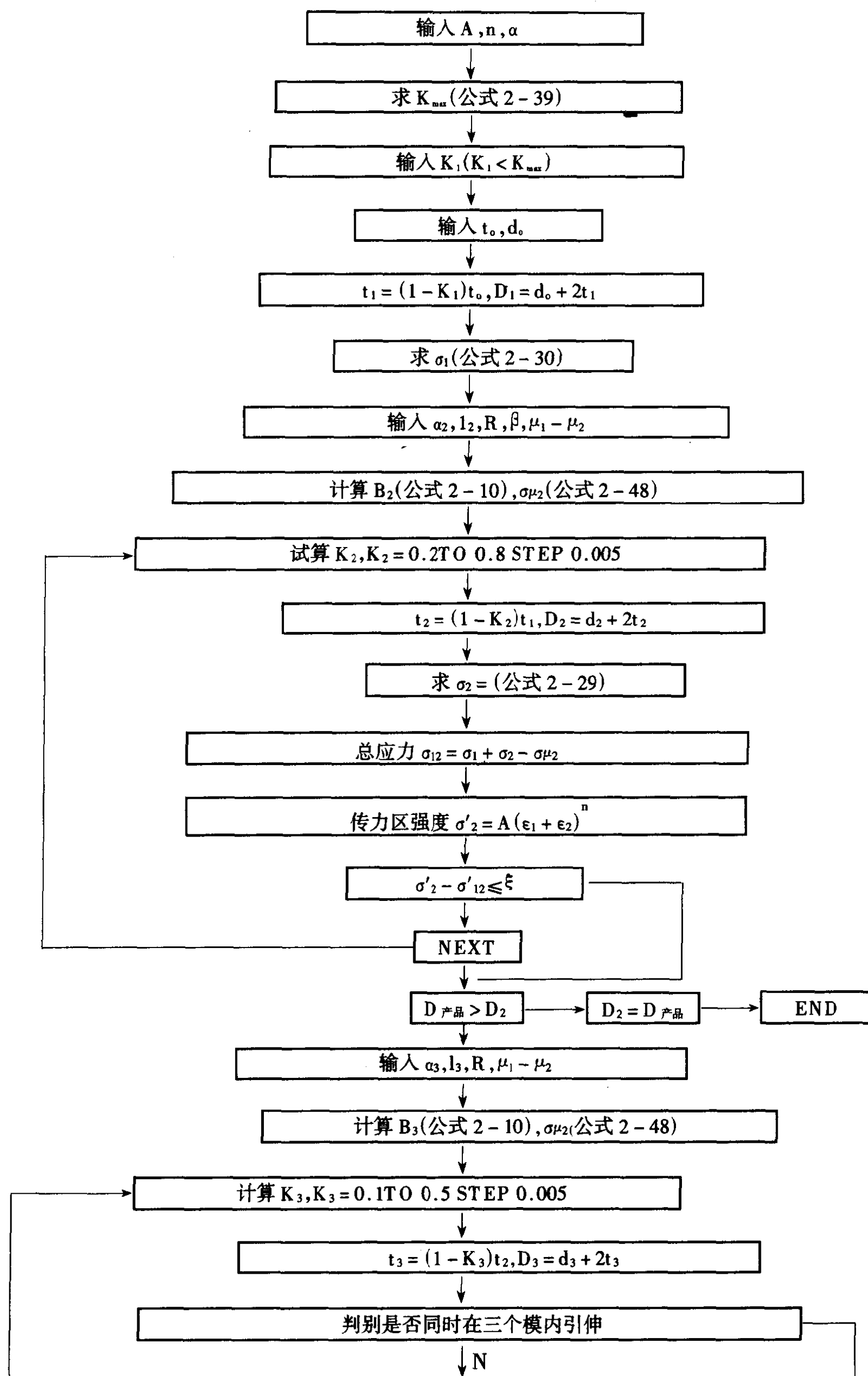
$\alpha$  角的影响因素较多,选择时要权衡利弊,药筒一般为  $18 \sim 8^\circ$

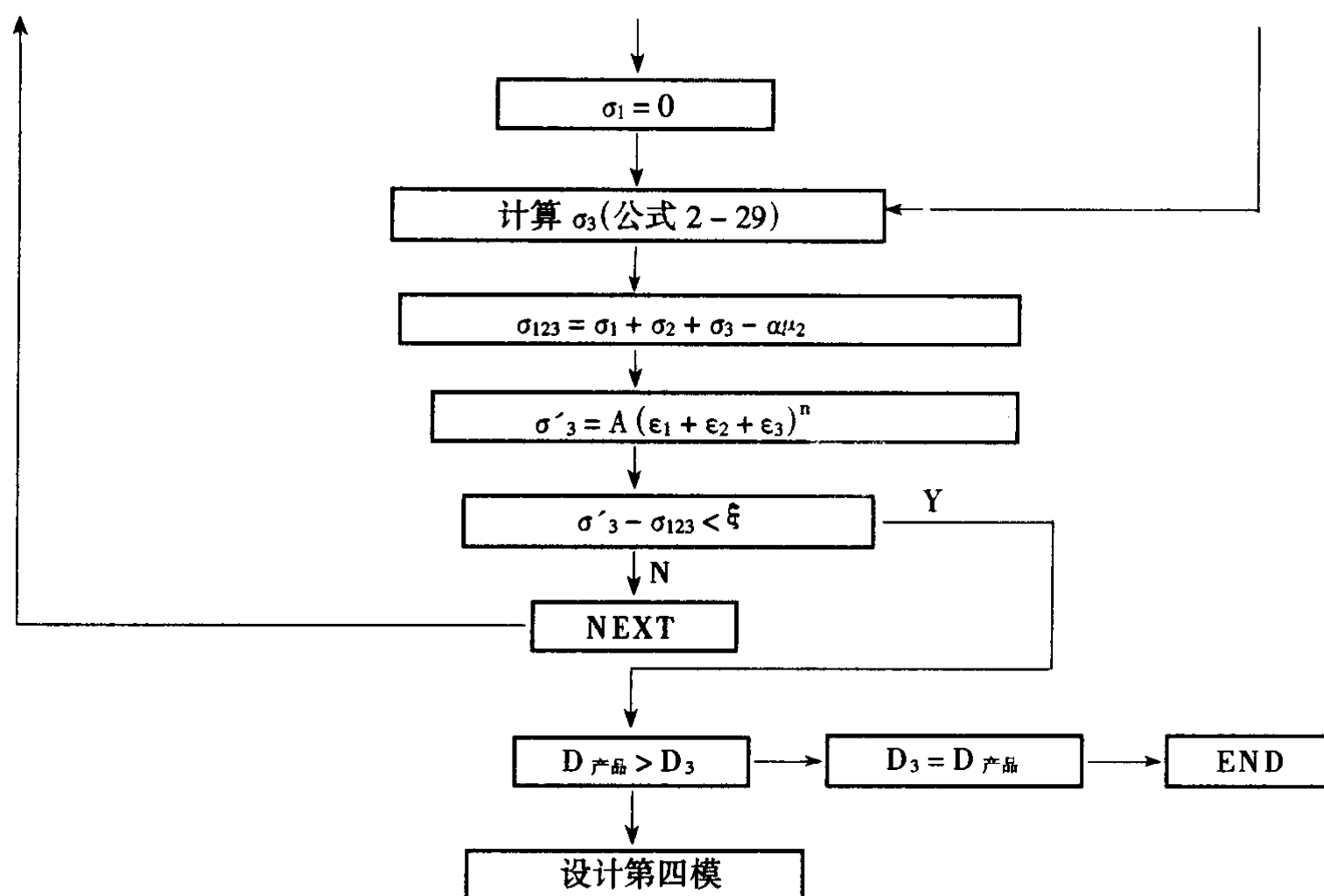
$\alpha$  角的选取规律一般是:口径大者取较大值,口径小者取较小值;前几次引伸取较大值,而末引取较小值;多模引伸的上模取较大值,下模取较小值。

### § 3.8 计算机辅助多模引伸模具设计

多模引伸模具设计主要是确定各个凹模的工作直径,当前都凭经验确定,即根据经验给出该多模引伸的总加工率,然后按百分比分配各凹模的加工率,用该凹模引伸的加工率来计算该凹模的工作直径。根据经验,双模引伸时上模的加工率约占总加工率的 70% 左右。三模引伸时上模取大值,中模次之,下模最小,或上、中模取相等的加工率而下模取小加工率。

上述设计方法虽然简单,但经验成分太多,显得有点心中无数。这里介绍一种用传力区(引伸后壁部)允许承载应力略大于引伸模出口处拉应力的原理设计多模引伸各凹模工作直径的方法。由于这个方法的计算工作量较大,故应采用计算机辅助设计,这样可以用极快的速度完成设计。其程序框图如下:





框图说明:

### 1. 第一凹模设计

前七行为确定第一凹模工作直径。先输入材料性能数据  $A$ ,  $n$  和凹模半锥角  $\alpha$ , 即可用公式 2-39 计算该模最大引伸加工率  $K_{\max}$ 。但是多模引伸时第一凹模不能取最大加工率, 否则第二模的加工率将很小, 使加工率分配不合理, 故应先选一个比  $K_{\max}$  小的  $K_1$  输入, 如  $K_1$  选得不合适, 则重选也是很方便的。

由于第一凹模引伸时工件内外的摩擦条件相同, 故用  $\mu_1 = \mu_2$  的条件计算  $K_{\max}$ 。给定  $K_1$  后即可求出引伸凹模的工作直径。然后用公式 (2-30) 计算第一凹模出口处的拉应力  $\sigma_1$ , 此  $\sigma_1$  在以后的第二凹模设计时有用。

### 2. 第二凹模设计

输入凸、凹模参数  $\alpha_2$ 、 $l_2$ 、 $R$  (凸模半径)、 $\beta$  和  $\mu_1 - \mu_2$ , 即可用公式 (2-10) 算出  $B_2$  (因为第二模引伸时会出现  $\mu_2 > \mu_1$  的情况), 用公式 (2-48) 算出凸模的附加摩擦压应力  $\sigma_{\mu_2}$ 。

为了计算第二凹模出口处的拉应力  $\sigma_2$  (公式 2-29), 必须知道引伸后的壁厚  $t_2$ , 因此用  $K_2$  进行试算, 即输入一个  $K_2$ , 得一个  $t_2$ , 即可求出第二凹模本身的引伸应力  $\sigma_2$ ,  $\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_{\mu_2}$  即为第二凹模出口处的总拉应力  $\sigma_{12}$ 。此拉应力  $\sigma_{12}$  应比传力区的强度 (能承受的拉应力)  $\sigma'_2$  小一个安全应力  $\xi$ 。 $\sigma'_2$  可用幂强化公式  $\sigma'_2 = A(\epsilon_1 + \epsilon_2)^n$  计算。 $K_2$  从 0.2 开始, 每增加 0.005 计算一次, 直到满足  $\sigma'_2 - \sigma_{12} < \xi$ 。

如果计算出的  $D_2$  小于产品的外径, 说明第二模的引伸已达到工件尺寸。此时取  $D_2$  等于工件外径, 模具设计完毕, 否则继续设计第三个凹模直径。

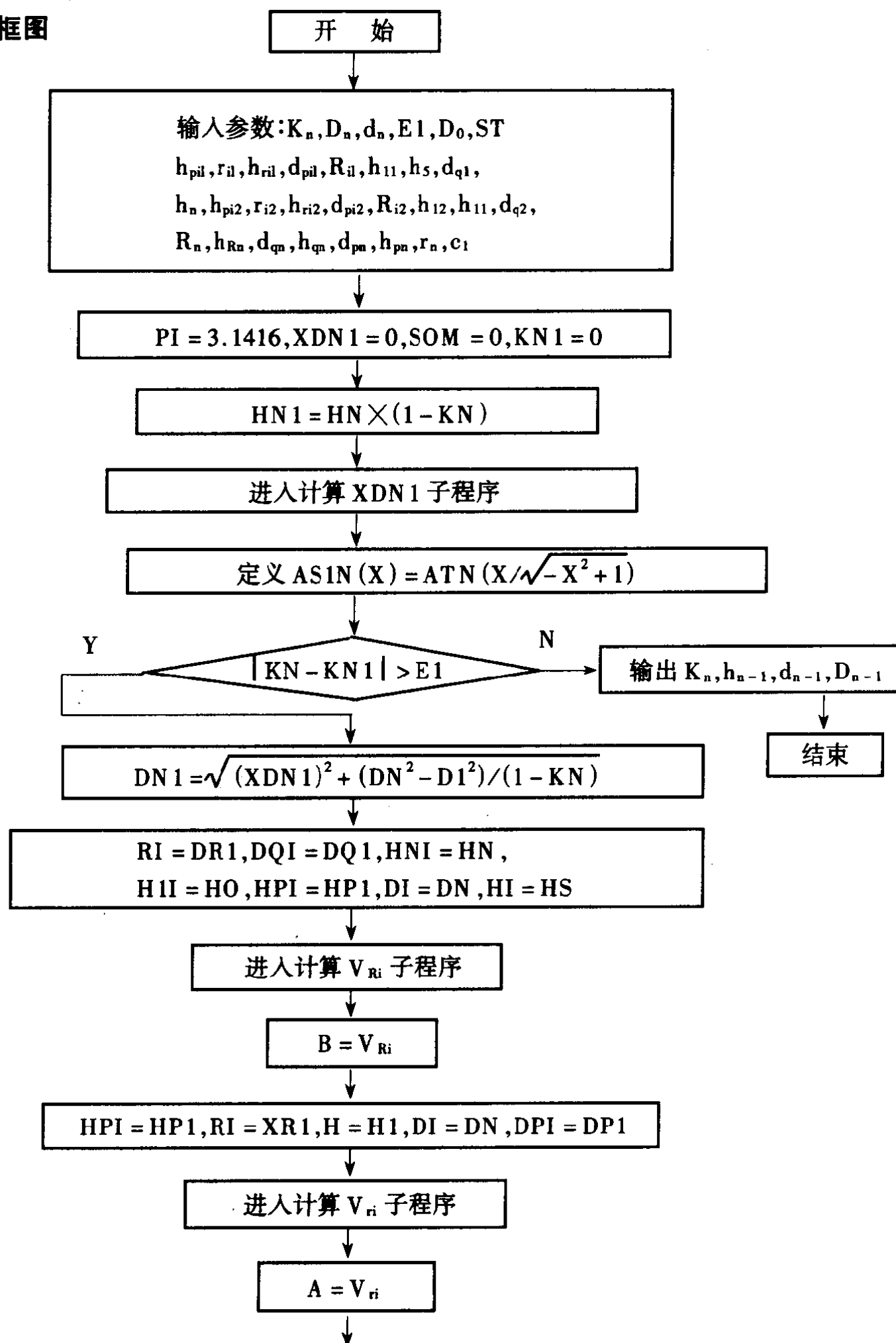
### 3. 第三凹模设计

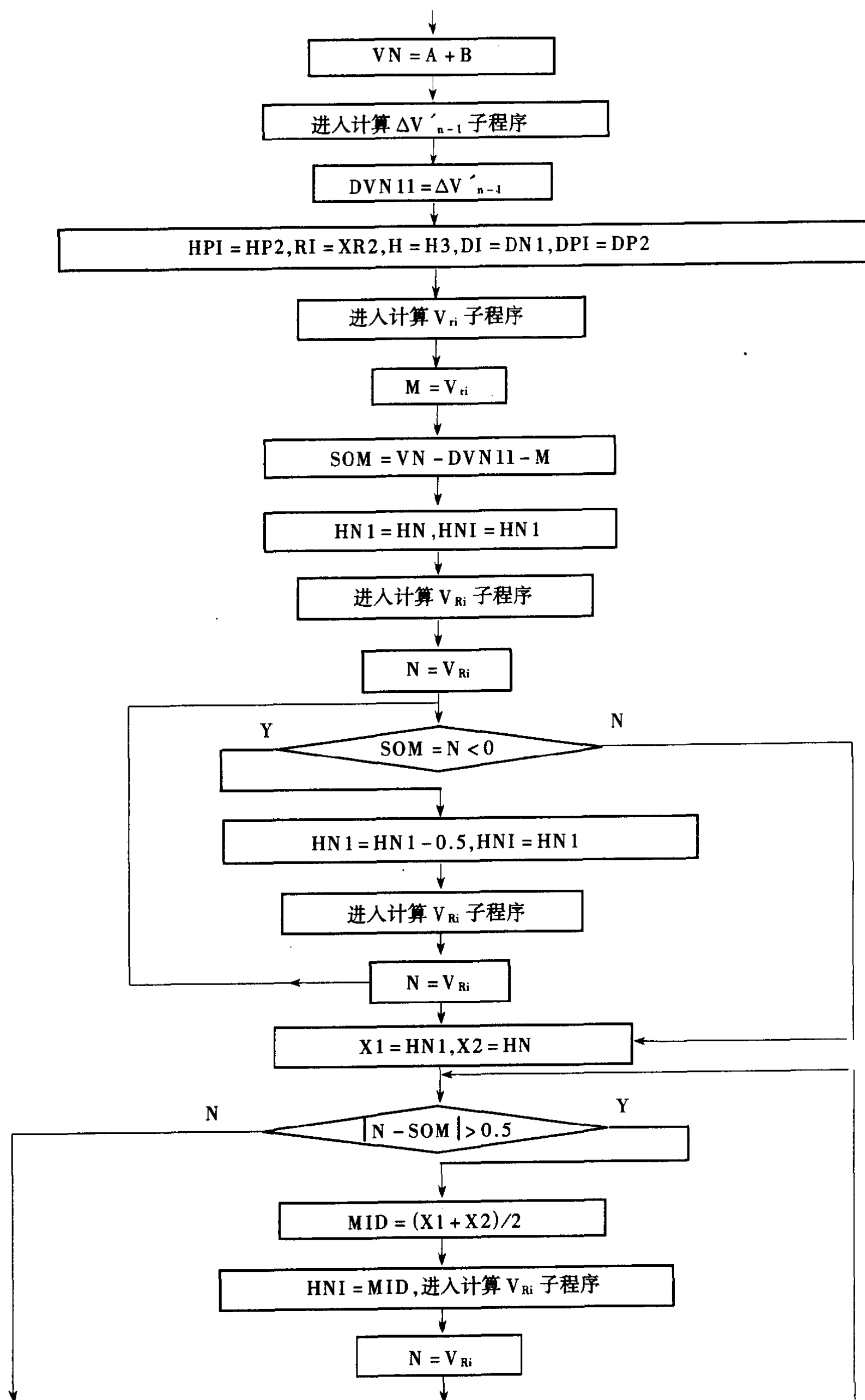
第三凹模设计与第二凹模设计相同, 只是在计算三个凹模的引伸总应力  $\sigma_{123}$  时应判别一下引伸是否还在第一凹模中进行, 即是三模同时引伸还是工件只在二、三模中引伸, 如果是后者, 则计算  $\sigma_{123}$  时取  $\sigma_1 = 0$ 。这个判别用体积不变条件是可以实现的。

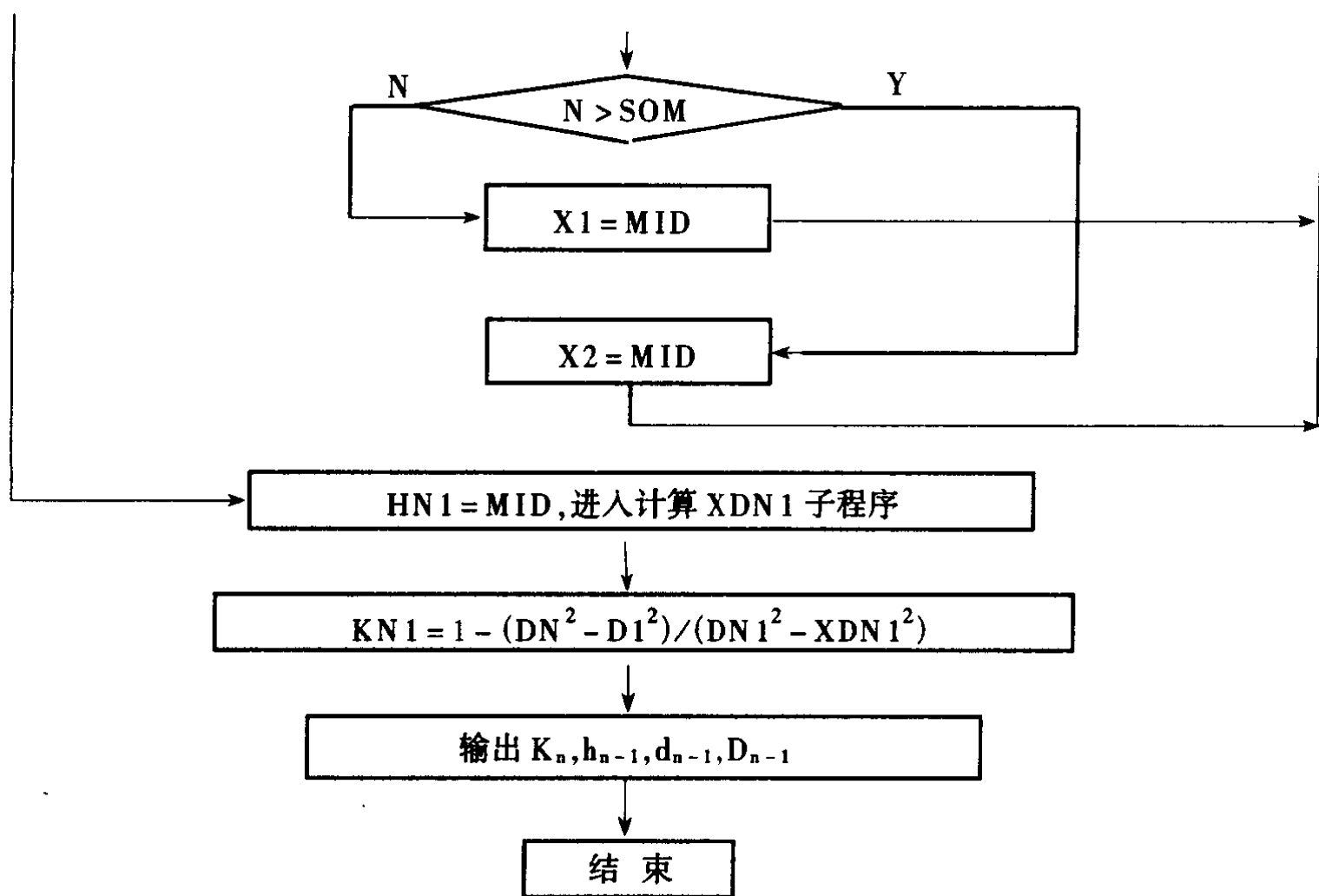
### § 3.9 计算机辅助药筒末前引模具设计

药筒末前引模具设计并不复杂,但如果手算可能要用几天的时间。麻烦的是要找到一个与  $h_n$  (产品图末区机械性能试样中心至内底平面的高度) 相适应的末前引的  $h_{n-1}$ , 使  $h_{n-1}$  处的金属经过末引后正好到达  $h_n$  位置。虽可用体积不变条件来计算,但由于该处是由两个圆弧围成的体积,计算繁杂,有时需用试算方法求解,这就极大地增加了计算工作量和出错的可能性。利用计算机辅助设计可以用极短的时间(一般只需十几分钟)完成设计。如果对设计不满意,重新设计一次也极为方便。

#### 一、主程序框图

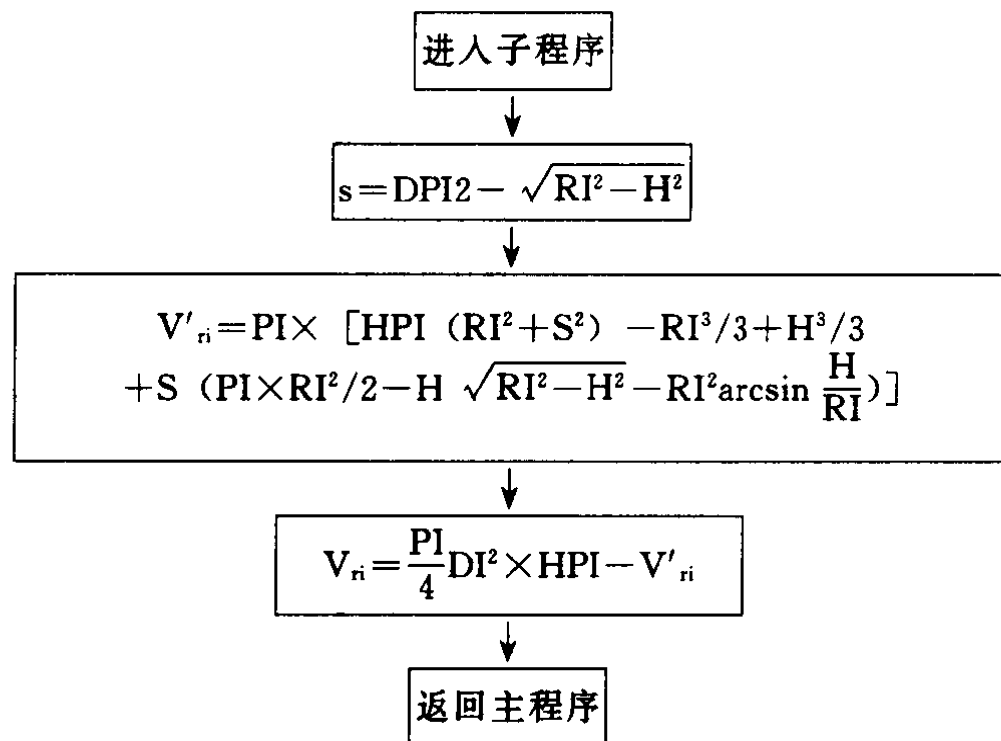




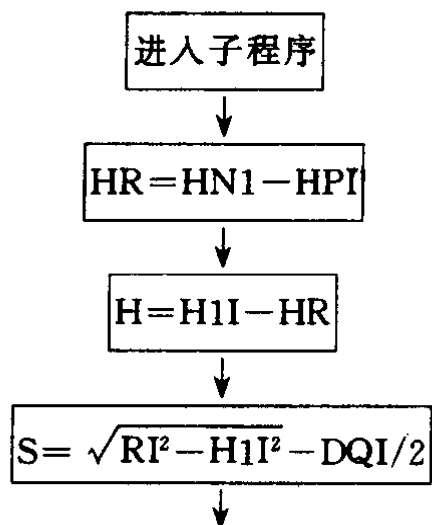


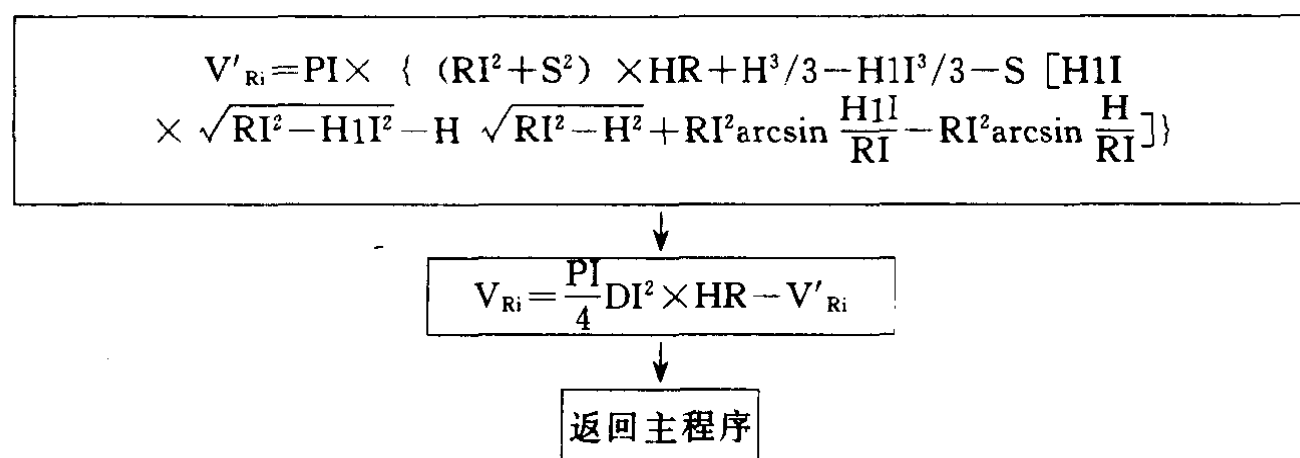
## 二、子程序框图

### 1. 计算半制品小圆弧段体积 $V_{ri}$ 子程序框图

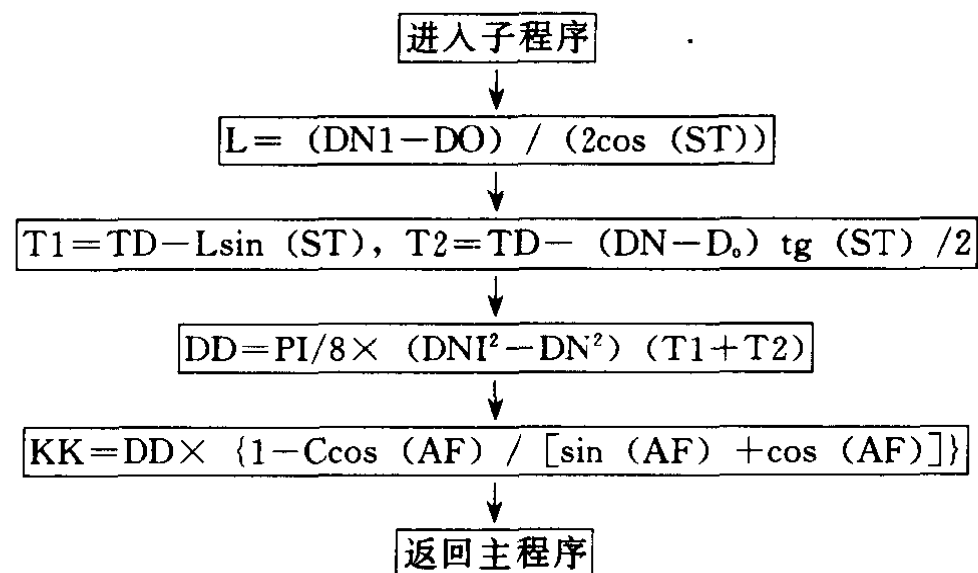


### 2. 计算半制品大圆弧段体积 $V_{Ri}$ 子程序框图

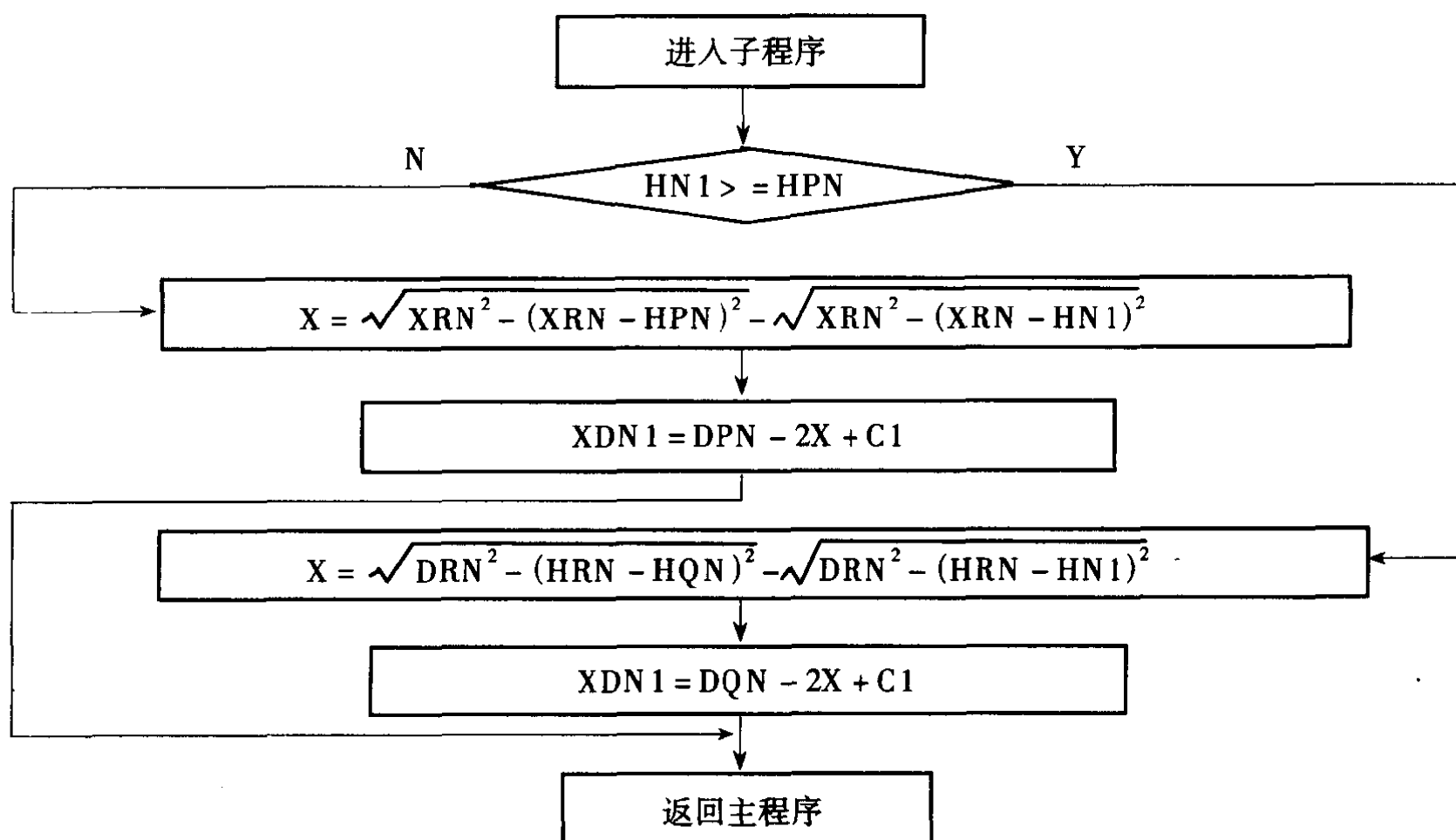




### 3. 计算 $\Delta V'_{n-1}$ 子程序框图



### 4. 计算 $d'_{n-1}$ 子程序



## 三、程序变量名称及含义

程序中的变量名尽量与计算公式中的符号一致, 对计算公式中的符号含义不再作说明。实例中的数据是 152 毫米钢药筒数据。

### 1. 输入参数部分

| 变量名 | 算例数值         | 参数名称及含义                                  |
|-----|--------------|------------------------------------------|
| KN  | 0.51         | $K_n$                                    |
| DN  | 161.55       | $D_n$                                    |
| D1  | 154.139      | $d_n$                                    |
| D2  | 152.017      | $d'_{n-1}$                               |
| E1  | 0.0001       | $\epsilon 1$ (确定计算精度的任意小数)               |
| DO  | 158.55       | $D_o$                                    |
| ST  | 0.7854 (rad) | $\theta$                                 |
| TD  | 15.5         | $t_d$                                    |
| C   | 0.55         | $C$ (确定 $\Delta V'_{n-1}$ 的系数)           |
| AF  | 0.2618 (rad) | $\alpha$                                 |
| HP1 | 10.417       | $h_{pil} (h_{pn})$                       |
| XR1 | 12           | $r_{il} (r_n)$                           |
| H1  | 1.583        | $h_{rn}$                                 |
| DP1 | 151.513      | $d_{pil} (d_{pn})$                       |
| DR1 | 300          | $R_{il} (R_n)$                           |
| HO  | 39.583       | $h_1$ (见图 3-29)                          |
| H5  | 0.653        | $h$ (由于冲子体部锥度引起的 $R$ 圆心与切点的高度差, 见图 3-29) |
| DQ1 | 156.757      | $d_{q1} (d_{qn})$                        |
| HN  | 22           | $h_n$                                    |
| HP2 | 10.417       | $h_{pi2} (h_{pn-1})$                     |
| XR2 | 12           | $r_{i2} (r_{n-1})$                       |
| H3  | 1.583        | $h_{rn}$                                 |
| DP2 | 151.574      | $d_{pi2} (d_{pn-1})$                     |
| DR2 | 300          | $R_{i2} (R_{n-1})$                       |
| H6  | 39.583       |                                          |
| H7  | 2.521        | 由于末前引冲体部锥度引起的 $R$ 圆心与切点高度差               |

|     |         |                     |
|-----|---------|---------------------|
| DQ2 | 156.789 | $d_{q2} (d_{qn-1})$ |
| DRN | 300     | $R_n$               |
| DQN | 156.757 | $d_{qn}$            |
| HRN | 50      | $h_{Rn}$            |
| HQN | 49.347  | $h_{qn}$            |
| DPN | 151.513 | $d_{pn}$            |
| HPN | 10.417  | $h_{pn}$            |
| XRN | 12      | $r_n$               |
| C1  | 0.4     | $c_1$ (直径递减量)       |

## 2. 过程变量及输出变量

| 变量名   | 含 义                                        |
|-------|--------------------------------------------|
| XDN1  | $d'_{n-1}$                                 |
| KN1   | $K'_n$                                     |
| DN1   | $D'_{n-1}$                                 |
| A     | 末引半制品 $r$ 部分的体积 $V_{ri}$                   |
| B     | 末引半制品 $R$ 部分的体积 $V_{Ri}$                   |
| VN    | 末引半制品 $R$ 、 $r$ 部分的体积之和 $V_n$              |
| DVN11 | $\Delta V'_{n-1}$                          |
| M     | 末前引半制品 $r$ 部分体积 $V_{ri}$                   |
| SOM   | $V_n - \Delta V'_{n-1} - \Delta V_{rin-1}$ |
| HN1   | 求解中的 $h_{n-1}$                             |
| X     |                                            |
| L     | 末前引半制品底锥处斜面长度                              |
| T1    | 末前引半制品内底面到外径处的厚度                           |
| T2    | 末前引半制品内底面到 $D_n$ 处的厚度                      |
| DD    | $\Delta V_{n-1}$                           |
| KK    | $\Delta V'_{n-1}$                          |
| S     | $R$ 圆心至药筒中心线的径向距离                          |

#### 四、计算机程序

用 BASIC 语言编制的末前引模具设计程序如下:

```
5 PRINT TAB (35); "INPUT DATAS"
10 INPUT "Kn, Dn, dn, E1="; KN, DN, D1, E1
20 INPUT "DO, ST, td, c, AF="; DO, ST, TD, C, AF
30 INPUT "hpi1, ril, hrl, dril, Ril="; HP1, XR1, H1, DP1, DR1
40 INPUT "h11, h5, dq1, hn="; HO, H5, DQ1, HN
50 INPUT "hpi2, ri2, hr2, dpi2="; HP2, XR2, H3, DP2
60 INPUT "Ri2, h12, h7, dq2="; DR2, H6, H7, DQ2
70 INPUT "Rn, hRn, dqn, hqn="; DRN, HRN, DQN, HQN
80 INPUT "dpn, hpn, rn, c1="; DPN, HPN, XRN, C1
90 PI=3.1416 : SOM=0! : KN1=0!
92 DEF FNASIN (X) =ATN (X/SQR (1-X^ 2))
93 HN1=HN * (1-KN) : GOSUB 4000
95 WHILE ABS (KN-KN1) >E1
100 DN1=SQR (XDN1 * XDN1+ (DN * DN-D1 * D1) / (1-KN))
110 HPI=HP1 : RI=XR1 : H=H1 : DI=DN : DPI : =DP1
120 GOSUB 1000
130 A=ARI
140 RI=DR1 : DQI=DQ1 : HNI=H1 : H1I=HO : HPI=HP1 : DI=DN : HI=H5
150 GOSUB 2000
160 B=VRI
170 VN=A+B
180 GOSUB 3000
190 DVN11=KK
200 DPI=DP2 : RI=XR2 : H=H3 : DI=DNI : DPI=DP2
210 GOSUB 1000
220 M=VRI
230 SOM=VN-DVN11-M
240 HN1=HN
250 RI=DR2 : DQI=DQ2 : HNI=HN1 : H1I=H6 : HPI=HP2 : DI=DN1 : HI=H7
260 GOSUB 2000
265 N=VRI
270 WHILE SOM-N<0!
280 HN1=HN1-0.5 : HNI=HN1
290 GOSUB 2000
295 N=VRI
300 WEND
310 X1=HN1 : X2=HN
```

```

315  WHILE ABS (N-SOM) >0.5
320  MID= (X1+X2) /2
330  HN1=MID
340  GOSUB 2000
350  N=VRI
380  IF N>SOM THEN 400
390  X1=MID : GOTO 315
400  X2=MID
410  WEND
420  HN1=MID
421  GOSUB 4000
490  KN1=1- (DN * DN-D1 * D1) / (DN1 * DN1-XDN1 * XDN1)
500  WEND
505  PRINT
510  PRINT
515  PRINT
520  PRINT TAB (37); "RESULT"
525  PRINT
530  PRINT TAB (29); " * * * * * "
535  PRINT
540  PRINT TAB (33); "KN'="; KN1
550  PRINT TAB (33); "Hn-1="; HN1
560  PRINT TAB (33); "dn-1="; XDN1
570  PRINT TAB (33); "Dn-1="; DN1
575  PRINT TAB (29); " * * * * * "
580  END

1000  S=DPI/2-SQR (RI * RI-H * H)
1010  VR1=PI * (HPI * (RI×RI+S * S) -RI * RI * RI/3+H * H * H/3+S * (PI/2×
      RI * RI-H * SQR (RI * RI-H * H) -RI * RI * FNAS1N (H/RI)))
1020  VRI=PI/4 * DI * DI * HPI-VR1
1030  RETURN
2000  HR=HN1-HPI
2010  H=H1I-HR
2020  S=SQR (RI * RI-HI * HI) -DQI/2
2026  F1=FNASIN (H1I/RI) : F2=FNASIN (H/RI)
2030  VR1=PI * ((RI * RI+S * S) * HR+H * H * H/3-H1I * H1I * H1I/3-S * (H1I *
      SQR (RI * RI-H1I * H1I) -H * SQR (RI * RI-H * H) +RI * RI * F1-RI * RI *
      F2))
2040  VRI=PI/4 * DI * DI * HR-VR1

```

```

2050 RETURN
3000 L = (DN1-DO) / (2 * COS (ST))
3010 T1=TD-L * SIN (ST)
3020 T2=TD- (DN-DO) * TAN (ST) /2
3030 DD=PI/8 * (DN1 * DN1-DN * DN) * (T1+T2)
3040 KK=DD * (1-C * COS (AF) / (SIN (AF) +COS (AF)))
3050 RETURN
4000 IF HN1>=HPN THEN 4030
4010 X=SQR (XRN * XRN- (XRN-HPN) * (XRN-HPN)) -SQR (XRN * XRN-
      (XRN-HX1) * (XRN-HN1) * (XRN-HN1))
4020 XDN1=DPN-2 * X+X1 : GOTO 4050
4030 X=SQR (DRN * DRN- (HRN-HQN)) -SQR (DRN * DRN- (HRN-HN1) *
      (HRN-HN1))
4040 XDN1=DQN-2 * X+C1
4050 RETURN

```

## 五、运行结果

### INPUT DATAS

Kn, Dn, dn, E1=? 0.51, 161.55, 154.139, 0.0001  
 DO, ST, td, c, AF=? 158.55, 0.7854, 15.5, 0.55, 0.2618  
 hpil, ril, hrl, dpil, Ril=? 10.417, 12.0, 1.583, 151.513, 300.0  
 h11, h5, dq1, hn=? 39.583, 0.653, 156.757, 22.0  
 hpi2, ri2, hr2, dpi2=? 10.417, 12.0, 1.583, 151.574  
 Ri2, h12, h7, dq2=? 300.0, 39.583, 2.521, 156.789  
 Rn, hRn, dqn, hgn=? 300.0, 50.0, 156.757, 49.347  
 dpn, hpn, rn, cl=? 151.513, 10.417, 12.0, 0.4

### RESULT

\*\*\*\*\*

KN'=0.509945

Hn-1=10.55159

dn-1=151.9486

Dn-1=166.9205

\*\*\*\*\*

## § 3.10 弹壳的打凹与平底

### 一、打凹与平底工序的作用

打凹、平底是弹壳底部成型的两个工序。经引伸后的半制品体部基本达到弹壳体部的壁厚和强度，经打凹、平底后底部应达到弹壳要求的形状、尺寸和机械强度。打凹、平底工序

直接影响枪弹的发火性能，如底火漏烟、底火击穿等。

### 1. 平底工序的作用

平底是最终形成弹底部尺寸和机构性能的工序，具体地说，它确定了以下尺寸：

- (1) 底火室尺寸：底火室的直径、深度、外圆角、内圆角；
- (2) 底火台尺寸：底火台直径、底火台深度（火台端面至弹壳底平面的距离）；
- (3) 底部外缘直径（对无凸缘弹壳）或凸缘尺寸（对带凸缘弹壳）；
- (4) 弹壳体下部内转角处的直径和圆角半径；
- (5) 隔板（传火孔壁）厚度；
- (6) 弹壳外径、底火室及火台的同心度；
- (7) 在弹壳底面或凸缘上压制生产厂的代号及年份。

### 2. 打凹工序的作用

打凹是预成型工序，是为平底工序的金属流动创造条件的，因此它不直接决定弹壳底部尺寸。但经过打凹和平底的“搅拌”作用，底部强度提高。实践证明，不经打凹而直接平底制得的弹壳，其底部强度低于经打凹后平底的弹壳。弹壳底部形状决定了压底工序金属的总流动量（即压底的应变量）。

### 3. 打凹工序的安排

传统的工艺顺序是把打凹安排在末引之后，即末引、切口、打凹、压底。这种方法的优点是尺寸精度较好。

为了减少工序，已研制成引伸与打凹合并的组合模具，即在引伸终了时在底部打凹（见图 3-38）。这样节省了一台机床和相应的人员、厂房。缺点是模具调整较复杂。另外，打凹时小冲内不能有油或肥皂水。而引伸和打凹合并时工件底部有引伸时润滑用的肥皂液，使打凹后火台深度的一致难以掌握。为了清除肥皂液的影响，可在打凹小冲窝内钻一个 0.3mm 的小孔，以排出肥皂液。

打凹工序可以与末引组合，也可以与末前引组合。如果与末前引组合，则工艺顺序应是末前引兼打凹、末引、平底。

## 二、模具结构

### 1. 平底模具

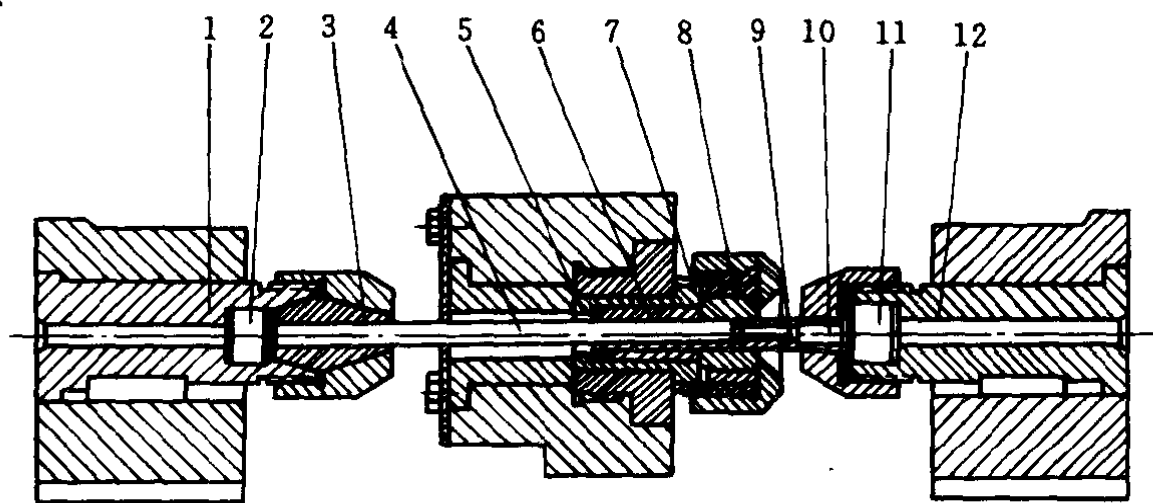


图 3-37 平底模具

1. 大冲座；2. 大冲垫；3. 夹冲卡子；4. 大冲；5. 套管；6. 导管；  
7. 半制品；8. 平底凹模；9. 字母模；10. 小冲；11. 小冲垫；12. 小冲座

平底工序的模具结构见图 3-37。确定内底尺寸的大冲 4，确定底火室和火台的小冲 10 及

打印工厂代号和生产年份的字母模 9 分别通过冲座 1 和 12 固定在专用机床的两个滑块上。工件由大冲推入平底凹模 8，右滑块带着小冲 10 和字母模 9 左移，在平底凹模内精压成形。大冲返回（左移）时工件 7 留在凹模内，当大冲将下一个工件通过套管 5 和导管 6 进入平底凹模 8 时，下一个工件的底面推上一个工件的口部，把工件顶出。

由模具结构可知，径向尺寸完全由冲子和凹模尺寸确定，而隔板厚度、底火室深度、火台深度、底厚等则由机床调整或改变冲垫 2、11 的厚度来实现，同心度不合时，则调整模座的位置。平底工序要确定的成品尺寸很多，冲子和模子也多，检验量具也多，是一道操作复杂的冲压工序。

打凹工序如单独进行，则其模具结构也与平底相同，只是没有字母模。

引伸和打凹同时进行的模具结构见图 3-38，是在卧式冲床上进行的。引伸冲 8 将工件推入凹模，作多模引伸，引伸完毕时工件底部与打凹小冲 4 接触，打凹小冲后退到模垫 3 与台阶接触为止，工件底部进入打凹凹模 5 并在底部打凹成形。打凹结束后大冲 8 上行，被压缩的弹簧通过顶杆 2 把工件推出凹模，大冲带着打凹的工件右移，在经过退料卡 6 时工件被退料卡从冲子上刮下。

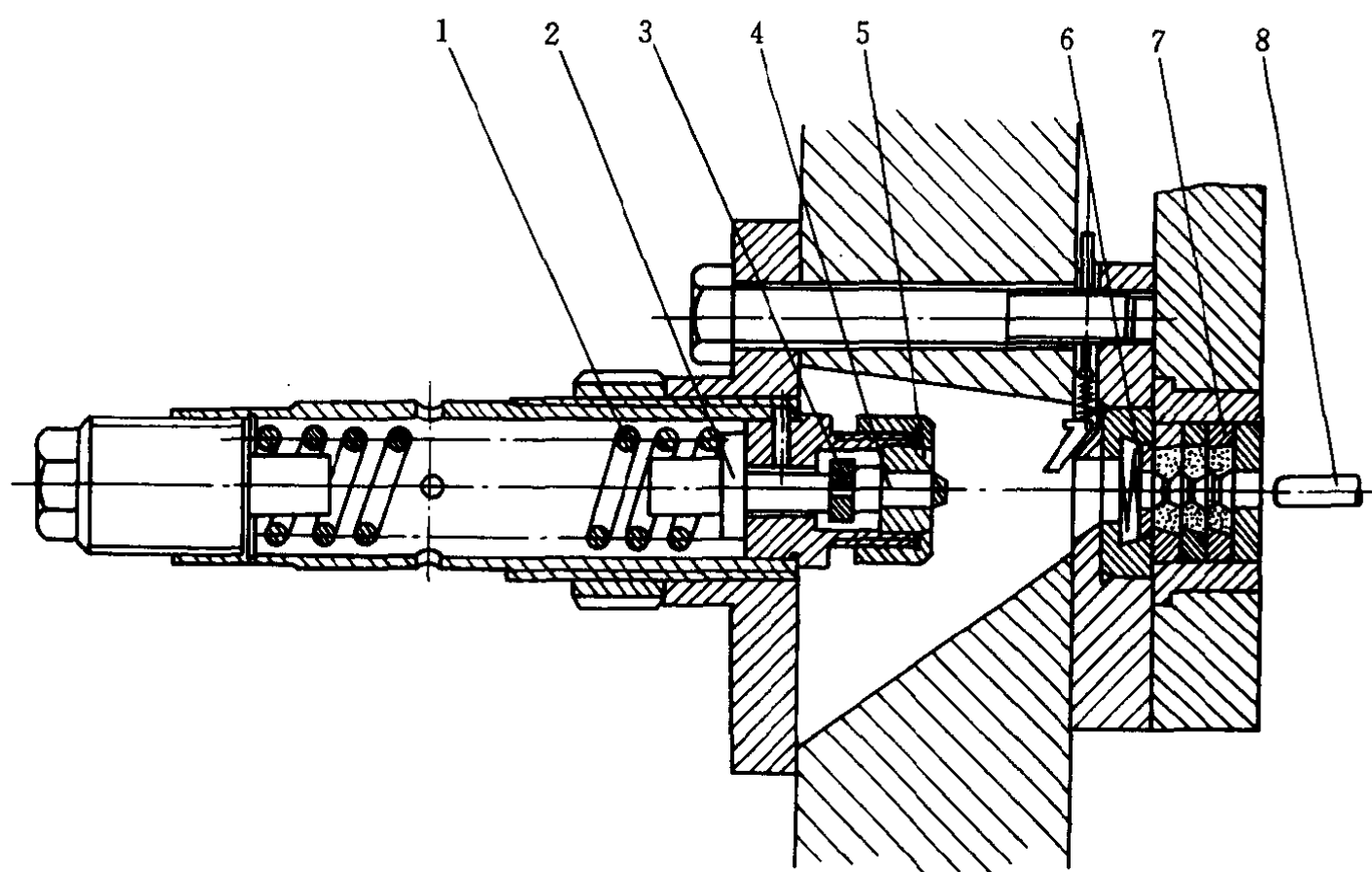


图 3-38 引伸—打凹组合模具

1. 弹簧；2. 顶杆；3. 模垫；4. 打凹小冲；5. 打凹凹模；6. 退料卡；7. 引伸凹模；8. 引伸（兼打凹）大冲

### 三、工具形状及其工作尺寸确定

#### 1. 平底凹模

对于平底凹模应该要求它在工件进入凹模时容易，平底后大冲返回时工件又不跟大冲出模，推料时工件易于被退出，但小冲返回时工件又不被小冲带出。为此平底凹模设计的思路是平底前工件与凹模间有间隙（便于进入），平底后工件底部胀大，与凹模成盈配合（防止工件被大冲带出凹模）。

为此，平底凹模的工作部分设计有多种形状（图 3-39）。(a) 为圆筒形，其优点是制造简单。(b) 为带斜度的内形，其大端在小冲方向，这样平底完后制品成倒锥，不能随大冲退出，而退料时因是顺锥，故较易退出，当然锥度过大，则可能跟小冲退出。图 (c) 为两端都有斜

度的内形，目的是一端磨损后换个方向仍可使用。图(d)为口部有较大的导角，目的是减小字母模的磨损。

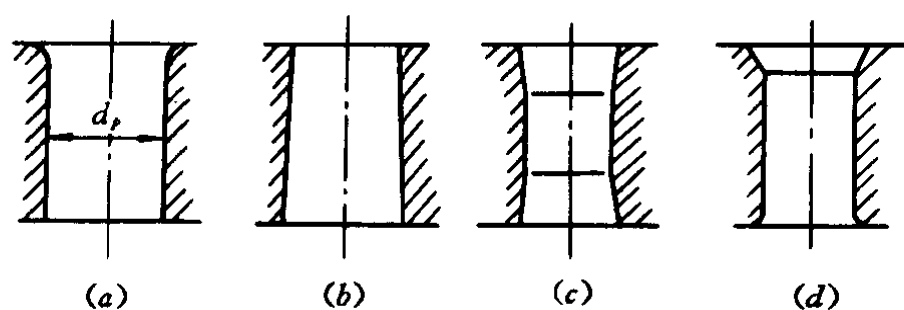


图 3-39 平底凹模的内形

(a) 圆筒形；(b) 带斜度的；(c) 带两个斜度的；(d) 口部带大导角的

平底凹模工作直径  $d_p$  可按下式确定：

$$d_p = d_d - \Delta d_d - \Delta \quad (3-48)$$

式中  $d_p$  ——平底凹模内径工作尺寸；

$d_d$  ——弹壳产品图底部名义直径；

$\Delta d_d$  ——弹壳产品图底部直径公差；

$\Delta$  ——平底时凹模的膨胀量及制品出模后的回弹量， $\Delta = 0.04 \sim 0.07 \text{mm}$ ，大口径取大值。

凹模工作部分的锥度为  $0.002 \sim 0.005$ 。

## 2. 打凹凹模

打凹凹模工作直径应比平底凹模工作直径略小，以便打凹后的工件进入平底凹模时有一定的间隙。因此可按下式确定：

(1) 打凹、平底工序相继进行时，有

$$d_a = d_p \cdot k \quad (3-49)$$

(2) 打凹后引伸，再平底时，有

$$d_a = d_{n-1} + \Delta \quad (3-50)$$

式中  $d_a$  ——打凹凹模工作直径；

$d_p$  ——平底凹模工作直径；

$k$  ——直径缩小系数， $0.985 \sim 0.993$ ；

$d_{n-1}$  ——末前引凹模工作直径；

$\Delta$  ——为使制品进入凹模的直径增大量， $0.03 \sim 0.05 \text{mm}$ 。

## 3. 平底小冲

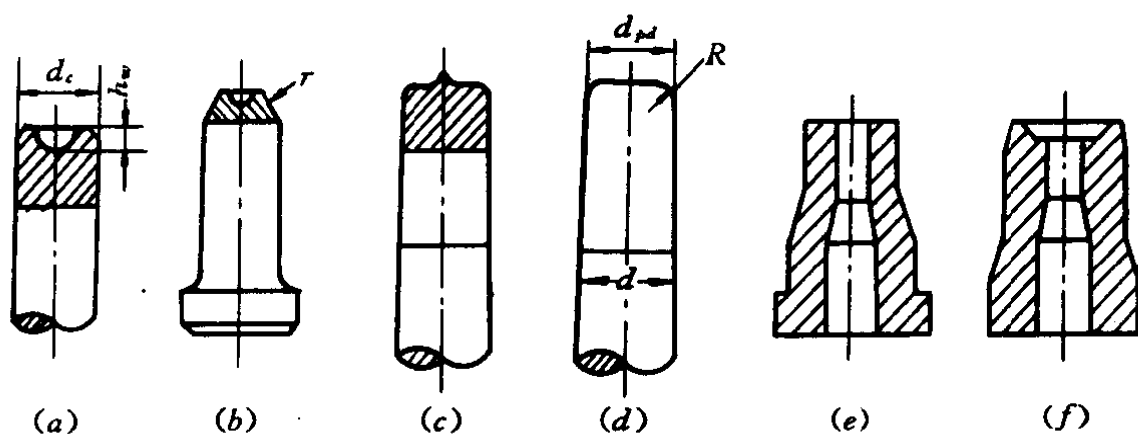


图 3-40 打凹、平底小冲、大冲及字母模

(a) 平底小冲；(b) 打凹小冲；(c) (d) 大冲；(e) 无底缘弹壳字母模；(f) 带底缘弹壳的字母模

平底小冲形状见图 3-40 (a)。其主要工作尺寸的确定方法如下：

(1) 平底小冲直径  $d_c$ ：它确定了底火室直径，应取底火室直径的最大值，并考虑到压出底火室后的回弹。设计打凹和平底小冲时应使打凹小冲的外径大于平底小冲，以便平底小冲易于进入打凹工件内，在平底时字母模镦压弹壳底平面，使金属内流，充满间隙（图 3-41）。由于平底时底火室附近的金属是由外向中心流动，因此成形后底火室直径扩大，即回弹方向为由中心向外。所以平底小冲直径可按式确定：

$$d_c = d_{sh} + \Delta d_{sh} - \Delta \quad (3-51)$$

式中  $d_{sh}$ ——底火室名义尺寸；

$\Delta d_{sh}$ ——底火室直径公差；

$\Delta$ ——成形后底火室的回弹量（0~0.025mm）。

(2) 火台窝深度  $h_w$ ：

$$h_w = h_{sh} - h_t + (0.5 \sim 1) \Delta h_t \quad (3-52)$$

式中  $h_w$ ——平底小冲火台窝深度；

$h_{sh}$ ——弹壳底火室深度；

$h_t$ ——产品图火台深度；

$\Delta h_t$ ——产品图火台深度公差。

(3) 火台窝半径  $r$ ，小冲圆角均取与产品图相同的尺寸。

#### 4. 打凹小冲

小冲设计全凭经验。打凹小冲与平底小冲的理想配合关系如图 3-41 所示。即打凹小冲有一斜度，并以圆角过渡，口部直径大于平底小冲直径，下部则小于平底小冲直径。火台尺寸间的关系有两种，即打凹时压出短而粗的火台，平底时压成细而高的火台，或打凹时压出高而细的火台，在平底时将火台略为压低，如图 3-41 所示。前一方法不适于覆铜钢弹壳，因为平底后会出现底火台周围露钢。

打凹小冲火台窝直径设计为产品图的 0.85~0.95 倍，而深度为产品图的 1.09~1.19 倍。

打凹小冲的斜度对内底转角处的皱折方向有影响（详见下节）。

打凹小冲的圆角  $r$  凭经验确定， $r$  太大，平底后易敞口（即圆角处充填不满），造成射击时底火漏烟； $r$  太小，则平底后底火室口部圆角太小，装配时底火压入困难。 $r$  太小，则小冲强度低。

一般是先凭经验设计，再在实践中试制修改后定型。

#### 5. 平底大冲

平底大冲是确定弹壳内底部尺寸的，主要是转角处直径和圆角。

(1) 转角处直径（图 3-40 d）：平底大冲设计时不应该让大冲与小冲隔着弹壳薄薄的隔板互相对撞，否则小冲寿命很低。合理的设计方法是让大冲一开始冲压时与待制品内部有一定的空隙（即冲子不到达待制品内底），这样冲压开始时起缓冲作用，可以提高小冲寿命。只要使大冲圆角切点处直径  $d_{pd}$  适当大于打凹大冲在该处直径即可。即

$$d_{pd} = kd_z$$

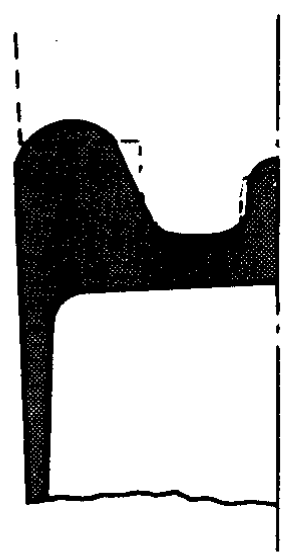


图 3-41 打凹、平底小冲的配合关系

式中  $d_{pd}$ ——平底大冲圆弧切点处的直径 (图 3-40d);

$d_z$  ——产品图内底转角处直径;

$K$  ——系数 (0.98~1)。

(2) 大冲上部直径: 大冲上部直径应略小于引伸件口部内径, 否则口部易裂, 但过小则定位不准, 易产生偏底 (底平面与中心线不垂直)。

$$d = d_K - z$$

式中  $d$  ——大冲上部直径 (图 3-40 d);

$d_K$  ——末引待制品口部内径;

$z$  ——间隙, 口径 $\leq 7.62\text{mm}$  时  $z = 0.25 \sim 0.35\text{mm}$ , 口径 $> 7.62\text{mm}$  时  $z = 0.4 \sim 0.5\text{mm}$ 。

(3) 大冲圆角半径  $R$  取与产品图相等。

#### 6. 打凹大冲

打凹大冲的设计应满足平底大冲不到达工件底部的要求。因此圆弧切点处的直径应小于平底冲该处直径 (约 0~2%)。此外冲子圆弧半径应等于或大于打凹前的引伸冲的圆弧半径, 其目的之一是增加底部的金属量。

打凹大冲设计的正确与否是以皱折的大小、皱折的方向和工具寿命为衡量标准。末引冲、打凹大冲、平底大冲三者的圆弧半径及圆弧切点处的直径应有合理的配合, 当前只能用冲子放大图凭经验检查、修正。

### 四、皱折

皱折的全称是弹壳内底转角处环形皱折 (图 3-42)。是打凹压底工序形成的难以避免的缺陷, 皱折严重时 (深度大、方向与轴线不平行) 会引起射击时底缘破裂或隔板破裂。

#### 1. 皱折的形成

引伸时由于凹模锥角的作用, 引伸件底部都呈球形, 打凹和平底大冲设计时又有意地设计成大冲端面不与工件内底接触, 于是打凹开始时大冲与工件仅在圆弧处接触 (图 3-43a), 工件内底与大冲端面有较大的空隙。

打凹开始时小冲作用在外底面球形的中心附近, 与内底转角 (支承点) 有较大的距离, 所以打凹变形的初期类似在球缺外向球心压一个大直径的凹坑一样。因此在内底就形成一个环形的凹槽 (图 3-43 b)。

从工件内底与大冲端面接触时起, 随着小冲压入深度的增加, 外底部受力的面积逐渐扩大 (因为小冲为锥体), 凹槽被逐步向外赶, 由于底部外缘是在凹模内, 金属不能外流, 故凹槽边外移边变窄, 深度有可能加大, 方向也发生变化 (图 3-43c)

平底时, 弹壳底部在大冲、小冲、凹模和字母模之间进行封闭的镦压, 凹槽进一步缩小, 凹槽底部缩小成为折叠, 凹槽口部仍为带圆弧的开口, 这就是弹壳内底转角处的皱折 (图 3-43d)

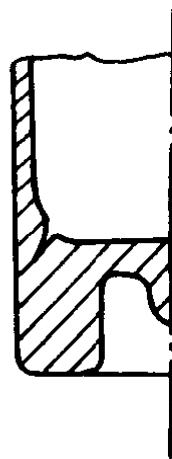


图 3-42 弹壳的皱折

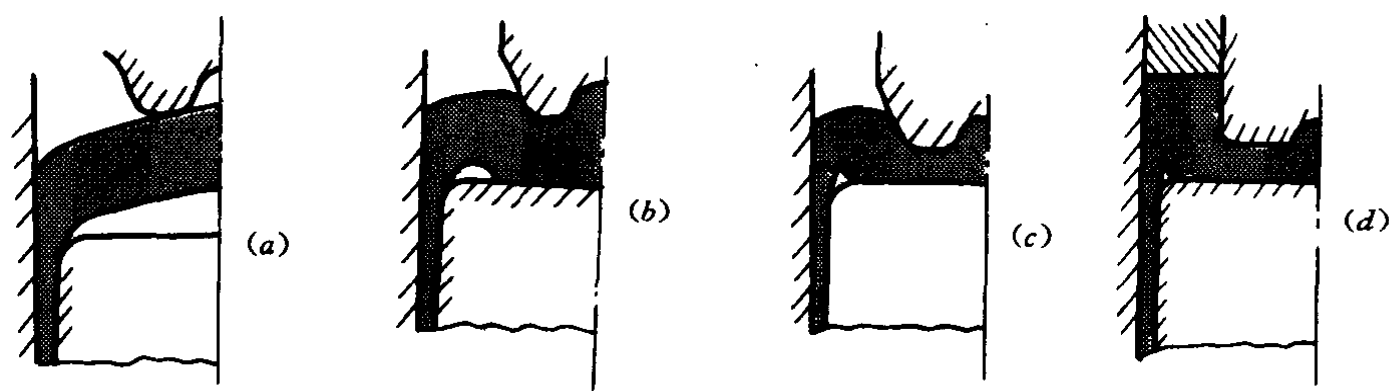


图 3-43 弹壳内底皱折的形成过程

(a) 打凹前; (b) 打凹初; (c) 打凹终了 (或平底初); (d) 平底后

## 2. 影响皱折深度和方向的因素

在当前的生产工艺条件下, 皱折是很难避免的, 因此只能控制其深度和方向, 使其尽量与弹壳轴线平行。根据实践, 影响皱折大小和方向的因素有:

(1) 打凹前制品底部球形越大, 皱折越深。不论是冲孟孟子或挤孟孟子, 在引伸时底部出现球形是不可避免的。在用板料冲孟法制造厚底弹壳时, 为了减小板料厚度, 必须采取增加底部金属量的措施 (即加大底部球形), 如增大冲子圆角、采用带凸台的冲孟冲等。这种方法必然增加皱折的深度。

(2) 打凹大冲与引伸冲下直径处的过盈量越大, 平底与打凹大冲的下直径处的过盈量越大, 则大冲端面与工件内底的间隙越大, 皱折深度越大。过盈量越大, 皱折方向越向内 (中心线方向) 偏斜。

(3) 打凹小冲的锥度越大, 圆角  $r$  越大, 则打凹时金属径向外流多, 皱折方向外斜。

(4) 带底缘弹壳, 由于向底缘方向流动的金属量多, 方向容易偏外。

(5) 打凹大冲端面有凹形 (图 3-40c) 则皱折方向向内。

根据试验, 手枪弹壳, 53 式 7.62 弹壳和 56 式 7.62 弹壳的皱折深度, 在方向平行于轴线时, 分别在 0.5、1.0 和 0.75mm 以下时, 对弹壳强度无影响。当皱折方向在  $0 \sim 15^\circ$  时对弹壳强度影响不大; 当方向在  $35 \sim 40^\circ$  时, 射击时将引起底缘破裂 (方向外斜时) 和隔板击穿 (方向内斜时)。

## 五、变形力计算

打凹变形与反挤压相似, 平底变形为封闭式体积冲压, 目前尚无准确的计算公式, 一般都用比压乘以变形投影面积计算之。即

$$P = pF$$

式中  $P$ ——打凹、平底力;

$p$ ——变形比压, 对打凹为 1300MPa, 对平底为 1700MPa;

$F$ ——变形的投影面积, 对打凹为小冲工作断面积, 对平底为弹壳底部端面面积。

## 六、检验与疵病分析

打凹、平底工序确定的尺寸较多, 该工序的量具较多。底缘直径用环规检查, 底火室直径用柱形塞规检查, 底火室深度及火台高度用千分表测量, 隔板厚度及外径底火室、火台三者的同心度用专用检验器, 内转角圆角半径及切点处直径由工具尺寸确定 (不检查), 皱折是通过定期将工件剖开后检验的。

打凹、平底工序操作复杂, 废品种类也多, 主要疵病及其原因如下:

(1) 平底后底部厚度过大：底厚是指内底面到外底面的距离。底厚过大说明底部金属量过多，引起底部金属量过多的因素很多，如板料厚度大，反挤孟时孟子底厚，冲孟、引伸模锥角小，末引冲、打凹、平底部大冲间过盈量过大。材料硬度低也会引起底厚（如原用于覆铜钢弹壳生产的模具改为制造黄铜弹壳时会产生底厚现象）。

(2) 底部不充满：即底平面出现大的圆角，这是底部金属不足所致，纠正的方法与上述的底厚相反。此外，打凹工序打得过浅也会引起平底时底部不充满。

(3) 平底时隔板冲脱：原因有隔板过薄，平底小冲圆角半径过小，皱折深度太大或倾角太大。

(4) 火台深度不均匀：原因有打凹深浅不一致，打凹小冲的火台窝堵塞，大冲上有污物。

(5) 平底后制品被小冲带出：正常生产时工件是由大冲通过下一制品将已平底的制品推出，如果小冲带出制品，则容易打坏工具。引起的原因有小冲胀大（墩粗），工件表面润滑油过多。

### § 3.11 药筒的压锥及压底

#### 一、压锥

压锥这道工序仅用于板料冲孟的孟子或圆钢墩薄饼后冲孟的孟子。因为冲孟的孟子，其外形为底部的球缺和体部的圆柱构成，与热挤孟子相比，形状不够理想，需经压锥、墩底及打凹来改变形状（图 3-44）

##### 1. 压锥的作用

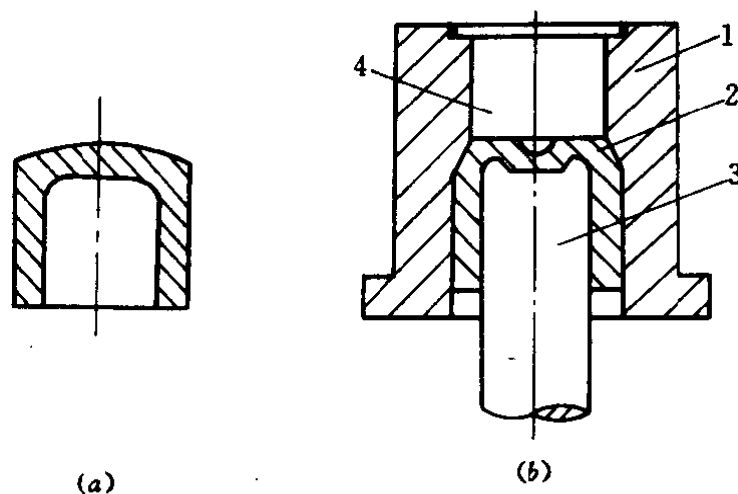


图 3-44 药筒的墩锥

(a) 墩前压工件；(b) 压锥后工件形状

1. 压锥凹模；2. 工件；3. 大冲；4. 压棒子

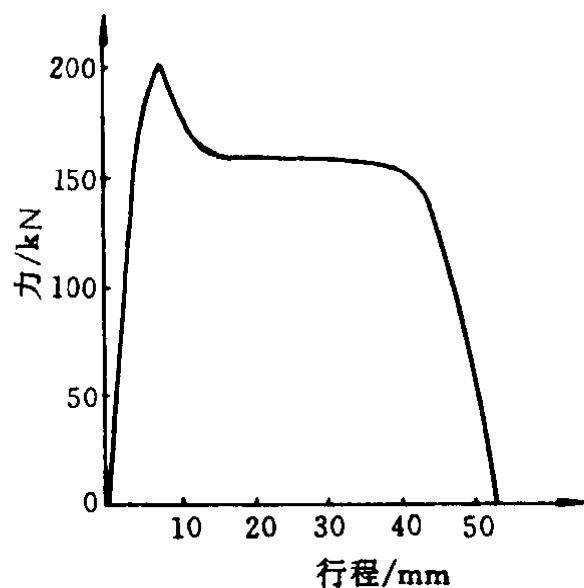


图 3-45 典型的变薄引伸力-行程曲线

(1) 在孟子的外底转角处压成锥形。使孟子能在引伸模内有良好的定位，以减小由于定位不良而造成的壁厚差。冲孟时底转角处的变形程度不大。正处于临界变形程度范围内，退火后该处晶粒长大，压锥后该处变形程度超过临界变形程度，因此压锥也改善了该处金属组织。压锥也顺便地降低了以后的引伸力，因为引伸开始时是引伸冲子与引伸凹模挤压孟子的转角处金属，这个挤压力很大，大于正常的引伸力。图 3-45 为典型的变薄引伸力曲线。

(2) 去除底部球形，使成为平底孟子。为防止内底皱折产生创造有利的形状。

(3) 预制底火室（称为打凹），为压底时最终形成底火室创造条件。如果没有打凹，要在压底时一次形成底火室是较困难的。

## 2. 压锥半制品尺寸的确定

压锥的变形内容很多,但变形均发生在孟子底部和底转角处,因此压锥后孟子的外径  $D_u$  和内径  $d_u$  是不变的。压锥后半制品形状、尺寸如图 3-46 所示。

(1) 外底平面锥体小端直径  $D_0$ :  $D_0$  的确定方法与热挤孟同,即  $D_0 = D_n - (0 \sim 3\text{mm})$ , 其中  $D_n$  为末引凹模直径。

(2) 根形角  $\theta$ : 一般取  $55^\circ \sim 66^\circ$ 。

(3) 底厚  $t_d$ : 压锥工序主要是消除底部球形,对底厚不作减薄,仅有一些印痕,故底厚可近似取为冲孟前板料厚度。

(4) 底火室尺寸确定: 底火室尺寸确定时应考虑到使底火室在压底时既能成型,又能有一定的变形量,否则会因底火室强度不足而形成射击时漏烟,或卸底火困难。一般取压锥的凹窝深  $h_a$  为产品图底火室深度的  $1/2 \sim 1/3$ 。过深,则压底的变形程度小,强度低;过浅,则成型时深度方向拉伸变形量过大,易拉裂。凹窝内径  $d_a$  应小于产品图底火室内径,使成型时壁厚方向有一定的挤薄变形,一般取  $d_a = d_{\text{min}} - (2 \sim 3\text{mm})$ 。

压锥凸起部与压底大冲的底火室成型凹之间应有一定的配合关系。图 3-47 (a) 因凸起部外径小于压底凹直径,成型时金属受到切向拉应力与轴向拉应力作用,该处易于破裂。图 (b) 的设计较为合理。即凸起部与压底凹有一定的过盈配合,在小冲压入时壁部被挤薄,产生径向和切向的压应力,部分金属向凹底流动,减小了轴向拉应力。

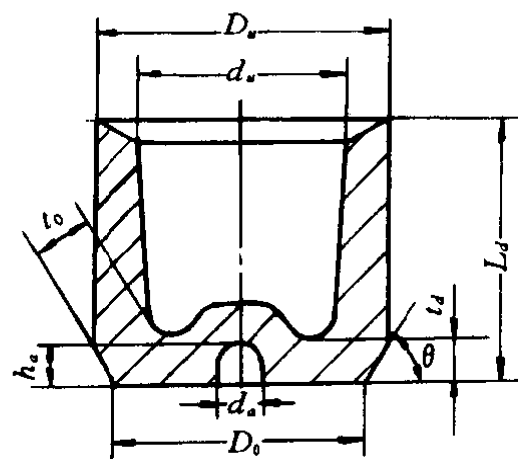


图 3-46 压锥半制品图

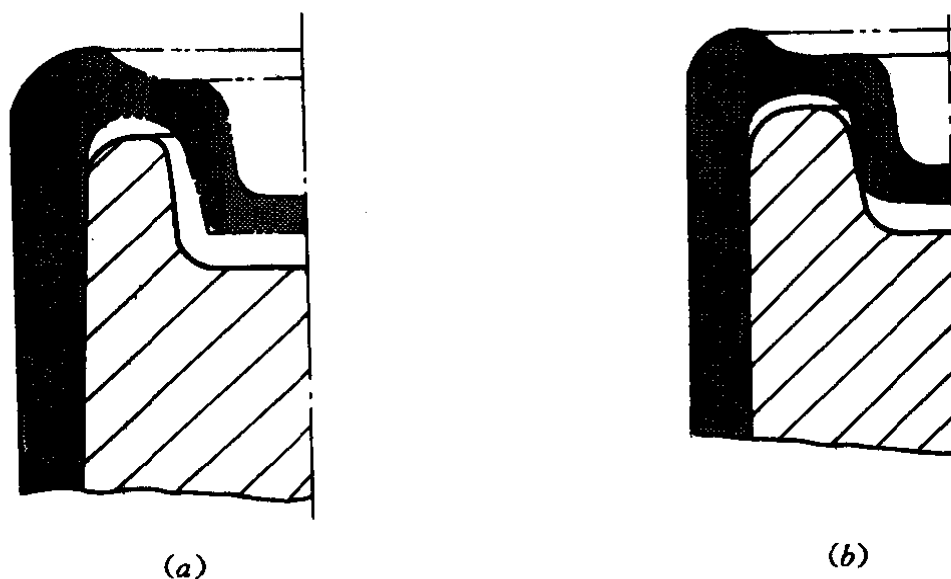


图 3-47 压锥与压底时底火室的配合关系

(a) 不合理的配合; (b) 合理的配合关系

## 3. 压锥力

压锥工序有压锥、打凹和平底三个变形方式,变形也不是同时进行的,因此变形力较难计算。可近似用圆柱体镦粗公式计算。即

$$P = pA = \sigma \left( \frac{\mu D_u}{1 + 3t_d} \right) A \quad (3-53)$$

式中  $P$  —— 压锥工序变形力;

$p$  —— 单位压力;

$A$  —— 受压缩制品的投影面积;

$\sigma$  —— 变形应力，由于变形程度不大，可用  $\sigma_b$  代替；  
 $D_u$  —— 工件外径；  
 $t_d$  —— 孟子底厚；  
 $\mu$  —— 摩擦系数。

## 二、药筒的压底

压底工序是药筒底缘和底火室的成型工序。是一道很复杂的成型工序，它直接影响着药筒的底部强度、退壳性能和底火室的闭气性。

压底是在末次引伸后，并经切口后进行的，它也必须在药筒收口前完成。

### 1. 压底的作用

(1) 形成底部凸缘：就是说要将引伸件底部压薄，使压去的金属外流形成凸缘。其变形力之大是可想而知的。

(2) 形成底火室：药筒的底火结构与枪弹弹壳不同，后者为帽形，可利用过盈配合直接压入底火室，而前者的底火是旋入式，因此压底工序形成的底火室要经过一定的切削加工（包括铰丝）才能最终形成产品图要求的底火室。

(3) 达到产品图规定的底部强度：压底前的工件虽经多次引伸，但引伸工序中底部是不参与变形的，因此底部仍处在退火状态。利用底厚方向的压缩变形（压缩变形量在热挤孟子底厚确定或冲孟毛坯厚度确定时已选定），使产生加工硬化而达到产品图规定的底部抗拉强度。广义的说底部强度也包括药筒内底转角处的强度，该处也是冲压加工中加工率较低的部位，虽然产品图上该处无强度检验，但如强度过低会形成射击后膨胀量（残余塑性变形）过大而造成卡壳。另外，良好的压底模具设计可以在内底转角处形成合理的流线（即流线方向与受力方向平行），也是提高该处强度的一个方法。

### 2. 压底模具结构

药筒压底模具如图 3-48 所示。压底大冲 4 通过若干个冲节 1 支撑在工作台上，冲节和大冲间用销子 2 联结，垫片 3 用于调节大冲高度位置。压底凹模 5 置于下座 12 的台阶上，并有垫片 11 改变凹模与大冲的相对高度，用螺母 9 压紧凹模。小冲 6 置于压榨子 7 中，压榨子是压制药筒底部和底缘的冲子，它套在凹模内。

压底时上座板 8 随压床滑块下移，开始时由于小冲 6 凸出于压榨子的上端面，故先压小冲下行，然后压榨子下行，底部变薄，金属一部分流向中心，大部分外流，形成底缘。

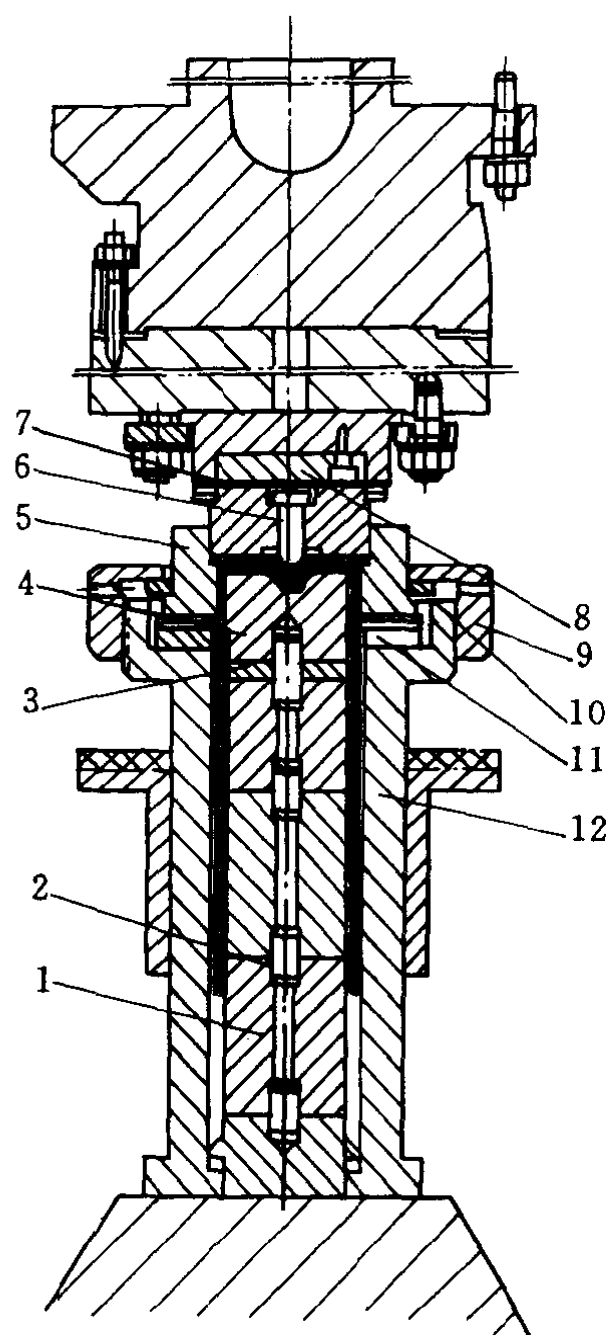


图 3-48 药筒压底模具结构

1. 冲节；2. 销子；3. 垫片；4. 大冲；5. 凹模；6. 小冲；7. 压榨子；8. 上磨板；9. 螺母；10. 垫片；11. 垫片；12. 下座

压底完毕时上座板上行，取出压榨子，顶料杆将冲节和大冲顶起，取出已压底的工件。压榨子可以用人工放入凹模内，也可直接固定在压力机上。由于压力机的吨位所限，或由于成形需要，压底不一定都是一次完成的，通常为1~4次，以两次为多。多次压底时，一般只更换压榨子。为此，整个模具是可移动的，即装入第一个压榨子压制完毕后移出，改换第二个压榨子，再推入压力机内第二次压底。

底厚、底缘厚、内底距的调整可用改变垫片3和11来实现。压底前半制品应用热水漂洗或擦拭，对内底部进行净化处理。压底制品内底有水或油污，内底转角处皱折形成的概率就高。为使压底后压榨子与压底小冲能顺利地与工件脱开，压底前可在工件外底中心处涂沫少许肥皂液。

压底所用的压机有精压机、水压机和油压机，其特点是吨位大，达40000kN。这是药筒生产的关键设备。目前已研究成摆辗法制造药筒底缘。摆辗是用一个锥形的辗子沿周向辗压一块平板（或药筒底部），使其底部辗薄，直径增大（图3-49）。摆辗时变形面积很小，因此变形力不大，机床吨位也不大（63kN即可），但生产率较低。这样可以免除了用大吨位压力机生产药筒的缺点。

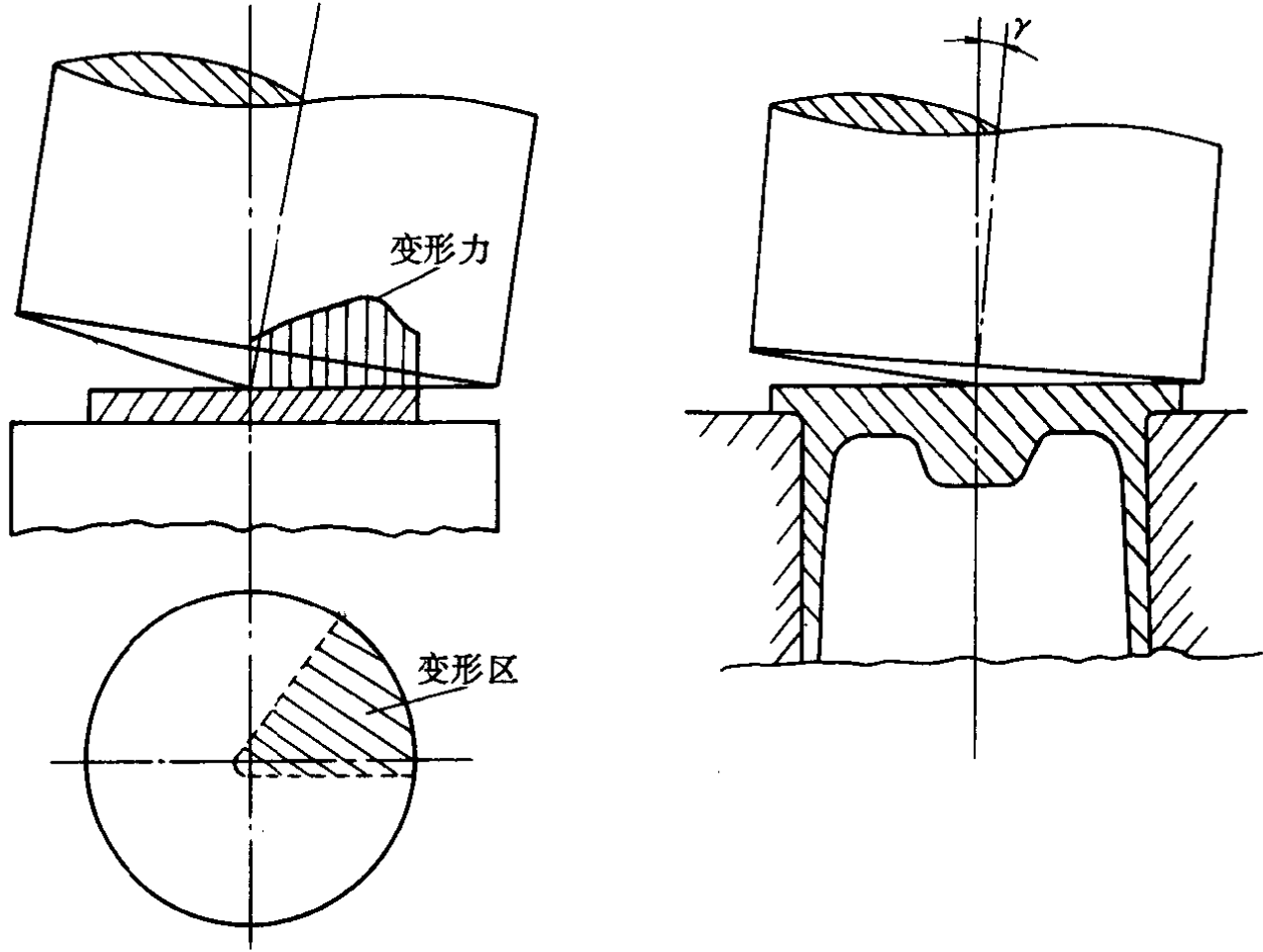


图 3-49 摆辗原理

### 3. 压底半制品尺寸的确定

药筒在压底后底部、底缘和底火室均需经机构加工后才能到达成品的尺寸，因此压底后工件尺寸应考虑到切削余量。具体计算如下。

(1) 底厚  $t'_d$  (图 3-50)

$$t'_d = t_d + \Delta t_d \quad (3-54)$$

式中  $t'_d$  —— 压底后工件的底厚；

$t_d$  —— 产品图上底厚名义尺寸；

$\Delta t_d$  —— 底厚切削余量。

对大口径药筒，底厚一般均有 1.5mm 的公差，在确定压底件尺寸时  $\Delta t_d$  可有两种方法。一

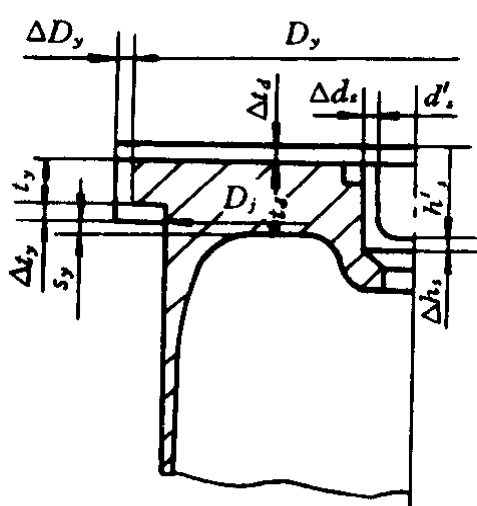


图 3-50 压底半制品尺寸确定

种是下偏差取 $-0.2 \sim 0.6\text{mm}$ ，上偏差取 $0 \sim 0.8\text{mm}$ ；另一种为下偏差取 $0 \sim 0.3\text{mm}$ ，上偏差取 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 。 $\Delta t_d$ 过大则切削量大，浪费金属，过小则会形成余量不够。

(2) 内底距  $s_y$ ：内底距  $s_y$  在产品图上并没有专门的标注，是由底厚与底缘之差形成的。压底半制品规定内底距是因为这个数据对压底时内转角处皱折的形成，尤其是皱折的方向影响极大。内底距越小，甚至为负值（即底缘厚大于底厚），则皱折大，且皱折方向偏向外壁（因底部金属易向外缘流动）。一般情况下  $s_y > 1.5\text{mm}$ ，即

$$s_y = t_d - (t_y + \Delta t_y) > 1.5\text{mm} \quad (3-55)$$

式中  $s_y$ ——内底距；

$t_d$ ——产品图底缘厚度；

$\Delta t_y$ ——底缘上平面切削余量，一般取  $1 \sim 1.5\text{mm}$ 。

(3) 底缘直径  $D'_y$

$$D'_y = D_y + 2\Delta D_y \quad (3-56)$$

式中  $D'_y$ ——压底后工件的底缘直径；

$D_y$ ——产品图底缘直径；

$\Delta D_y$ ——底缘切削余量，随口径不同一般取  $1.5 \sim 5\text{mm}$ 。

$\Delta D_y$  应尽量取小，以降低压底力。另外，底缘金属是由孟子底部金属体积决定的，如果底厚合格而底缘直径又过大，则说明孟子底部金属过多，应予以调整，如降低孟底厚度，或改变根部圆角间的配合等。

(4) 接际部直径  $D'_j$

$$D'_j = D_j + 2\Delta D_j \quad (3-57)$$

式中  $D'_j$ ——压底后工件接际部直径；

$D_j$ ——产品图上接际部直径；

$\Delta D_j$ ——接际部切削余量，取  $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ 。

接际部直径是指药筒下体部外径与底缘交接处的直径。在压底后该处直径略有胀大。希望该处切削量尽量减小，因为该处是承受抽壳力的部位，切削后切断了下体部至底缘的金属流线，削弱了该处的强度。

(5) 底火室直径  $d'_s$

$$d'_s = d_s - 2\Delta d_s \quad (3-58)$$

式中  $d'_s$ ——压底后工件底火室直径；

$d_s$ ——产品图上底火室螺纹内径；

$\Delta d_s$ ——底火室内径切削余量，取  $0.5 \sim 1.2\text{mm}$ 。

$\Delta d_s$  过大会降低小冲直径，使强度不足而影响寿命。过小的切削余量可能会因小冲与半制品不同轴而形成底火室一侧缺金属。

(6) 底火室深度  $h'_s$

$$h'_s = h_s - \Delta h_s + \Delta t_s \quad (3-59)$$

式中  $h'_s$ ——压底后工件的底火室深度；

$h_s$ ——产品图上底火室深度；

$\Delta h_s$ ——底火室深度切削余量，取 2~3mm。

(7) 凸起部尺寸：凸起部无切削加工，因此形状和尺寸完全与产品图相同。

#### 4. 药筒的皱折

皱折的形成过程与弹壳皱折形成基本相同，但因药筒的底火室与弹壳不同，且药筒都带底缘，因此形成皱折情况略有差别。

尽管热挤孟后孟子底面是平面的（对冲孟的孟子在压锥后底面也是平面的），但引伸时由于凹模锥角的作用，孟子内底转角处免不了产生金属的堆积（如图 3-51 a 中的 AC）。使下一次引伸冲的端面不能与孟子内底接触，经多次引伸后堆积越来越大，底部球形也越来越大。

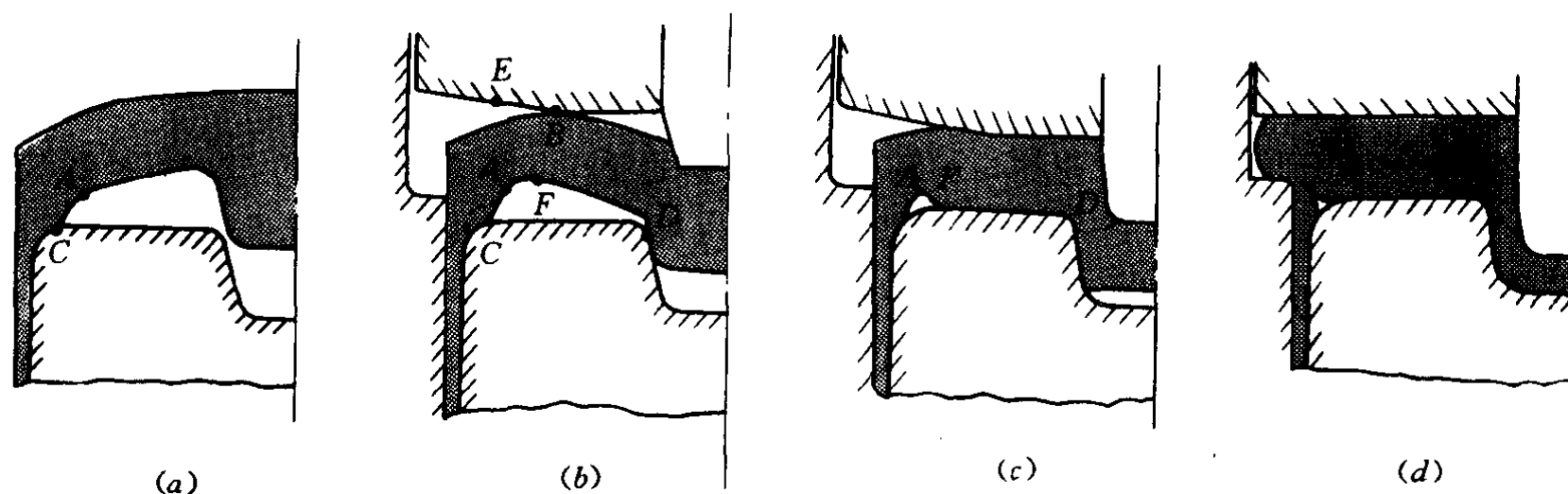


图 3-51 药筒皱折的形成

(a) 压底前；(b) 压底初；(c) 压底中；(d) 终压

压底开始时，因压底小冲伸出压榨子的上平面，所以先由小冲压出一定深度的底火室，由于大冲平端面不与工件内底接触，只有在 C 点呈环形的支撑，在小冲压入底火室后，孟子内形将形成以 AFD 为母线的回转体。

压榨子与孟子外底接触时，因外底为球形，故接触点 B 必定比支撑点 C 靠内（靠中心线方向），使开始一段行程内 C 点附近不受压。由于 AFD 为倾斜的弧形，它与大冲端面接触而展平成直线时要向外伸展，A 点有外移的趋势。最后形成有一定深度的环形沟槽。这个沟槽的方向如果平行于药筒轴线（图 3-51 c）则对药筒强度影响不大。

当压薄底厚时，金属流向凸缘，沟底部被压实成折叠，并随着金属的外流，方向偏外，且折叠也有延伸（图 3-51 d）。

根据上述对皱折形成过程的分析，防止皱折可以采取以下一些方法：

(1) 减少金属堆积、减小环形深度：堆积越多、球形越深，则皱折越深，可以在冲子下部直径和圆弧的配合关系方面寻找合理的配合。如果在引伸后增加平底（消除球形和堆积），会收到良好的效果。冲孟孟子在冲孟后或一引后增加压锥工序，其作用之一就是消除球形和转角处的堆积。

(2) 采用带小台阶的压底大冲（图 3-52 a）。由于多出一个台阶，球形内底下不大距离即可与大冲端面贴合，转角处形不成沟槽，因而不会产生皱折。当然，这样做涉及到修改产品图的问题，必须取得设计部门同意。同样，希望设计人员在设计新产品时采用如图 3-52 (b) 的底部形状，为工艺人员提供方便。

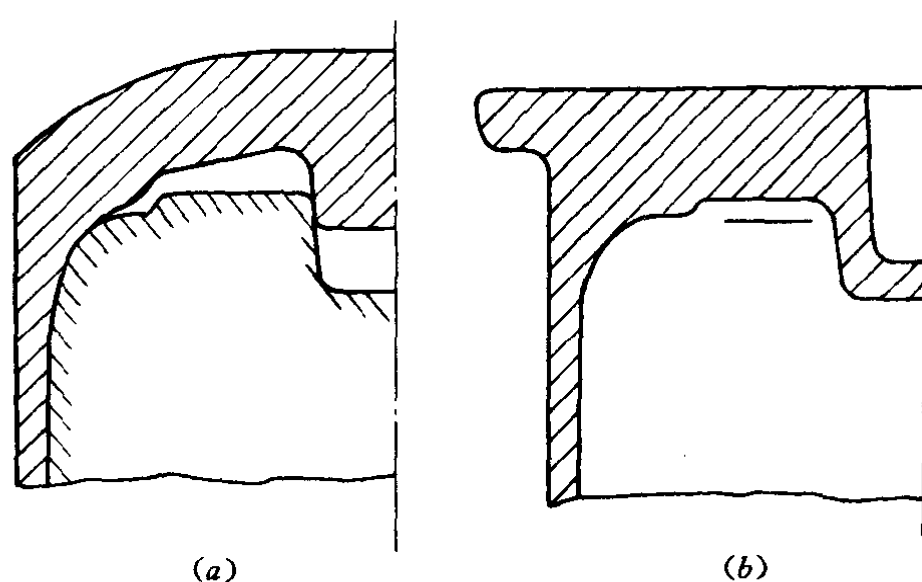


图 3-52 带台阶的大冲压底

(a) 用带小台阶的大冲压底；(b) 压底后底部形状

(3) 在压棒子形状设计时应尽早使堆积部分的金属受压（即图 3-51 b 的 E 点以外的底部先受压），将堆积的金属挤去（图中的虚线部分），以减小或消除转角处的弯曲量。根据经验，E 点至少应小于大冲小圆弧圆心处的直径。

(4) 加大内底距。加大内底距可以阻止皱折附近金属向底缘方向流动，从而防止皱折延伸和防止皱折向底缘方向转向。

关于药筒皱折问题，是药筒制造中的一个难题，目前各工厂尚未有统一的认识，更未见有过公开的专题研究报告。这里所提的见解难免有不成熟之处。

#### 5. 压底模具设计

压底模具较多，有大冲、小冲、凹模和压棒子四件。其设计多凭经验和试验，尤其是压底大冲，这里仅对凹模和压棒子设计作一介绍。

(1) 压底凹模：压底凹模形状如图 3-53 所示。

① 导向部直径  $D_1$ 。它的作用是导引压棒子并形成底缘。其直径应比产品的底缘直径大 4~10mm，防止产生封闭挤压而损坏模具和机床。

② 模子直径  $D_m$ 。它是让引伸件外径作径向定位，以便压出底缘之用。为便于工件进入凹模，其尺寸应比末引工件外径略大。

$$D_m = D_n + \Delta$$

式中  $D_n$ ——末引工件外径；

$\Delta$ ——间隙，0.2~0.4mm。

③ 接际部直径  $D_j$ 。接际部是指药筒底缘与下体部交接部位。体部用半锥角  $\varphi$  及圆角  $r_j$  与底缘相接。因此可用下式计算：

$$D_j = D_m + 2h_z \tan \varphi$$

式中  $h_z$ ——锥体高度；

$\varphi$ ——半锥角，1.5°~4°。

$D_j$  应比产品图在该处尺寸大 0.2~0.5mm，以便留有切削余量，过大的切削余量会切断更多的金属流线，从而削弱了底缘强度。

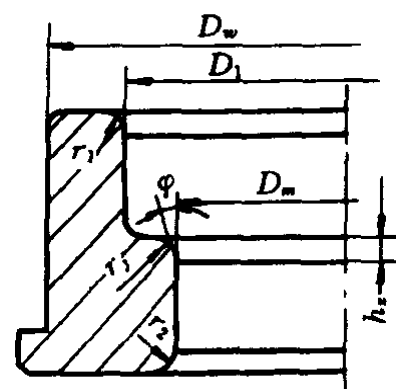


图 3-53 压底凹模

④外径  $D_w$

$$D_w = (2 \sim 3) D_m$$

⑤圆角  $r_j$ 。  $r_j$  取 2~4mm,  $r_j$  取大时金属流动顺利, 压底力减小, 但切削时流线切断多。  
 $r_j$  是导入压棒子用的, 取 5~10mm。

(2) 压棒子: 小口径药筒都是一次压底完成, 而大口径药筒从减小压底力和底缘成形角度出发压底次数可由 2 次至 4 次不等。因此压棒子也有一次压底 (含末次压底) 压棒子和中间各次压底压棒子之分。

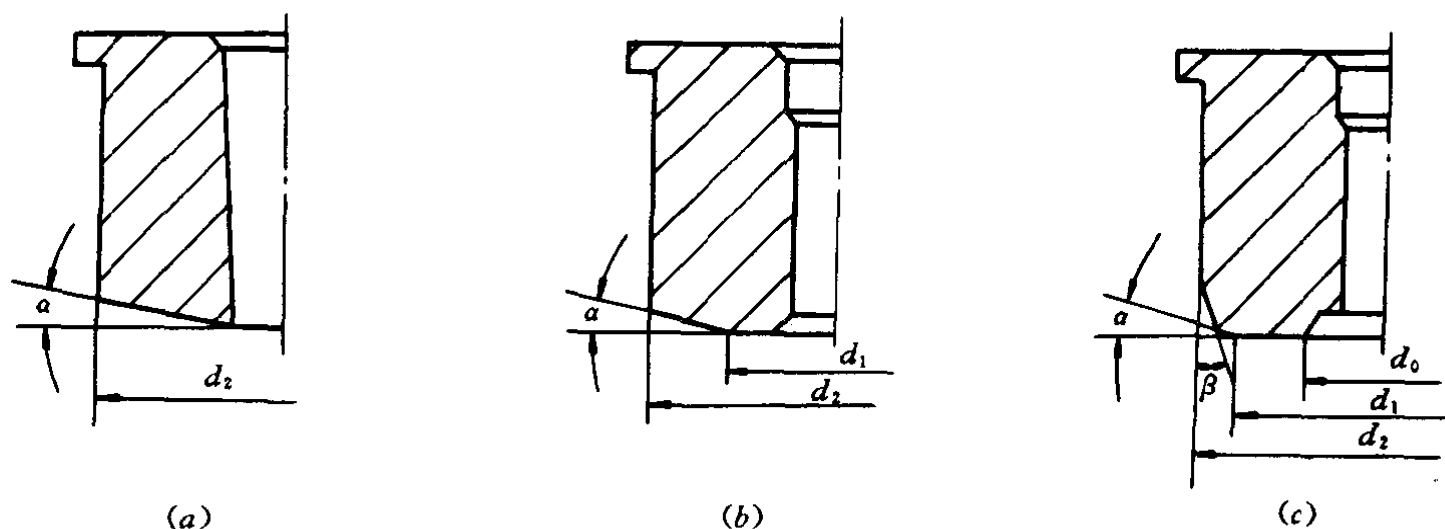


图 3-54 一次压底压棒子形状

①一次压底 (含多次压底的末次) 压棒子有图 3-54 所示的三种形状。

(a) 型用于小口径药筒, 它有一个不大的斜角目的是减少金属外流的阻力, 因为如果没有斜度, 这种压底近似在平板上镦粗一个  $H/D$  不大的圆片, 在中心附近的难变形区内的金属很难向外流。 $\alpha$  角还可使药筒在收口时平稳放置。

(b) 型压棒子比 (a) 型增加了一个平面, 平面处金属压缩量最大, 因此  $d_1$  应将产品图底部两试样的范围包容在内。 $\alpha = 1 \sim 2^\circ$ 。

(c) 型压棒子在导引部  $d_2$  有一个  $\beta$  斜角, 目的是便于放入凹模导引部, 同时也减少了压底面积 (当实际底缘直径大于  $d_1$  时)。中心附近有个凹窝, 目的是增加底火室口部的金属量, 防止产生“缺肉”, 同时也可减少压底面积, 降低压底力。当然, 凹窝的直径  $d_0$  应小于产品图规定的两试样的间距, 一般  $d_0 = (0.40 \sim 0.65)d_1$ 。

压棒子的导向部直径  $d_2$  按下式确定:

$$d_2 = D_1 - (0.2 \sim 0.6)$$

式中  $D_1$ ——凹模导向部直径。

②预压棒子。预压棒子即多次压底时除末次压底外的压棒子, 它设计时应注意以下几点:

第一次压棒子应设计一个金属流动的中性层半径, 中性层以内的金属向中心方向流动, 补充底火室金属的不足; 中性层以外的金属在以后各次压底时逐道外流, 形成底缘。

上一次的形状应为下一道金属向预定方向 (中性层内、外) 流动创造条件。

各次压棒子的形状设计时应注意到防止内底转角处皱折的形成。

每次压缩变形的面积确定时应注意到设备的吨位, 因为压底的变形力是很大的。所以上一次压底的压缩部分在下次压底时不重复再压, 两次压底重叠部分的面积不宜过大。

多次压底时, 压底大冲有更换和不更换两种方式, 以不更换大冲 (只更换压棒子) 方式为好, 因为更换大冲时需要把工件从大冲中抽出, 操作较为复杂。

压榨子工作端面形状有以下几种：

锥形工作端面（图 3-55）。图 3-55 为两个锥形工作表面形状构成的两次压底的压底变形图。第一次压榨子有  $\alpha_1$  和  $\beta_1$  两个锥面，其交点半径  $R_c$  即为中性层半径。 $\beta_1$  是储存底火室金属， $\beta_1$  大则储存金属多，如果底火室金属量不足，会在压底时形成裂纹，或充满不足。但如底火室金属量过多，则会降低压底小冲寿命。所以要仔细计算底火室需补充金属的体积。 $\alpha_1$  越大，则金属向外流动阻力小，压底力降低，但  $\alpha_1$  大时转角处金属受力较中心部迟，容易产生皱折。85mm 钢药筒采用此种压榨子，其  $\alpha_1=5^\circ$ ， $\beta_1=36^\circ$ ， $\alpha_2=7^\circ$ ， $\alpha_2=1^\circ$ 。

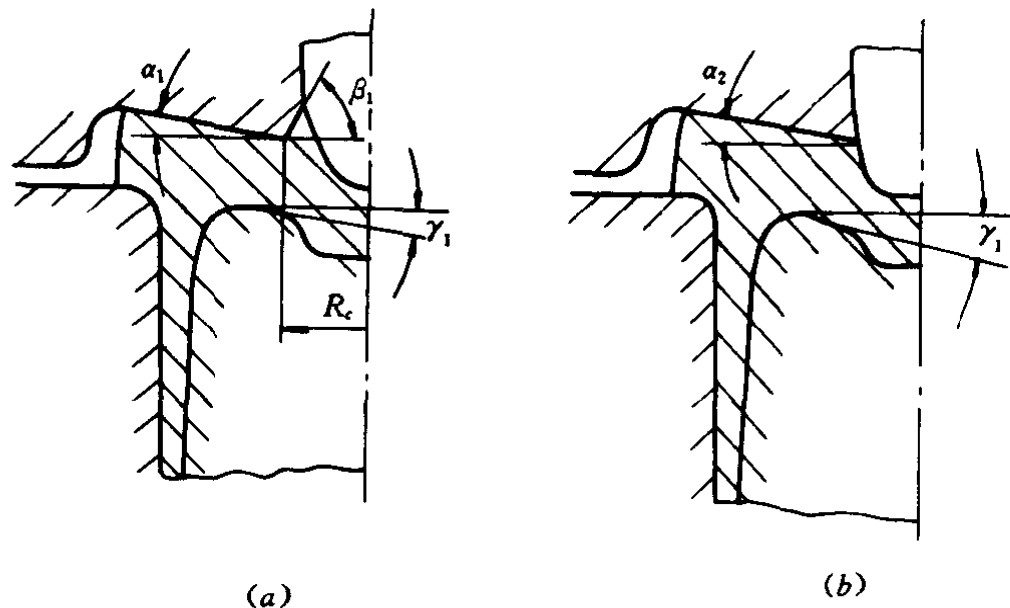


图 3-55 锥形工作面的压榨子

(a) 第一次压底；(b) 第二次压底

弧形工作面（图 3-56）。图 3-56 为弧形和锥形的工作面形状的第一次压榨子，其最大优点是在压底行程不大时即可对内底转角处金属施压，压去该处的金属堆积，并使内底金属与大冲贴合，防止皱纹的形成。圆弧  $R$  的圆心所处的直径  $d_R$  越向外，对防止皱纹产生越有利，应使  $d_R \geq d_r$ （ $d_r$  为大冲小圆弧  $r$  圆心所处的直径）。

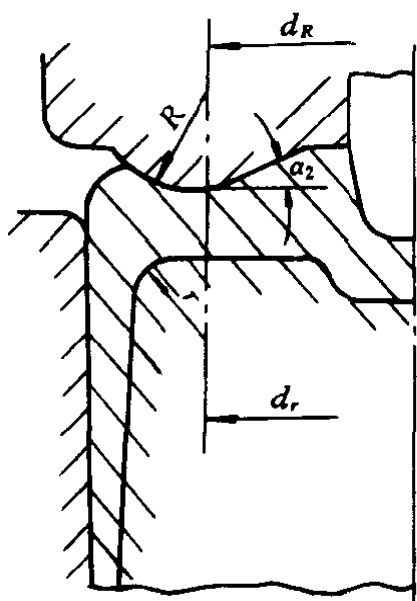


图 3-56 弧形工作面的压榨子

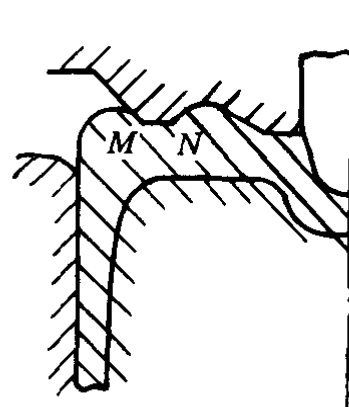


图 3-57 搅拌金属的压榨子

为了加强对内转角处金属的压缩，采用图 3-57 的平面加弧形的预压榨子，这种压榨子的弧形部分金属在预压时增厚，终压时又压薄，增加了加工硬化程度，从而提高了该处金属的强度，故又称为搅拌金属的压榨子。

平面工作端面。图 3-58 为工作端面为平面的压榨子。平面  $ab$  将底部金属分为两部分，在以后的各次压底时，压榨子的  $\phi a$  逐渐减小，使  $a$  点以内的金属流向底火室， $\phi b$  逐渐增大，将  $b$  点以外的金属压向底缘。这种压榨子平面逐渐扩大的设计方法显然是考虑到压底设备吨位的问题。例如 152mm 钢药筒的底缘直径达 180mm，如果一次压底，根据计算，其压底力约为 30000kN，考虑到设备能力，采用四次压底。第一次压底时  $\phi a=115\text{mm}$ ， $\phi b=120\text{mm}$ ，第二次压底时  $\phi b$  不变， $\phi a$  减小到 95mm，把金属赶向底火室，第三次压底时  $\phi a$  不变（为 95mm）， $\phi b$  增到 140mm，把金属往外赶，第四次压底时  $\phi b=90\text{mm}$ ， $\phi b=148\text{mm}$ ，148mm 以外处设一较大的锥角，使压榨子不压缩金属，以降低压底力。

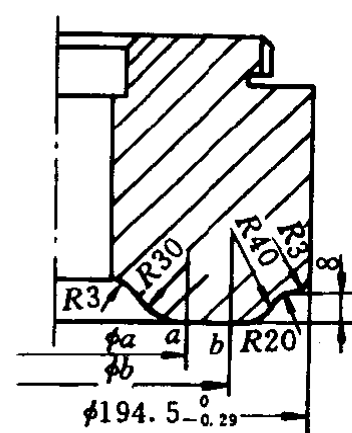


图 3-58 平面压榨子

## 6. 压底力

药筒压底力是很大的，药筒压底用的压力机吨位极大，是药筒工厂的关键设备。然而压底力又很难准确计算，因为各点形状不同，压缩率又不同，金属流动情况又各异，很难用理论公式计算。对于一次压底的药筒压底力可借用平板压缩模块的理论公式计算（当然，药筒压底变形与平板间镦粗圆柱体变形的情况还有许多不同之处）。对于多次压底时，则用平均变形抗力乘变形面积来估算变形力，为了安全起见，选择设备时应把计算结果放大 20%。

例：某药筒材料为 S15A，底缘直径为 145mm，压底后底厚为 9mm，压底变形程度为 0.36，试计算其压底力。

$$\text{变形应力 } \sigma = A\epsilon^n = 631 \times 0.36^{0.23} = 501\text{MPa}$$

$$\text{取摩擦系数 } \mu = 0.20$$

$$P = \sigma \left(1 + \frac{\mu D_d}{3t_d}\right) \frac{\pi}{4} D_d^2 = 501 \times \left(1 + \frac{0.2 \times 145}{3 \times 9}\right) \times \frac{\pi}{4} \times 145^2 = 17150\text{kN}$$

该产品实测压底力为 16460~16660kN，与计算的误差不大。

多次压底的压底力可用平均变形抗力  $P$  来估算，即

$$P = pA$$

式中  $p$ ——平均变形抗力，930~1080MPa；

$A$ ——压缩变形的投影面积。

多次压底时由于压榨子形状为非平面，各点压缩率均不同，变形抗力变化较大，这时可用分段计算法，即根据各点变形程度估计其变形抗力，逐段计算变形力。如用弧形压榨子作第一次压底时（图 3-59），最外边的  $c$  点变形程度最小，金属也最易外流，故变形抗力  $p_c$  较小，在  $a$  点变形程度最大，且又靠近中心（从圆柱镦粗变形角度分析，圆柱中心为难变形区），故变形抗力  $p_a$  较大。压底力可用下式计算：

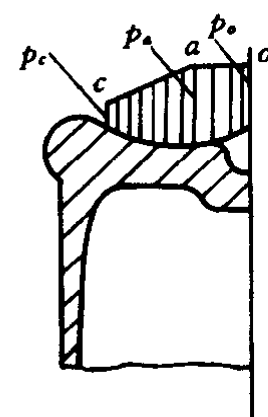


图 3-59 压底力的分段计算

$$P = \frac{1}{2}(p_c + p_a)A_{ca} + \frac{1}{2}(p_a + p_o)A_{ao}$$

式中  $A_{ca}$ —— $c$  点到  $a$  点的投影面积；

$A_{ao}$ —— $a$  点到  $o$  点的投影面积。

## § 3.12 收 口

### 一、收口的作用

收口工序是将筒形毛坯口部缩小成圆柱形，并形成锥形的肩部和体部。经收口后药筒的口部、肩部和体部外形尺寸应达到产品图要求的尺寸。可以说这是一道确定弹壳外形的工序，具体地说，收口工序应确定以下几个尺寸：

(1) 口部的内径和壁厚。对药筒，在收口后搪口和整口工序，对药筒口部内径和壁厚有一定影响；对弹壳，则收口后口部内径和壁厚均应达到产品图要求的尺寸。对分装式药筒因没有瓶形口部，故没有此项作用。

(2) 斜肩尺寸及斜肩到弹壳底面（或药筒底缘上平面）的距离。

(3) 体部锥度。

口部内径和壁厚直接影响拔弹力，而拔弹力对弹头的初速和膛压有影响。对斜肩定位的弹壳，斜肩至底面的距离是个极重要的尺寸，过大则枪机不能闭锁，过小则会影响发火性能。体部直径影响合膛性能和射击时的闭气性。因此收口是一道很重要的工序。

收口是药筒的最后一道冲压工序，收口后底部适量的机械加工即为成品，而弹壳则在收口前还有冲传火孔工序，经车底槽及切口即为成品。

### 二、收口模结构

收口是将工件推入锥形凹模内实现的，图 3-60 为药筒收口模具结构。

由三节组合成的收口模 10 置于模座 13 上，压环 7 通过螺杆 4 和螺母 5 将凹模固定在机床工作台上，调节顶冲 3 的位置可以控制工件进入收口模的深度。收口时工件口部向下，放入收口模，由顶冲 3 推工件入凹模，完成收口操作。然后顶冲复位，退料杆 11 将工件顶出收口模。这种模具收口称为倒装式收口。也可以将收口模固定在压床的滑块或液压机的可动横梁上，工件口部向上置于压床工作台上进行收口，这种模具收口称正装式收口。

倒装式收口的操作较复杂，尤其是大口径药筒，产品既长又重，给操作者带来了不便和增大了劳动强度，而正装式收口则便于实现上下料机构化和减轻工人劳动强度。

大、中口径药筒的收口都采用水压机或油压机，因为它要求有很大的工作行程，而枪弹及小口径药筒都采用立式或卧式曲柄压力机。弹壳都用卧式冲床收口。

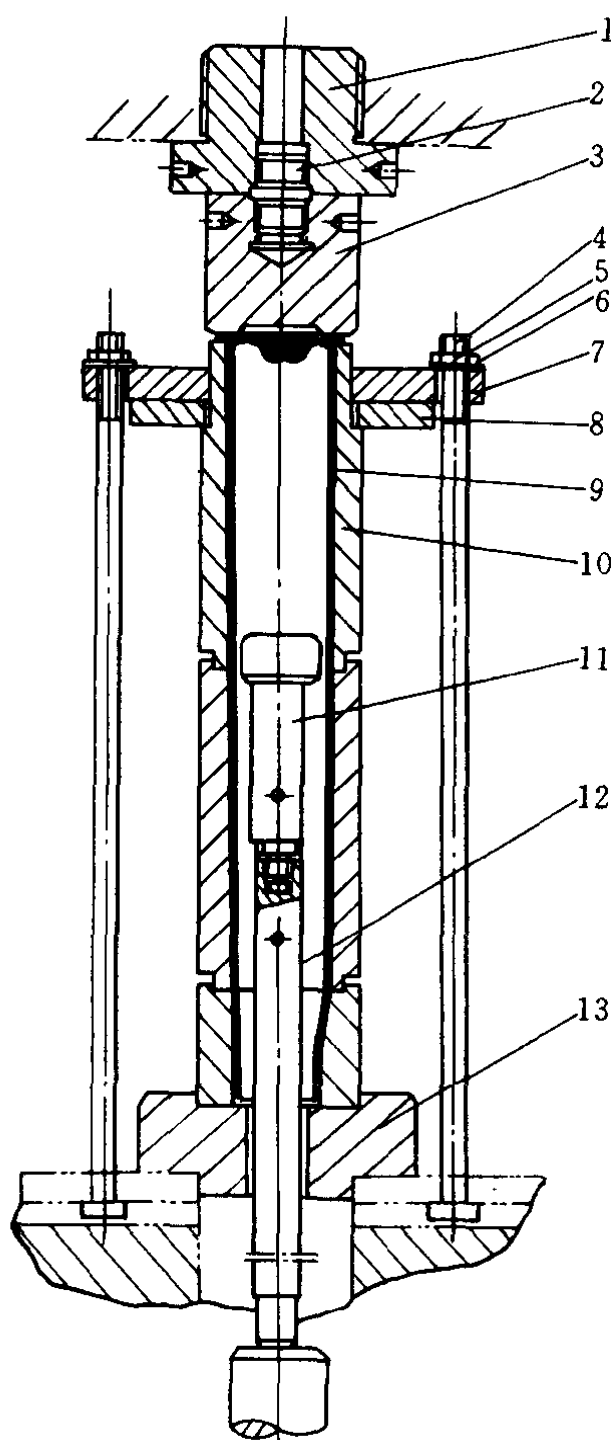


图 3-60 药筒收口模具结构

1. 冲座；2. 连接螺杆；3. 顶冲；4. 压紧螺杆；  
5. 螺母；6. 垫圈；7. 压环；8. 垫环；9. 药  
筒；10. 收口模；11. 退料冲；12. 接杆；13.  
模座

枪弹弹壳收口模结构与药筒略有不同，因为它没有搪口和整口工序，所以收口时就应把口部内径和壁厚确定。收口时工件沿凹模的斜锥部运动，直径缩小，当毛坯口部运动到斜锥结束时工件并不立即转折 90°，从而紧贴口部运动，而是顺着斜锥的方向移动一段距离后再转折向口部，即工件的外部不与凹模口部贴合（图 3-61 a）。这样要控制弹壳内径必须要有冲子保证。为此，弹壳收口模具有以下三种形式（图 3-61）。

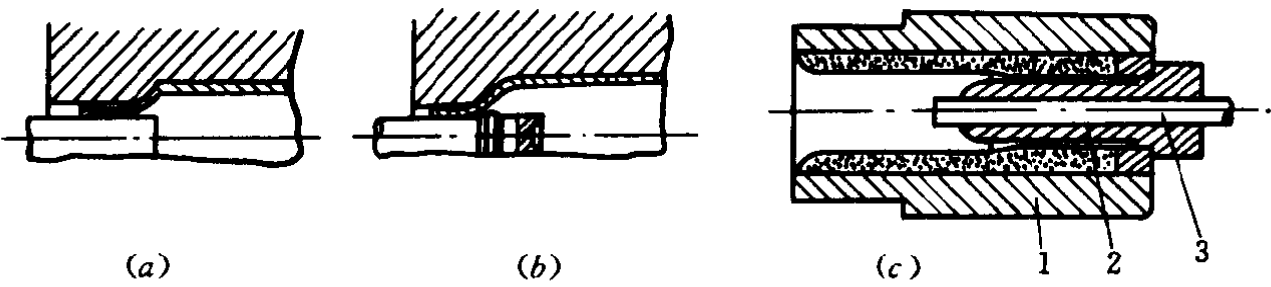


图 3-61 弹壳收口模

1. 收口模；2. 收口冲；3. 退货冲

图 3-36 (a) 为有收口冲的收口模，弹壳口部在脱离收口模锥体后将沿收口冲运动，使收口冲能控制弹壳的内径。但这各收口冲不能控制弹壳口部壁厚，且不能使口部弧形变直。退货时仍用收口冲推料。

图 (b) 为有拉口冲的收口模。拉口冲的杆部较细，头部有一个凸缘作控制内径用。收口前拉口冲先进入凹模内，收口结束后拉口冲后退，将口部拉薄，达到控制壁厚和内径的目的。然后拉口冲又前进，把工件推出模外。拉口冲的动作是由冲床上的凸轮控制的。

图 (c) 是收口冲与凹模固定在一起，由专门的退货冲进行退料，用于大口径弹壳收口或多次收口的前几次收口。

收口前工件必须口部退火（又称烧口、烤口），并进行润滑处理。润滑质量对于药筒的收口质量和收口力影响很大，因为药筒收口时体部与收口模有极大的接触面积。例如 100mm 钢药筒在烤口，磷化和皂化后收口，则得收口力为 225kN，而烤口后以菜油作润滑时收口力竟达到 353kN。

由于药筒的结构（主要是瓶形系数）不同，收口次数可多达 3 次，分装式药筒只有一个锥度不大的体部，放只需一次收口。

### 三、收口变形的应力、应变

药筒的斜肩为锥体，故收口模也做成锥形，因此药筒的收口实质上是圆筒形件的收锥变形。其应力应变状态如图 3-62 所示。

收口是管形件直径收缩的变形，其切向为压缩应变，且为最大主应变  $\epsilon_\theta$ 。而锥体在长度方向的应变略有伸长，即  $\epsilon_r$  为正，壁厚有所增厚，即  $\epsilon_t$  为正。在应力状态方面，切向压应力  $\sigma_\theta$  为最小主应力（绝对值最大）。沿锥体长度方向因有摩擦阻力，故受到压缩应力作用。在厚度

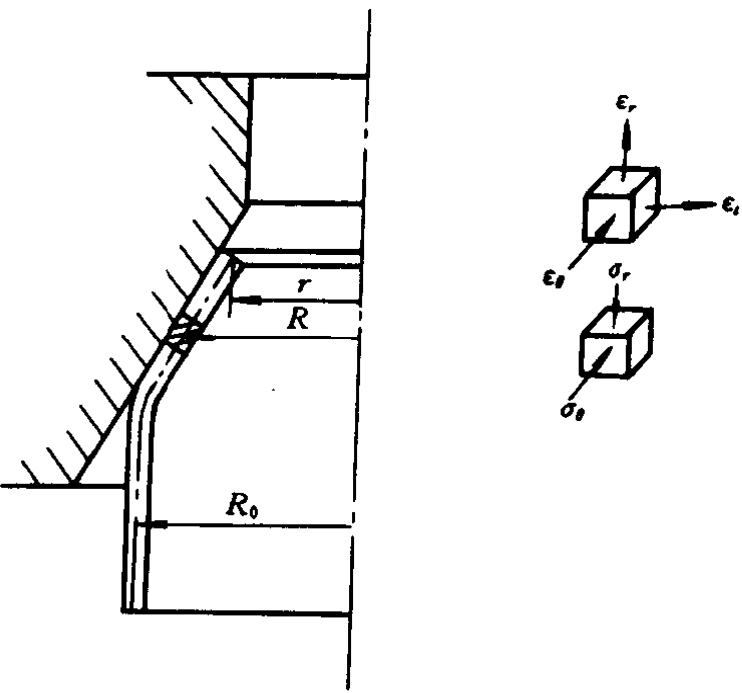


图 3-62 药筒收口变形的应力应变

方向为自由变形, 因此应力  $\sigma_t$  为零。

根据冗长的塑性成形力学推导<sup>[20]</sup>, 三个方向的真实应变就和应变强度如下:

切向真实应变  $\epsilon_\theta$  为

$$\epsilon_\theta = \ln \frac{R}{R_0} \approx - \left(1 - \frac{R}{R_0}\right) \quad (3-60)$$

轴向真实应变  $\epsilon_r$  为

$$\epsilon_r = \frac{1 - 2(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)(1 - r/R)}{2 - (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)(1 - r/R)} \left(1 - \frac{R}{R_0}\right) \quad (3-61)$$

厚向真实应变  $\epsilon_t$  为

$$\epsilon_t = \frac{1 + (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)(1 - r/R)}{2 - (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)(1 - r/R)} \left(1 - \frac{R}{R_0}\right) \quad (3-62)$$

收口应变强度  $\epsilon_i$  为

$$\epsilon_i = \frac{2}{2 - (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)(1 - r/R)} \left(1 - \frac{R}{R_0}\right) \quad (3-63)$$

式中  $R$ ——变形区任意位置处的半径;

$R_0$ ——管状毛坯初始半径;

$r$ ——收口锥体最小半径;

$\mu$ ——工件与模子的摩擦系数;

$\alpha$ ——锥体的半锥角。

上述式子中只要给出  $\mu$ 、 $\alpha$  和变形程度  $r/R_0$ , 即可画出变形区不同位置上  $\epsilon_\theta$ 、 $\epsilon_t$ 、 $\epsilon_r$  和  $\epsilon_i$  的数值, 如图 3-63。图中  $r/R$  表示变形区不同的位置, 例如  $r/R$  为 1 即表示在管子口部  $r$  处。

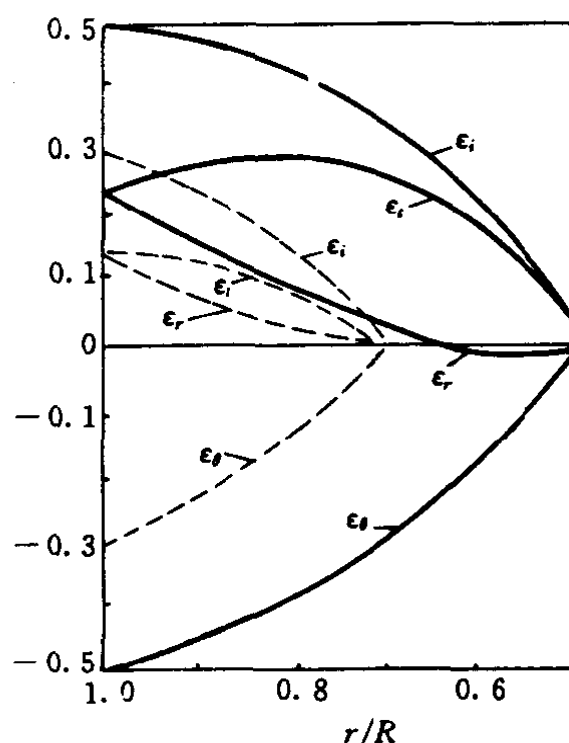


图 3-63 收口变形区上各应力的分布  
( $\mu=0.1$ ,  $\alpha=15^\circ$ )

—— $r/R_0=0.5$ , --- $r/R_0=0.7$

还可以进一步推导出各主应力的计算公式, 由于公式很繁, 不便于实际应用, 故此处仅摘录由这些公式画出的变形区应力的分布, 详见参考文献 [20]。给定  $\mu$ 、 $\alpha$ 、 $n$  和  $r/R$ 。后画出的变形区  $\sigma_\theta$  和  $\sigma_r$  分布见图 3-64。

#### 四、收口力

收口力由收锥力和进出变形区时的两次弯曲力组成。为推导方便, 先求收锥力, 并作简化假设。

##### 1. 推导收锥力的假设

(1) 不考虑收锥过程中的加工硬化, 即认为变形抗力是常数;

(2) 不考虑收锥过程中壁部的增厚, 即认为壁厚  $t$  为常数, 并用平均壁厚计算;

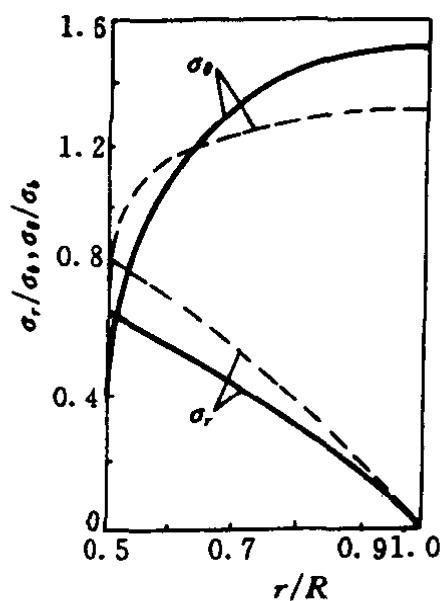


图 3-64  $r/R_0=0.5$  时变形区的应力分布

( $\mu=0.1$ ,  $\alpha=15^\circ$ ,  $r/R_0=0.5$ )

--- $n=0.1$  时, —— $n=0.3$  时

(3) 先不考虑收锥中的弯曲力。

## 2. 收锥应力的推导

在变形区（锥体上）切取一微元体，其上所受应力见图 3-65。

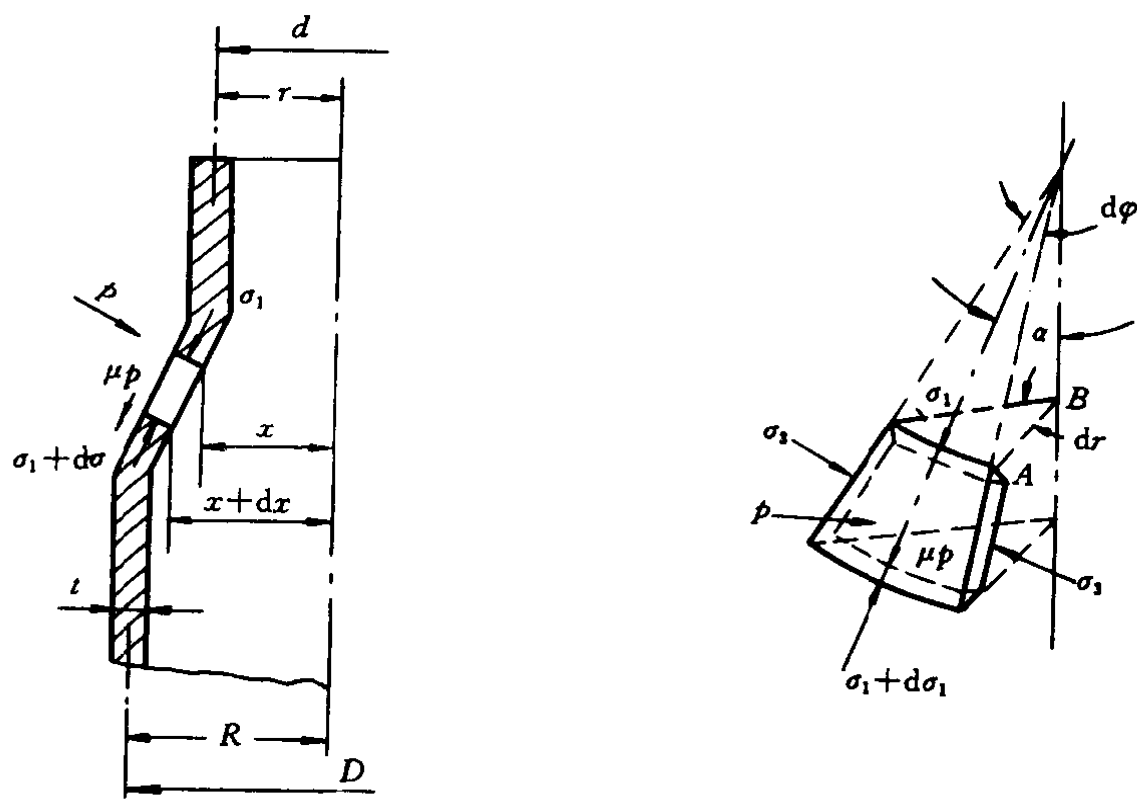


图 3-65 收锥应力分析

$\sigma_3$  为切（周）向压应力。 $p$  为凹模对锥面的正应力。由于收锥是用收锥应力  $p_{zh}$  推毛坯入凹模的，故  $\sigma_1$  应为压应力。将这些力投影到锥面方向，建立平衡分方程为

$$\sigma_1 t x d\gamma - (\sigma_1 + d\sigma_1)(x + dx) t d\gamma + \mu p x \frac{dx}{\sin \alpha} d\gamma + 2\sigma_3 t \frac{dx}{\sin \alpha} \sin \frac{d\phi}{2} = 0$$

经整理、化简，并用简化的塑性方程  $\sigma_1 + \sigma_3 = 1.1\sigma_s$  消去  $\sigma_3$ ，积分后可得最大收锥应力  $\sigma_{1\max}$  为

$$\sigma_{1\max} = 1.1\sigma_s (1 + \mu \cot \alpha) \left(1 - \frac{d}{D}\right) \quad (3-64)$$

式中  $\alpha$ ——半锥角；

$D$ ——收锥前直径；

$d$ ——收锥后直径；

$\sigma_s$ ——材料的屈服极限。

产生  $\sigma_{1\max}$  所需的轴向应力  $p_{zh}$  为

$$p_{zh} = \frac{\sigma_{1\max} \alpha}{\cos \alpha} = 1.1\sigma_s (1 + \mu \cot \alpha) \left(1 - \frac{d}{D}\right) \frac{1}{\cos \alpha}$$

## 3. 收锥力 $p_{zh}$

$$P_{zh} = \pi d t_{pj} p_{zh} = 1.1\sigma_s \frac{\pi d t_{pj}}{\cos \alpha} (1 + \mu \cot \alpha) \left(1 - \frac{d}{D}\right)$$

式中  $t_{pj}$ ——锥体平均壁厚。

上式中的  $\sigma_s$  没有考虑到加工硬化，应用平均变形抗力代替。如用幂强化规律计算，则可用公式 (2-36)。

$$\sigma_s = \frac{1}{1+n} A \epsilon^n$$

式中  $\epsilon$ ——收口的真实应变变量,  $\epsilon = \ln(D/d)$ 。

$$P_{zh} = 1.1 \frac{\pi d (t_0 + t_1)}{2 \cos \alpha} (1 + \mu \tan \alpha) \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(\frac{1}{1+n} A \epsilon^n\right) \quad (3-65)$$

瓶形药筒体部收锥变形度很小, 但因体长、 $\alpha$  小及壁厚, 故收锥力不可忽视。

#### 4. 收口力 $P_{sh}$

收锥力加上收锥时的弯曲力构成收口力。当  $d/D$  确定后弯曲应力  $p_w$  与收锥应力之比  $p_w/p_{zh}$  基本上是定值, 见下表:

|              |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|
| $d/D$        | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 |
| $p_w/p_{zh}$ | 0.35 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

设 
$$n_w = 1 + \frac{p_w}{p_{zh}}$$

并考虑到变形速度使变形力增加的变形速度系数 1.15 (在液压机上收口时由于速度较慢, 可取 1), 则收口力  $P_{sh}$  为

$$P_{sh} = \frac{2n_w d (t_0 + t_1)}{(1+n) \cos \alpha} (1 + \mu \tan \alpha) \left(1 - \frac{d}{D}\right) A \epsilon^n \quad (3-66)$$

收口力计算的理论公式还可从其它塑性加工原理的书中找到, 如参考文献 [11]。

### 五、收口系数与收口次数

#### 1. 收口系数

收口系数是收口变形程度的指标, 收口是直径的缩小, 因此用收口前后直径之比来表示变形程度是恰当的, 即

$$\text{收口系数} \quad m = \frac{d_k}{D_n} \quad (3-67)$$

式中  $d_k$ ——弹壳口部外径;

$D_n$ ——收口前毛坯外径 (即末引工件的外径)。

$m$  越大, 变形程度越小,  $m$  越小, 则变形程度越大。

#### 2. 影响收口系数的因素

希望有较小的收口系数, 以便减少收口次数。然而收口系数不能过小。收口属压缩类变形, 压缩类变形的破坏形式是起皱, 而不是破裂。当变形程度过大时会产生纵向皱折 (切向失稳)。采用收口冲可以适当地防止口部纵向皱折, 采用拉口冲还可以熨平皱折。但当变形力过大时, 传力区 (待收口的直径为  $D_n$  的那部分毛坯) 会发生横向皱折 (纵向失稳)。

影响收口系数的因素实质上就是影响失稳的因素, 主要有:

(1) 毛坯的壁厚  $t$ : 壁厚越大, 越不易失稳, 允许收口系数取小值。

(2) 毛坯的直径  $D$ : 直径越小, 切向稳定性越好, 允许收口系数取小值。综上所述, 收口毛坯的  $t/D$  越大, 允许的收口系数越小。

(3) 毛坯周向的不均匀性: 如烧口时周向机械性能不均匀, 口部端面处磕碰变形, 口部不齐 (有缺口), 口部有卡痕、毛刺、道线等。这些都能引起不均匀变形而产生皱折。

(4) 材料的机械性能: 弹性模量大的材料不易失稳, 加工硬化指数  $n$  大的材料抗塑性失稳能力强, 即一旦失稳, 产生塑性变形部分的金属能迅速强化, 阻止塑性变形继续发展。

#### 3. 收口次数

收口次数可以用总收口系数与平均收口系数来计算，即

$$n=\frac{\lg m_{\Sigma}}{\lg m_{pj}}$$

式中  $n$ ——收口次数，取整数；

$m_{\Sigma}$ ——总收口系数；

$m_{pj}$ ——平均收口系数。

但实际上都凭经验确定。由于弹壳和药筒的相对厚度  $t/D$  不同，总收口系数与收口次数的经验数据如下：

| 收口次数 | 总收口系数          |                |                |
|------|----------------|----------------|----------------|
|      | 钢弹壳            | 钢药筒            | 铜药筒            |
| 1次   | $>0.75$        | $>0.80$        | $>0.84$        |
| 2次   | $0.64\sim0.74$ | $0.75\sim0.79$ | $0.77\sim0.83$ |
| 3次   | $0.60\sim0.63$ | $0.66\sim0.74$ | $0.70\sim0.76$ |

4. 收口系数的分配

多次收口时，工件直径逐道减小，工件壁厚逐道增厚，即  $t/D$  逐道增大。因此收口系数也可逐道减小。具体分配如下：

(1) 二次收口时：

第一次收口系数  $m_1 = (1.15\sim1.25) m_{\Sigma}$

第二次收口系数  $m_2 = m_{\Sigma}/m_1$

(2) 三次收口时：

第二次收口系数  $m_2 = m_{pj} = \sqrt[3]{m_{\Sigma}}$

第一次收口系数  $m_1 = (1.05\sim1.1) m_{pj}$

第三次收口系数  $m_3 = \frac{m_{\Sigma}}{m_1 m_2}$

几种弹壳和药筒的收口数据列于表 3—12。

表 3—12 几种弹壳和药筒的收口数据

| 参<br>数<br>品          | 枪弹弹壳         |              |       | 火炮药筒  |       |       |       |
|----------------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 56 式<br>7.62 | 53 式<br>7.62 | 14.5  | 海 25  | 37 高  | 57 高  | 100 高 |
| 口部壁厚 $t/\text{mm}$   | 0.33         | 0.33         | 0.77  | 0.8   | 0.9   | 1.4   | 1.8   |
| 口部外径 $d/\text{mm}$   | 8.57         | 8.44         | 14.64 | 27    | 37.8  | 59.1  | 106.1 |
| 末引凹模直径 $D/\text{mm}$ | 11.08        | 12.15        | 26.34 | 34.58 | 45.33 | 90.95 | 137.9 |
| 总收口系数 $m_{\Sigma}$   | 0.77         | 0.70         | 0.62  | 0.78  | 0.80  | 0.65  | 0.77  |
| 相对壁厚 $t/D$           | 0.030        | 0.027        | 0.024 | 0.023 | 0.020 | 0.015 | 0.013 |
| 收口次数 $n$             | 1            | 2            | 3     | 1     | 1     | 2     | 2     |

六、收口中的回弹

收口工件从收口模中退出后直径扩大的现象称为回弹（又称弹性回跳）。回弹现象的实质是塑性变形中的弹性回复。即塑性变形中必然伴有弹性变形，塑性变形结束，卸载时必定产生弹性回复，弹性回复的方向与塑性变形方向相反。收口是直径缩小的变形，因此弹性回复结果必定是使直径增大。

1. 回弹量

弹性回复的应变变量可用下式计算：

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

因此收口后径向弹性回复量为

$$\delta d = \frac{\sigma}{E} D$$

式中  $\epsilon$ ——弹性回复应变变量；

$\sigma$ ——该处金属的弹性极限；

$E$ ——材料的弹性模量；

$\sigma d$ ——径向回弹值（mm）；

$D$ ——回弹部分的直径（mm）。

钢的弹性模量为  $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ ，药筒最高强度为  $750 \text{MPa}$  因此钢药筒的回弹应变量的理论最大值约为 0.0038。然而实测的回弹值比理论计算要大，其原因可能有：

（1）大塑性变形后金属的弹性模量下降，据金属力学性能书籍介绍可降低  $E$  为 6%。图 3-66 为 S15A 钢顺轧向及轧向成  $90^\circ$  时相对应应变变量与弹性模量关系的测试结果。

（2）实测数据中包括了收口模的弹性膨胀量。

钢质药筒的回弹应变变量如表 3—13 所示。需要指出的是，钢药筒的口部、肩部软，体下部硬，而钢弹壳则肩部和体中部硬度高于体下部。

表 3—13 钢药筒、钢弹壳的回弹应变变量

| 部 位 | 56 式 7.62 弹壳     | 53 式 7.62 弹壳     | 14.5 弹壳      | 钢药筒          | 铜药筒         |
|-----|------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
| 口 部 | —(0.0047~0.0082) | —(0.0047~0.0094) | 0~0.0037     | 0.001~0.0014 | 0.009~0.022 |
| 肩 部 | 0.006~0.010      | 0.007~0.012      | 0.002~0.004  | 0.0015~0.002 | 0.008~0.015 |
| 体中部 | 0.0056~0.0084    | 0.0026~0.006     | 0.003~0.0054 | —            | —           |
| 体下部 | 0~0.0026         | —                | 0.0019~0.045 | 0.0028~0.004 | 0.008~0.020 |

2. 关于回弹方向的讨论

收口变形为切向压缩变形，故回弹方向向外（直径扩大）这是无疑的。但当口部有收口冲或拉口冲时，回弹方向变得较难确定。

由于工件离开收口模锥体部后不是立即拐向圆柱部，锥角越大，这种“惯性”越严重，当

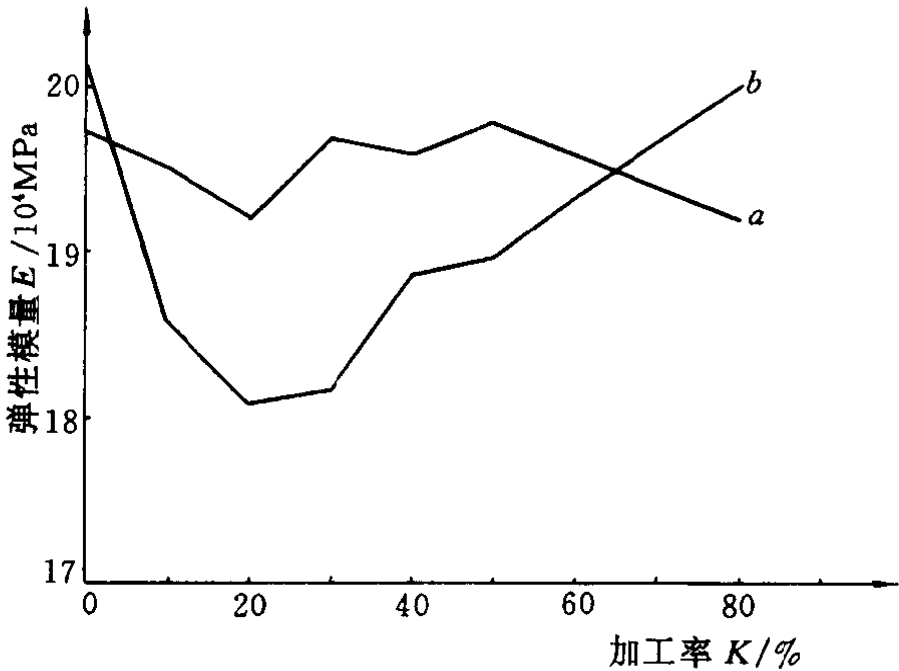


图 3-66 应变变量与弹性模量的关系  
a. 与轧向成  $90^\circ$ ；b. 与轧向平行

口部有直杆式收口冲时，工件将对收口冲施压，而本身则受拉应力。取出收口冲后拉应力释放，直径收缩，形成向内的回弹。

有拉口冲时，由于拉口冲杆部很细，不存在工件压缩杆部的现象，因此工件应向外回弹。拉口冲凸起部将使工件内径扩大，如果扩大量等于向外回弹量，则工件回弹为零；当扩大量大于回弹量的两倍时，口部产生拉伸的塑性变形，这时回弹即向内。表 3—13 中口部回弹量为负，说明回弹是向内的。

## 七、收口模工作尺寸确定

对于多次收口的非末次收口模，可用收口系数来确定其口部直径，即

$$\text{第一次收口部直径} \quad d_1 = m_1 D_n$$

$$\text{第二次收口部直径} \quad d_2 = m_2 d_1$$

对末次收口模尺寸确定，因为改口后工件的外形尺寸已是成品尺寸（药筒则底部还有少量切削加工），所以必须考虑到公差和回弹等因素，予以正确计算。

### 1. 弹壳收口模口部直径 $d_1$

由于收口变形的特点，工件外径与收口模口部直径处并不接触，因此确定该尺寸时是以产品口部内径来计算的。

#### (1) 有直杆式收口冲时

$$d_1 = d_{kn} + 2t_k$$

式中  $d_{kn}$ ——弹壳口部内径；

$t_k$ ——弹壳口部壁厚。

#### (2) 有拉口冲的收口时因拉口时外壁紧贴收口模 $d_1$ 部位，故可用下式计算：

$$d_1 = d_{kw} - \delta d_k$$

式中  $d_{kw}$ ——弹壳口部外径；

$\delta d_k$ ——弹壳口部回弹量。

### 2. 药筒收口模口部直径

药筒口部成形时有搪口和整口两个工序，搪口时搪口套与半成品口外部有 0.1~0.15mm 的过盈量，因该值多属弹性变形范围，对制品外径的影响可不必考虑。但整口必须使口部产生塑性变形才能使口部变圆，因此要考虑整口量。

口部最大外径

$$d_{1\max} = d_{kn} + \Delta d_k + 2t_k - \delta d_k$$

口部最小外径  $d_{1\min} = d_{kn} + 2(t_k - \Delta t_k) - \delta d_k - \Delta_k$

式中  $\Delta d_k$ ——口部内径公差；

$\Delta t_k$ ——口部壁厚公差；

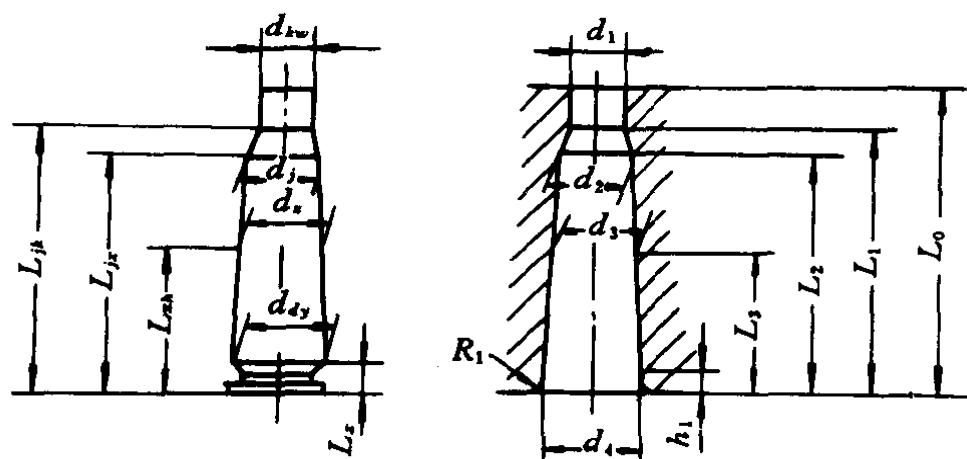


图 3-67 收口模尺寸

$\Delta_k$ ——整口时直径扩大量，0.2~0.4mm。

收口模口部直径  $d_1 = \frac{1}{2}(d_{1\max} + d_{1\min})$

3. 斜肩下直径  $d_2$  (图 3-67)

$$d_2 = d_j - \Delta d_j - \delta d_j$$

式中  $d_j$ ——产品图斜肩下直径；

$\Delta d_j$ ——产品图斜肩下直径公差；

$\delta d_j$ ——斜肩下直径处的回弹量。

4. 中部直径  $d_3$

$$d_3 = d_z - \Delta d_z - \delta d_z$$

式中  $d_z$ ——弹壳中部外径；

$\Delta d_z$ ——弹壳中部外径公差；

$\delta d_z$ ——弹壳中部回弹量。

5. 进口处直径  $d_4$

收口模入口处直径相当于弹壳下体部内底转角附近，或药筒接际部附近。该处一般是不收口的，否则收口力太大，对模具寿命不利。但该部位还必须进入收口模，因此该处直径都取成品的最大直径，有的再放大一个小间隙。

$$d_4 = d_{dy}$$

式中  $d_{dy}$ ——弹壳底部外径。

从直径  $d_4$  起收口模用大圆弧或锥度向外过渡，以避免底部的缩径。

6. 斜肩定位弹壳收口模各高度确定

弹壳和药筒按其在膛内定位方式，主要可以分为斜肩定位（以枪弹弹壳为多）和底缘定位（以火炮药筒为主）两大类。它们的产品图上各直径高度的标注基准是不同的。斜肩定位产品尺寸标注基准是弹壳的底面，而这个基准面在收口模上无法给予固定的位置，只靠送料冲的终点位置来确定。因此这种收口模各直径高度的基准是收口模有的底平面。

(1) 进口部分高度  $h_1$ ：对全进入收口模的弹壳： $h_1 = 5 \sim 6\text{mm}$ ；对不全进入收口模的弹壳： $h_1 = 2 \sim 3.5\text{mm}$ ；进口处圆弧半径： $R_1 \approx h_1$ 。

(2) 上斜肩高度  $L_1$ ：全进入收口模内时： $L_1 = L_{jk} + h_1$ ；不全进入收口模内时： $L_1 = L_{jk} - L_z + h_1$ 。式中， $L_{jk}$ 为产品图斜肩上直径到底面高度； $L_z$ 为弹壳底槽总高度。

(3) 下斜肩高度  $L_z$ ：完全进入收口模时： $L_z = L_{jx} + h_1$ ；不全进入收口模时： $L_z = L_{jx} - L_z + h_1$ 。式中， $L_{jx}$ 为产品图斜肩下直径到底面高度。

(4) 体中部直径高度  $L_3$ ：完全进入收口模时： $L_3 = L_{zh} + h_1$ ；不全进入收口模时： $L_3 = L_{zh} - L_z + h_1$ 。式中  $L_{zh}$ 为弹壳中部直径至底面的高度。

(5) 收口模总高度  $L_0$ ： $L_0 = L_1 + (1.4 \sim 2.0)d_{kw}$ 。

7. 底缘定位药筒收口模各直径高度

底缘定位药筒是以药筒底缘的上平面与炮膛定位。其尺寸基准为底缘上平面（但此时该处尚未进行机械加工）。收口模尺寸标注见图 3-68。

(1) 圆柱部高度  $L_3$

$$L_3 = h_k + \Delta h + (10 \sim 20)$$

式中  $h_k$ ——药筒口部高的产品图尺寸；

$\Delta h$ ——切口余量，15~20mm。

(2) 斜肩高度  $L_2$

$$L_2 = h_j - (1 \sim 2)$$

式中  $h_j$ ——药筒产品图的斜肩高度。

公式中减去 1~2mm 是考虑到收口后的回弹。

(3) 下斜肩高度  $L_1$ ：当收口模端面与工件底缘上平面接触时

$$L_1 = h_{jx} - \Delta t_y$$

式中  $h_{jx}$ ——产品图下斜肩到底缘上平面的最小高度；

$\Delta t_y$ ——底缘上平面切削余量。

$$\Delta t_y = s_1 - s_2$$

式中  $s_1$ ——压底制品的内底距；

$s_2$ ——产品图内底距。

如采用底缘不与收口模端面接触的方式收口，则

$$L_1 = h_{jx} - \Delta t_y - \Delta s$$

式中  $\Delta s$ ——定位块高度与底缘最大厚度之差，取 1~1.5mm。

(4) 入口处直径高度  $h_1$ ：该处相当于药筒内底转角小圆角范围，工件的壁厚很大，应避免在该处缩径。 $h_1$  如果过小，会形成厚壁部分，甚至底部缩径，以致收口力剧增，退料力增大，模具磨损加大。一般取产品图上规定的接际部切削高度的中限。

(5) 上下斜肩处圆角半径  $r_1$ 、 $r_2$  可取产品图给出的数值。入口处  $r_3$  取 8~10mm。

#### 8. 前几道收口模斜肩下直径

各种药筒和弹壳体部锥度都很小，从收口系数计算，一次收口完全可以收成。但实际上多次收口时斜肩下直径不是在第一次收口时就完成的，一般是：

$$\text{首次收口} \quad d_{21} = D_n - (0.55 \sim 0.65)(D_n - d_j)$$

$$\text{中间道次} \quad d_{22} = D_n - (0.35 \sim 0.45)(D_n - d_j)$$

式中  $d_{21}$ ——首次收口模斜肩下直径；

$d_{22}$ ——中间道次收口模斜肩下直径；

$D_n$ ——末引工件外径；

$d_j$ ——产品图斜肩下直径。

### 八、收口模结构

收口模都是在斜肩处分段制造的，这样可使模具制造简化，此外斜肩段是最易磨损的，做成分段式可以经济地使用模具。对于大口径药筒，则体部还分成两段制造。段与段之间的配合如图 3-60 所示。

图 3-69 为弹壳收口模结构。内层为硬质合金层，外用套圈箍紧并连结两段模具。

图 (a) 是用一层套圈，故适用于受力不大的小口径弹壳收口之用。

图 (b) 为二层套圈，适用于大口径弹壳收口。

图 (c) 为大口径弹壳的第二、三次收口模。其特点是斜肩处有四个径向排气槽。因为在

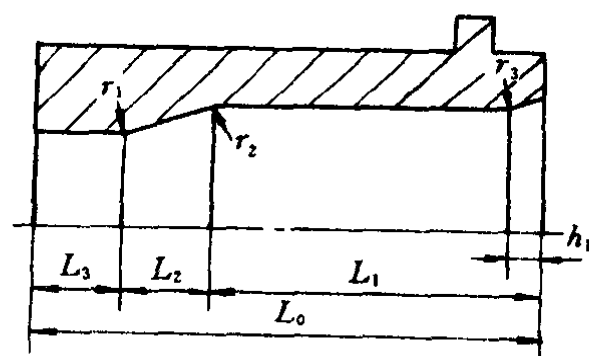


图 3-68 底缘定位药筒收口模

弹壳的第一次以后的各次收口时，口部端面与收口模锥形部紧密配合，体部也与收口模相应部卡紧（图 3-69 d），如不设排气孔则空气和润滑液无法排出，收口后工件肩部会形成凹陷或皱折。

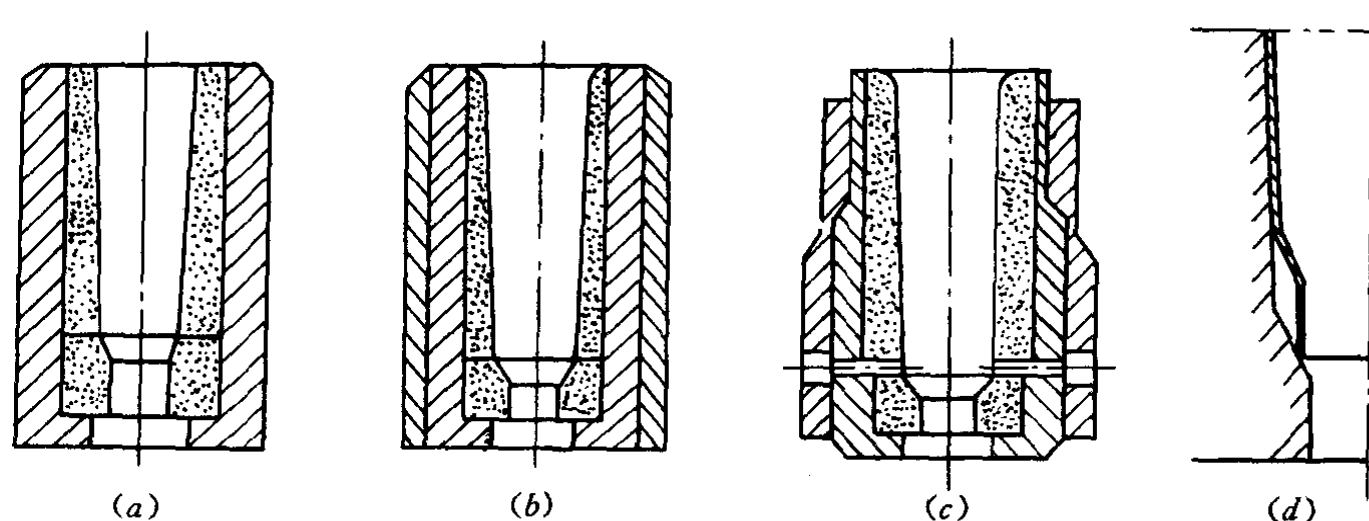


图 3-69 收口模结构

排气槽开在两段模具结合处的端面，槽宽 2~4mm，随口径而增大。大口径收口模在体部还开四个 3mm 的排气孔（图 3-70），此外体部还车出许多浅的环形沟槽，槽宽 3~12mm，槽深 0.5~2mm，槽距 8~40mm，导角 0.2~0.5mm。开槽的目的是储存润滑液、杂质，减少工件和模具的接触面，以降低摩擦力。

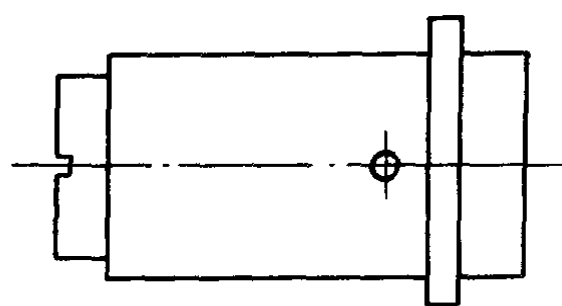


图 3-70 药筒收口模

## 九、收口工序的检验

### 1. 口部内径

口部内径直接影响拔弹力。用塞规检验。对于涂漆弹壳，涂漆后口部内径要缩小（一般为 0.01~0.02mm），设计塞规时应考虑到这一因素。

### 2. 收口全形规

全形规是枪（炮）管上弹膛的一部分（但尺寸略有差别），用以检验弹壳的口部、肩部和体部三者的不同心度，检验弹壳与弹膛的初始径向间隙和轴向间隙。

显然全形规只能控制初始径向间隙过小（即直径过大）的弹壳，即控制收口模磨损后的产品，至于径向间隙过大的检验是依靠收口模和全形规的径向尺寸来控制的。轴向间隙是用全形规与弹壳体长度量器配合检查。

### 3. 体部长度

弹壳体长度检验器是检查斜肩到底平面的高度（对斜肩定位的弹壳）或检查斜肩到底缘上平面高度（对底缘定位的弹壳）。

此外还应检查底火室直径大小，因为收口送料冲安装不好时会撞坏底火室，收口模入口处直径过小也会导致底火室变形。

### § 3.13 切 口

引伸后的制品口部不齐，呈倾斜或花瓣形，有时有纵裂纹，对覆铜钢弹壳还会出现局部露钢。这是因为冲子、凹模和毛坯不可能绝对同轴，稍有偏移即会出现口倾斜。板料各向异性严重时，孟子口部出现花瓣形，在引伸后更明显。覆铜钢厚板冲孟时，孟子口部端面呈倾斜，在引伸后这个端面将转为口部壁厚，由于孟子端面是没有覆铜层的，因此出现引伸后口部露钢。

口部的这些缺陷必须切去，否则引伸后的刮料困难，收口也无法进行（收口毛坯必须口部平齐、对称）。切口次数与引伸次数、引伸件的壁厚与直径之比、成孟方法（冲孟、挤孟）等有关。以前弹壳和药筒都需两次切口，后来因引伸次数的减少，冲孟改为挤孟（挤孟孟子口部平齐），目前都为一次切口。当然在收口后的车底齐口工序中还须切去小段口部，使弹壳达到最终尺寸。所以切口后工件高度确定时，必须给以后的齐口留有余量。合理的切口高度应在实际生产中反复试验调整后确定。过大的切口量固然浪费金属，但过小的切口量会造成切口困难（口部缺陷切不尽）和收口废品增加等问题。

切去口部金属的方法有两种，即切口和挤口（又称轧口）。切口是用刀具切断孟子口部的一段金属。这种方法的精度高，切面质量好。但它是在单独工序中进行的，因此增加了相应的设备，人员和工具。挤口由于是和引伸同时进行的，因此与切口相比节省了一道工序及相应的设备和人员。但挤完口后的孟子口部有毛刺和缺口，对以后的加工不利，也降低了工具的寿命。

切口适于薄壁件，故常用于小口径枪弹零件。薄壁件挤口后工件的退料很困难，因为刮料圈对孟子的作用面积很小。挤口都用于厚壁件，如大口径弹壳和药筒。

#### 一、切口

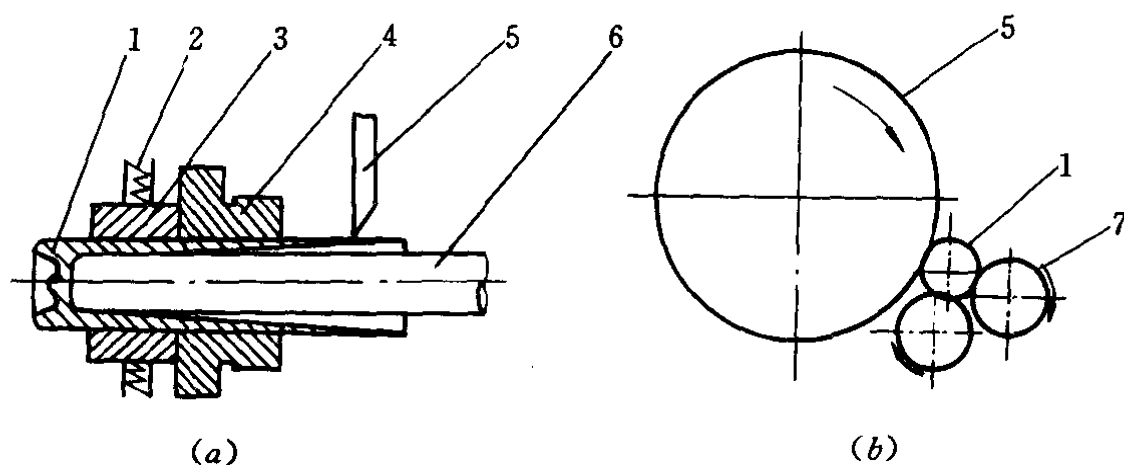


图 3-71 两种切口方式

(a) 工件旋转方式；(b) 刀子旋转方式

1. 待切口制品；2. 弹簧；3. 卡子；4. 导管；5. 切口刀；6. 送料冲；7. 辊轮

切口有两种方式：

1. 工件主动旋转

这种切口装置的工作原理见图 3-71 (a)。待切口制品 1 由送料冲 6 送入高速旋转的（每分钟 2000 转以上）卡子 3 内，卡子是一个半剖的空心圆柱。每块半圆柱有弹簧 2 压紧，使制品能和卡子一起高速旋转，并在切口时不打滑。圆盘切刀 5 由凸轮控制，对制品施压，并随制品一起转动，将工件切断。

这种切口方法的优点是切口后的制品与切屑能分离干净，适用于壁厚为 0.2~0.3mm，材质较软的制品，缺点是长度公差较大。

## 2. 圆盘刀主动旋转

这种切口方式是将待切制品置于两个不旋转的辊轮上，制品底部有顶冲支撑。当高速旋转的圆盘切刀与制品接触时，制品与辊轮也随摩擦而转动，将口部切（挤）断（图 3-71 b）。这种方法的优点是口部质量较好，长度公差小，适于口部壁较厚而硬的制品，其缺点是制品与切屑不易分开，从而增加了辅助工序。

切口圆盘刀形状见图 3-72。材料为 W18Cr4V，淬火硬度 HRC61~65。其有关数据为：

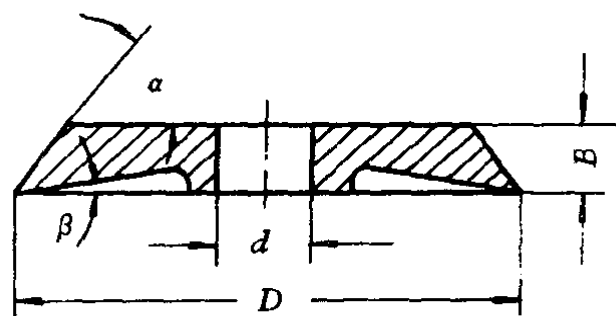


图 3-72 切口圆盘刀

外径 D：取 85~110mm，应考虑用钝后重磨，会使直径减小；

内径 d：根据刀轴直径确定；

宽度 B：取 4~8mm；

前角  $\beta$ ：取 2~3°，目的是减小刀具与制品的摩擦；

后角  $\alpha$ ：用工具钢制造时为 30~45°，用轴承钢及高速钢制造时为 40~60°，此角度可由操作工人按质量情况进行修磨。

圆盘切刀旋转线速度为 8~12m/s，而制品的旋转线速度为 2.5~3.5m/s。

进刀量为 0.005~0.006mm/s。

## 二、挤口

挤口多在末引模具上进行，多模引伸带挤口时，挤口是在最末一个凹模内实现的，图 3-73 为双模引伸带挤口的模具结构。

经过上模 5 引伸的制品进入下模 2 内引伸，当引伸到冲子 6 的凸台时，由于冲子直径徒增，引伸加工率增大，金属在冲子和凹模的挤和拉力的作用下挤断。被挤断的料圈 3 卡在冲子上，回程时引伸件被刮料模刮下，而料圈则被料圈刮模 4 刮下。这样，制品和料圈很容易分开。

这种模具的结构较复杂，且上下凹模的间距大，使冲床所需的行程增大。

挤口模和挤口冲的有关数据如下：

(1) 末引模全锥角取 30~40°，比一般引伸凹模略大。

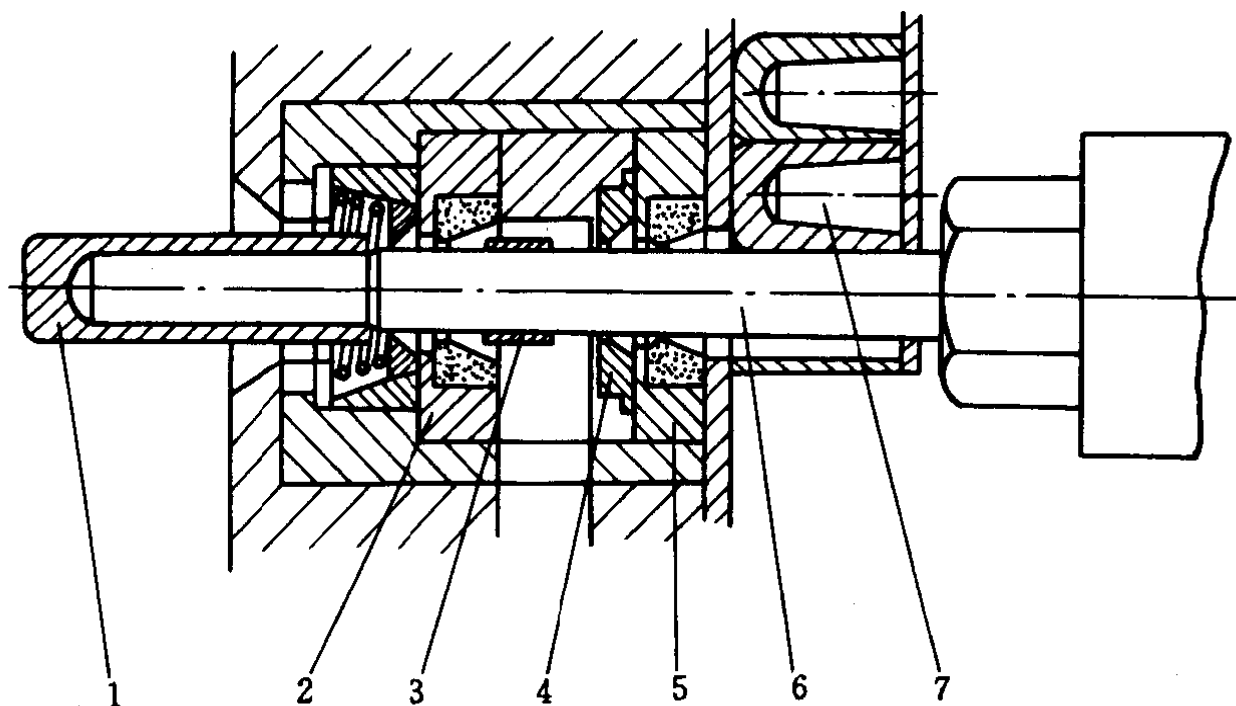


图 3-73 双模引伸带挤口模具

1. 末引制品；2. 下模；3. 挤口料圈；4. 料圈刮模；5. 上模；6. 引伸带挤口冲；7. 末前引制品

(2) 挤口冲凸台直径  $d_i$  (图 3-74)

$$d_i = d_1 + (1.4 \sim 1.6)t_k$$

式中  $t_k$ ——引伸件口部壁厚。

$d_i$  应小于挤口前口部内径。

(3) 冲子斜角  $\beta$ :  $\beta$  角太大则口部毛刺多, 太小又不易被挤断。双模引伸带挤口时取  $15 \sim 25^\circ$ , 单模引伸带挤口时取  $30 \sim 45^\circ$ 。

(4) 凸台位置视引伸后切口高度而定。

枪弹的引伸带挤口多在卧式冲床上进行, 主要是料圈易于退出和分开。药筒的挤口都是在立式压床上进行, 其料圈退出较为麻烦。

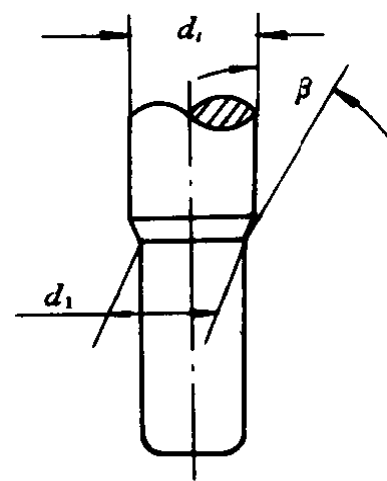


图 3-74 挤口冲

### § 3.14 冲传火孔

药筒使用旋入式底火, 其底火室和传火孔都是由机械加工来完成的。枪弹弹壳使用压入式底火, 其底火室由压底工序形成, 而传火孔则由单独的冲传火孔工序完成。

传火孔的作用是使击发药形成的高温火焰和气体通过该孔, 传入药室, 点燃发射药。

活火台结构的底火, 因为底火室内无火台, 火台是装在底火内的, 故传火孔只有一个, 且在中心位置。我国制式枪弹都用固定火台结构, 传火孔设在火台两侧, 且都为两个传火孔。

多次大量试验证明, 一个传火孔时照样能有良好的点火性能, 但为了保险起见, 仍采用两个传火孔。

传火孔的个数(或面积)对初速和膛压有一定影响。试验表明, 传火孔个数(或面积)增加, 则初速和膛压将下降, 其具体数据见表 3-14<sup>[21]</sup>。

传火孔直径都很小, 因此冲子很细, 从稳定性角度考虑, 希望传火孔直径大于隔板厚度, 略小于隔板厚度也可, 但冲子易折断。大口径弹壳原来是钻传火孔的, 其生产率极低, 后来

减薄隔板厚度，由钻孔改为冲孔。有的传火孔轴线与弹壳轴线成一定倾角（其设计思想是让气体形成旋涡，加强点火效果），对这种传火孔只能用钻床钻孔了。

表 3—14 传火孔数目对枪弹的初速和最大膛压的影响

| 枪 弹 名 称        | 弹 道 性 能   | 传 火 孔 个 数 |       |       |       | 降低值  |
|----------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|------|
|                |           | 1         | 2     | 3     | 4     |      |
| 51 式 7.62 手枪弹  | 最大膛压/MPa  | 197.8     | 186.9 | 183.7 | 180   | 17.8 |
|                | 初速/ (m/s) | 448       | 442   | 437   | 436   | 12   |
| 56 式 7.62 步枪弹  | 最大膛压/MPa  | 256.5     | —     | —     | 255.4 | 1.1  |
|                | 初速/ (m/s) | 727       | 720   | 719   | 714   | 13   |
| 56 式 14.5 高机枪弹 | 最大膛压/MPa  | 284.6     | —     | —     | 282.5 | 2.1  |
|                | 初速/ (m/s) | 969       | —     | —     | 966   | 3    |

对覆铜钢弹壳，冲孔工序安排在收口前，即在压底、烧口、酸洗之后。因为在口部软化后可以利用冲孔的大冲（送料冲）在口部相应位置进行整口，使口部规整，从而减少收口废品，提高收口质量。

冲传火孔模具属冷冲模中的冲小孔模具，模结构有两种：

1. 冲针固定式

冲针（冲子）1 套在小针套 3 内（图 3-75），小针套 3 套在压针轴 4 内，并由小针套螺帽 7 将小针套和冲针压紧。大针套 2 套在小针套外，并由大针套螺帽 6 压紧。

大针套端部外形应与底火室相适应，即外径略小于底火室（约 0.05~0.1mm），外径深度略大于底火室深（约 0.05~0.12mm），火台凹的直径和深度也应略大于火台尺寸。

这种结构中冲针的固定及导引较可靠，但更换冲针较麻烦。

2. 快卸式（图 3-76）

冲针 10 由二瓣式的针卡子 9（图 3-77 a）夹住，塞进冲杆 5 的盲孔内，用冲针顶紧螺钉 8 压紧针卡子 9，冲针卡套 11 在冲杆外径上滑动，冲针卡套 11 上有两个孔，引导冲针，卡套左移时压缩弹簧 3，冲孔完毕时大冲 12 右移，弹簧 3 伸长，卡套右移，起卸料作用。冲孔大冲 12（见图 3-77 c），端面有两个孔作冲孔凹模用，离孔一定距离后有一落料孔，大冲与弹壳口相应位置的直径略大于弹壳口部内径，起整口作用。

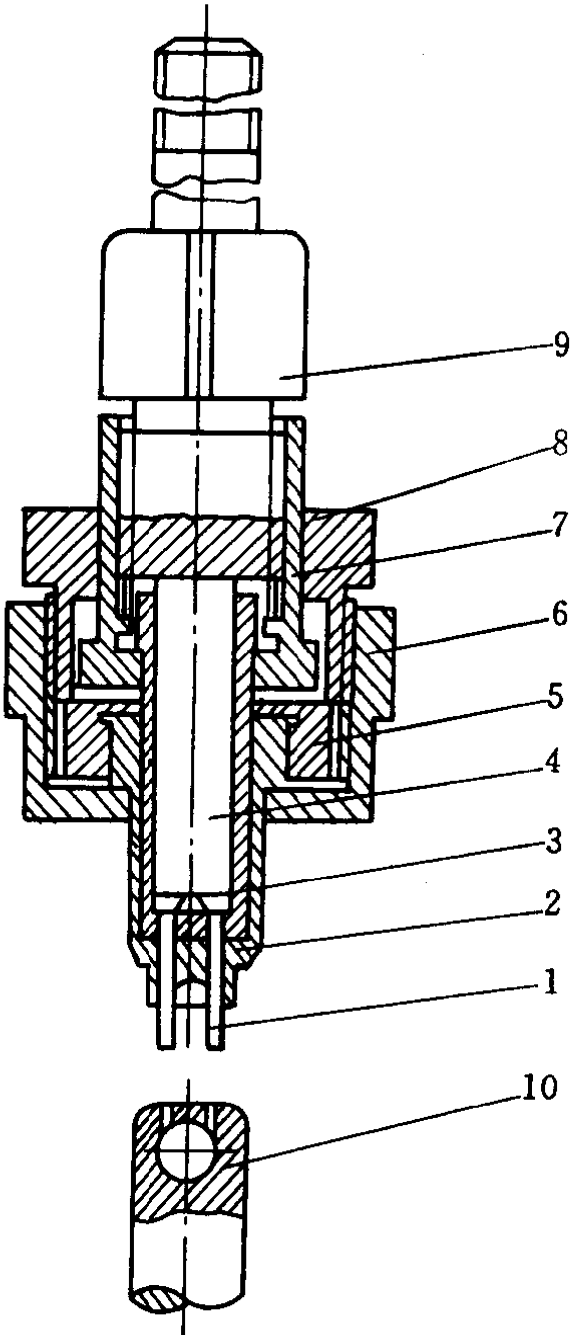


图 3-75 冲针固定式冲孔模

1. 冲针；2. 大针套；3. 小针套；4. 压针轴；5. 垫圈；6. 大针套螺帽；7. 小针套螺帽；8. 大针套接头；9. 冲柄

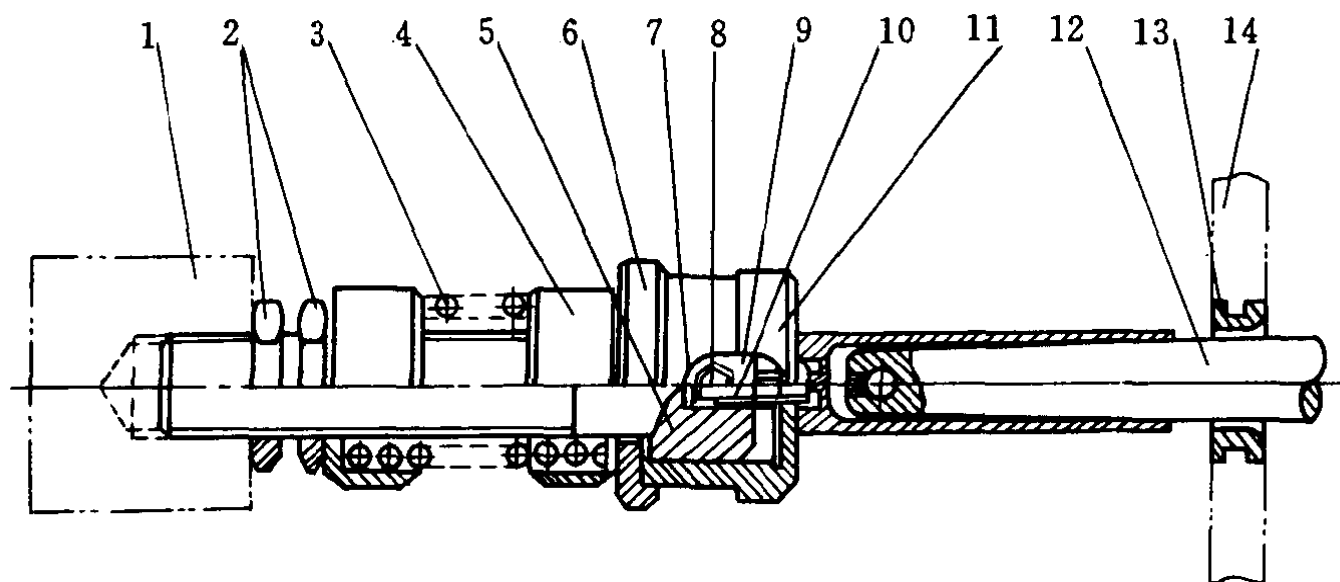


图 3-76 快卸式冲孔模

1. 冲杆座；2. 螺帽；3. 弹簧；4. 弹簧垫圈；5. 冲杆；6. 弹簧挡圈；7. 冲针垫；8. 冲针顶丝；  
9. 冲针卡子；10. 冲针；11. 冲针卡套；12. 冲孔大冲（兼冲孔凹模）；13. 退料卡套；14. 退料卡套架

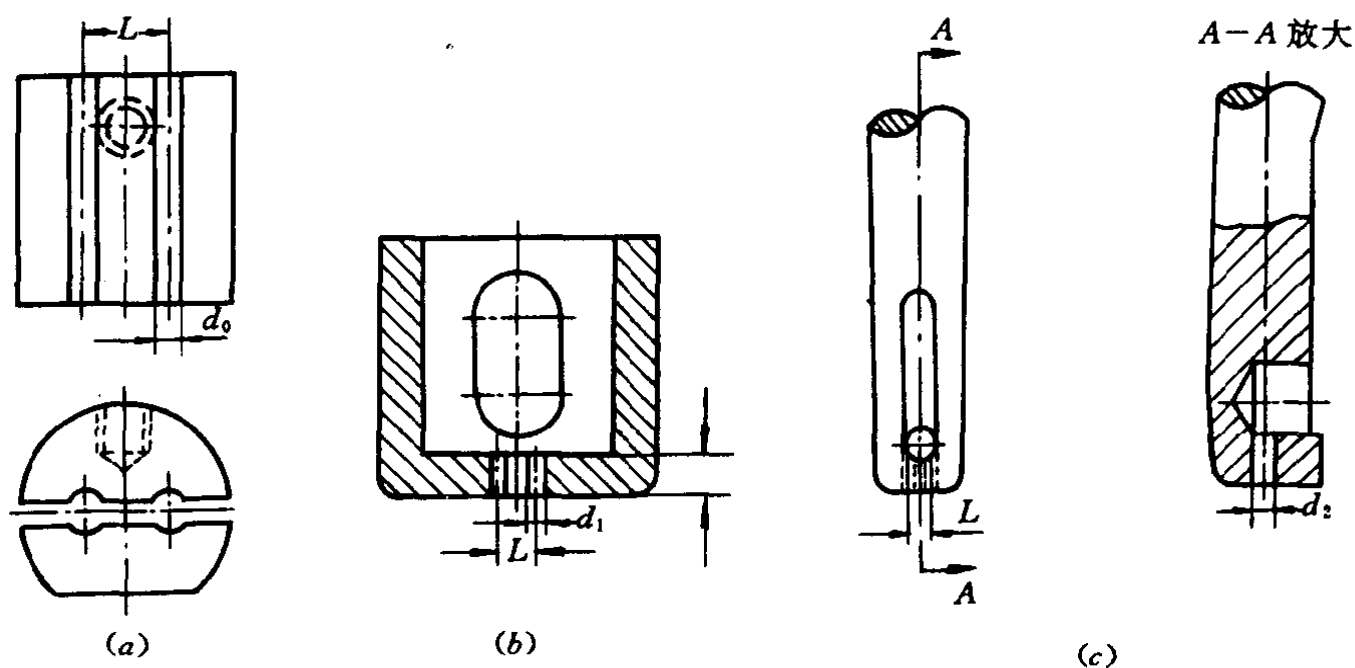


图 3-77 冲孔模主要零件

(a) 针卡子；(b) 卡套；(c) 冲孔大冲

换针时只要拧松冲针顶紧螺钉 8，取出断针，插入新针，拧紧螺钉即可。

针卡子的针孔直径  $d_0 = d + (0.05 \sim 0.1)$

卡套的针孔直径  $d_1 = d + (0.05 \sim 0.1)$

冲孔凹模直径  $d_2 = d + z$

针孔中心距  $L = L_z$

式中  $d$ ——冲针直径；

$L_z$ ——产品图传火孔中心距；

$z$ ——冲孔模的合理间隙，实际使用的间隙远大于一般的冲裁间隙，因为冲床转数太快。

工厂里采用  $Z = 0.4 \sim 0.9 \text{ mm}$

冲孔机有立式和卧式两种，立式的排屑容易，但生产效率低，卧式的则反之，我国广泛采用卧式机床。冲针很易折断，折断后造成单孔或无孔的疵病。因此除弹壳生产中设有检孔工序外，应设有断针自动停车装置。

冲孔工序的其它疵病有：

冲孔屑未冲掉：主要是冲针变钝，冲针倾斜角太大，冲针太短，冲针弯。

孔未冲透：因冲针短或折断一部分。

金属屑冲入内隔板：因为弹壳内有油、水或有磁性。

### § 3.15 弹壳的检验与验收

军工产品质量要求很严，除了生产工序上自检外，到成品时要百分之百地检验，最后还要由军方代表抽验。

产品检验就技术内容可分为尺寸检验、外观检验和性能试验三个方面。其中性能试验（射击试验）是全弹装配完毕后进行的，但弹壳车间可以对本批弹壳先进行射击试验，以便尽早发现问题予以纠正。

#### 一、尺寸较量

枪弹生产的数量大，要求互换性强，因此必须用产品图要求的公差对产品进行百分之百的尺寸检查。用机械方法对产品尺寸进行检查的方法称为尺寸较量。

尺寸较量是在专用的较量机上进行的。以无底缘的弹壳为例，它可以先后检查弹壳全长、底缘直径大小、底火室直径大小、底火台深浅、底槽直径大小、底缘厚薄、口部内径大小和斜肩高低等弹壳主要尺寸。全部通过者即为尺寸合格，如某一尺寸不合格，则较量机可以将其剔出，并能按尺寸大小进行分类。

较量机的工作原理是杠杆放大机构。根据检验部位不同可有一级或两级放大机构。图 3-78 为二级放大机构的工作原理。其放大倍数  $n$  为：

$$n = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{L_3}{L_4}$$

式中  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ ——杆长。

如果较量冲 5 移动距离  $A$ ，则二级放大杆 2 的摆动量  $B = nA$ 。以较量火台深度为例。弹壳置于顶冲与较量冲之间，顶冲推弹壳前进，弹壳的火台推动较量冲，由于顶冲的行程是固定的，因此火台深浅影响较量杆移动量  $A$ 。当火台深度浅时（火台深度的测量基准为弹壳底平面，火台浅，则火台的绝对高度大） $A$  值大，反之则  $A$  值小。3、4 为两个滑板，滑板带动漏货口的开关，正常公差时杆 2 在  $B$  范围内摆动，滑板 3、4 可以自由地往复运动，这时漏货口是关闭的，当火台深度过浅时，杆子 2 左摆范围超出  $B$  值，将滑板 3 卡住，滑板 3 不能复位，火台过浅的漏货口打开，当该制品移到下一工位较量时，在通过该漏货口时掉落。反之当火台过深时摆杆 2 将滑板 4 卡住，制品落入火台过深的箱子内。

较量机较量精度是用标准样件调试的。标准样件又称尺寸标样。每调整一个尺寸需两个尺寸标样，其中一个略超出验收基本尺寸的上限，另一略低于验收基本尺寸的下限。这两个尺寸标样在通过较量机时都应掉在不合格品中。尺寸标样选得过宽则良品中可能会混入个别

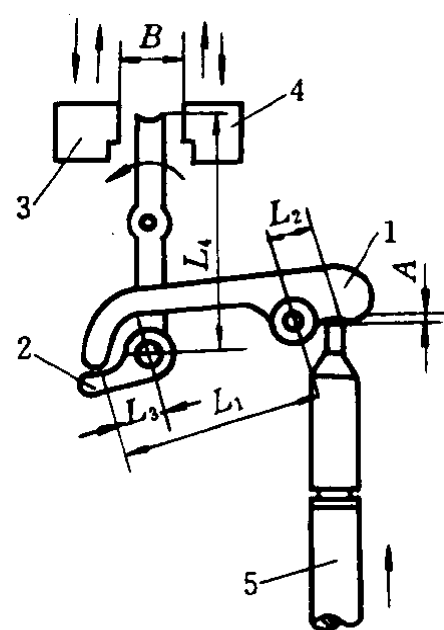


图 3-78 尺寸较量原理

1. 一级放大杆；2. 二级放大杆；  
3、4. 滑板；5. 较量冲

超差品，选得过严则不合格品增加，且不合格品中混有较多的良品。

尺寸标样可以在正常生产的弹壳中选取，也可专门用工具钢制造。前者易得，但易变形，寿命短；后者制造困难，但使用时间长。

在较量机中分拣出的不合格品中可用手工进行检验，并可分为三类，即合格品，可修复品和废品。

合格品是指该尺寸合格，但其它尺寸尚未经较量，如果其它各项尺寸都通过较量，则仍可按良品处理。

可修品是指单项尺寸不合格，但仍能修复者，如弹壳总长大，底缘直径大，底槽直径大，斜肩高度大，火台深度不合格等。

废品是指不合格而又不能修复者，如全长过短，底缘直径过小，底火室直径过大或过小等。

机电结合的较量机已研制成功，它比纯机械式的较量机有高的精度和稳定性，单机生产率提高 80% 以上。

## 二、外观检选

外观检选是枪弹检验的重要内容，目的是选出那些尺寸虽合格但外观有缺陷的产品。这种弹壳同样属于不允许的疵病，它影响射击性能和长期储存性能。例如内外表面有锈迹，覆铜钢弹壳底槽未涂漆，在长期储存中弹壳将被腐蚀损坏。无传火孔的弹壳会造成射击时不发火。由于圆钢的折迭、结疤、裂纹等形成的“料线痕”等是射击后开裂的原因。

外观疵病很难量化，例如划伤、凹痕、污迹、擦伤、皱折、堆漆、漆膜粗糙等。因此必须建立一个生产部门和使用部门都同意的外观标本。外观疵病检选以此标本为准，等于或小于此标本者为合格，大于标本者为不合格。对于不允许产生的外观疵病，不设立标本，明文规定一律剔出。

当前外观检选仍用人工目力进行（图 3-79）。弹壳置于两根旋转的丝杠上，随着丝杠的旋转，弹壳边旋转边移动。在弹壳的口部和底部方向有两面镜子，以便以镜内可以看到内部和底部。

人工外观检选是枪弹生产中最繁重的手工劳动。光电外观检选机的研究尚未投入使用，难度较大。

外观检选剔出的弹壳经与标本比较，有的仍能作良品处理，但有的（超出标本）则按废品处理，有些带疵病的弹壳可以返修后再使用，如无传火孔弹壳可以补冲，口部不圆的可以整口，口部不齐的可以再次齐口，污品、锈迹、漆层不好的可以重新作防腐处理。

## 三、光电检孔

由于断针可形成单孔或无孔，操作中也可能混入未冲孔的弹壳，也可能把已冲孔的弹壳再次冲孔，造成多孔，在辊光操作中稻壳（作为辊光的磨料）可能堵塞传火孔。因此必须有传火孔检查工序，可以利用光电原理实现传火孔的检查。

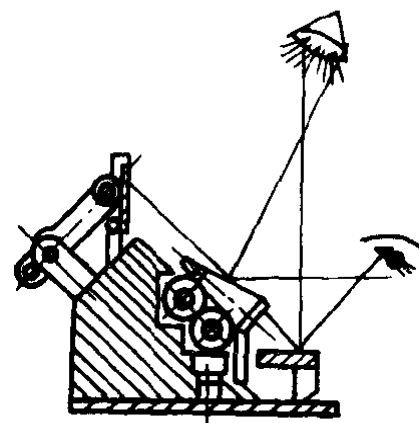


图 3-79 外观检选机原理

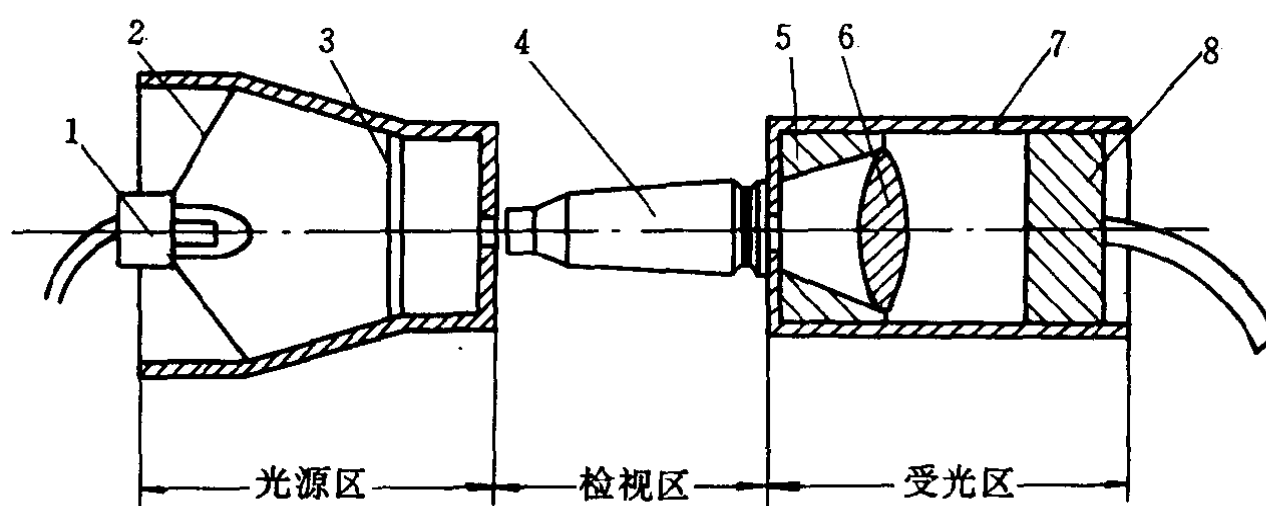


图 3-80 光电检孔原理

1. 灯泡；2. 反射镜；3. 毛玻璃；4. 弹壳；5. 防尘碗；6. 双凸透镜；7. 集光筒；8. 光敏电阻

图 3-80 为光电检孔原理图。灯泡 1 的光线照射到毛玻璃 3 上（用毛玻璃的目的是使光线均匀），反射镜 2 的作用是将灯泡后面的光线反射到前面去，以增大光照，毛玻璃上的光线从弹壳 4 的口部进入，由传火孔传到双凸透镜 6 上，凸透镜的作用是把两个传火孔出来的两束光线聚成一个光点，照在光敏电阻上。由于传火孔的多少，使光敏电阻 8 上接受的光通量发生变化，电阻发生变化，引起电流变化，利用这个信号的变化，控制分选器，分出良品和不合格品。该机必须有稳压电源。

#### 四、弹壳的验收

在弹壳生产的全过程完毕后，还要对弹壳进行抽验，任意抽取一定数量的弹壳进行以下项目的检验和试验。

(1) 尺寸检验：可以用机械，也可以用手工进行检验。全钢涂漆弹壳的尺寸检验是在涂漆工序之前，但涂漆后还应检查几个重点尺寸，防止因漆膜过厚或不均影响合膛。

(2) 外观检验：按技术条件要求，抽取一定百分比好成品进行外观检验，方法同上。

(3) 弹壳强度试验：在该批弹壳中抽取一定数量，装成成弹，按弹壳验收技术条件作弹壳强度射击试验，以考核弹壳强度。

(4) 弹壳硬度检查：药筒各区材料的机械性能是切成料圈，做成试片，用拉伸试验测定的。弹壳因尺寸小，只能用打硬度法来检查各部位的强度。将弹壳沿纵向磨光，磨出一个小平面（因为弹壳是圆的），打出各部位硬度（HV<sub>5</sub>）。其硬度曲线应符合产品验收技术条件的规定。不符合硬度曲线的弹壳，在射击时会发生各种射击疵病。

(5) 弹壳容积测定：弹壳容积直接影响药室容积，药室容积对初速、膛压有影响，是重要的内弹道参数。弹壳的壁厚、全形都是影响弹壳容积的因素。检查弹壳容积时先用假底火装入底火室，用滴定管（酒精或蒸馏水）测定弹壳的内容积。

(6) 底厚与壁厚：用千分表测定。

(7) 弹壳质量：以 10 个弹壳为一组，也可以单个称量。

(8) 防腐蚀性能试验：详见第六章表面处理。

(9) 底部皱折：深的皱折和不正确的皱折方向会影响弹壳底部强度。所以应定期检查。检查时将弹壳剖开，用放大镜或工具显微镜观察其长度和方向。

## 第四章 弹头零件制造

枪弹弹头是直接射向目标的。高速自转的枪弹弹头,是枪弹的重要部件。弹头零件制造和装配的质量不但影响飞行的准确性,而且还影响对目标的杀伤破坏作用。

枪弹的种类很多,此处仅对产量最大的用于杀伤有生目标的普通弹弹头构造作一简介。

普通弹弹头结构如图 4-1 所示。(a)为步枪弹,由弹头壳 1、铅套 2 和钢心 3 组成。(b)为手枪弹,由弹头壳和铅心组成。

弹头壳是连结全部弹头零件并具有良好的外形的零件,在射击和飞行时它承受膛线给予的剪切力和高速旋转时的离心力。因此弹壳的圆柱部应有一定的强度。(产品图上有硬度要求),模具设计时应给予一定的加工硬化量。

铅套的作用是减轻弹头嵌入膛线时对枪管的磨损,并使弹头壳易变形而与膛线嵌合。铅的比重大,可以增加弹重并易于调整全弹头的重心位置。

钢心的作用主要是起充填重量之用,以节约有色金属铅,同时,也可以提高杀伤作用。这种弹头又称钢心弹,而手枪弹由于全由铅填充,故又称铅心弹。

特种弹弹头零件很多,多者可达十几个,但多为杯形件,工艺上无特殊之处,本章仅就弹头壳、铅套和钢心(含穿甲弹心)的制造作一阐述。

解放以来我国工程技术人员在改进弹头结构、改进工艺和提高产量、质量方面取得了很大成绩。如将弹头壳冲尖次数由原来的四次改为两次,普通弹钢心头部由锥形改为弧形(提高了模具寿命),大口径枪弹穿甲钢心由切削改为热斜轧(提高了产量,节省了材料),弹头壳由覆铜钢改为普通钢。此外,在提高弹头射击密集度(精度)方面进行了大量的研究工作,总结出一套提高枪弹射击密集度的方法,还制造出精度极高的运动枪弹,保证了我国射击运动员在国际比赛中取得优异的成绩。工序合并、缩减、组合、联动,采用多冲等都大大的提高了生产率。我国还成功地研制了弹头壳生产及弹头装配的转子自动线。

与弹壳制造相比,弹头零件制造的特点除了有尺寸要求外,还有质(重)量要求,因为装配成的弹头有质(重)量公差规定。其次特别注意轴对称性,壁厚差、端面不垂直轴线、弧形和柱形的轴线不重合等等,均会在自转中产生偏心力,影响精度。还应使每一个批量生产中各个零件的尺寸保持一致性,因为尺寸不同的弹头飞行轨迹(弹道)是不同的,这会降低弹头的射击密集度。生产中工具(凸模、凹模)的更换是影响一致性的重要方面。标准弹的生产除了压缩零件的公差外(缩小公差是提高一致性的重要方法),还规定生产中不允许更换工具。这样才能作为一个“量具”去验枪、验测试仪器和验收枪弹。

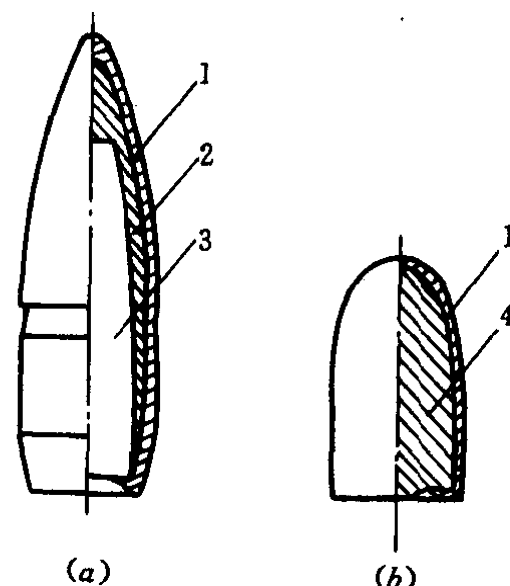


图 4-1 普通弹弹头结构

(a)步枪弹; (b)手枪弹;

1. 弹头壳; 2. 铅套; 3. 钢心; 4. 铅心

§ 4.1 弹头壳制造

弹头壳是由弧形部和柱形部构成的回转体。是将引伸后的孟子(杯形件)底部冲压出弧形而成的(这种冲压称为冲尖)。以 7.62mm 步枪弹覆铜钢弹头壳为例,以前的工艺路线为:

下料冲孟:每次冲出七个孟子。

孟子外观检验:剔除有外观疵病的孟子。

孟子退火、酸洗:消除加工硬化。

引伸:孟子直径继续缩小,壁减薄,并提高壁部强度。

四次冲尖:底部直径逐道缩小,弧形高度逐渐加大。是在四工位卧式冲床(称四联冲尖机)上完成的。

切口:切齐口部,并达到一定长度。

扩口:口部扩成喇叭口,便于装配时其它弹头零件进入。

经改进,冲尖改为两次完成,切口改为挤口,在挤口同时进行扩口,这样四联冲尖机上还有一个空位,把引伸放在四联冲尖机上进行。此外,经试验,取消退火工序对引伸及产品性能无影响,因此现在的工艺流程为:

下料冲孟→洗涤、干燥→外观检选→引伸、冲尖、挤口

洗涤、干燥工序目的是洗去工件上的油污,并使产品干燥,因为冲尖时内部不能有水和润滑油。

弹头壳也可以用普通钢板制造,但最后要电镀黄铜,这会污染环境。

冲尖是弹头壳制造中的特有的冲压方法,本节将重点介绍,至于冲孟、引伸,与弹壳制造基本相同,不再赘述。

一、弹头壳材料

弹头壳材料采用 F11 覆铜钢板,覆铜层为 H90 黄铜,F11 钢的化学成分见表 4-1。

表 4-1 F11 钢的化学成分

| 成分  | 碳     | 锰         | 铝         | 杂 质 (不大于) |      |      |      |      |       |      |
|-----|-------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|------|-------|------|
|     |       |           |           | 硅         | 铬    | 镍    | 铜    | 硫    | 磷     | 硫+磷  |
| 含量% | <0.11 | 0.03~0.55 | 0.02~0.08 | 0.06      | 0.15 | 0.30 | 0.20 | 0.04 | 0.035 | 0.07 |

强度极限 300~400MPa,延伸率  $\delta_5 \leq 28\%$ ,  $\delta_{10} \leq 42\%$ 。

二、毛坯尺寸确定

1. 毛坯厚度

弹头壳毛坯厚度应根据弹头壳的最大厚度来确定,而弹头壳的最厚处是在弹头壳尖端,因此用弹头壳尖端厚度作为毛坯厚度确定的依据。在冲尖成形过程中,弧形部壁厚方向的挤压会使部分金属流向尖部,使尖部增厚。因此毛坯厚度可用下式计算:

$$t_o = ct_j \tag{4-1}$$

式中  $t_o$  —— 毛坯厚度;

$t_j$  —— 弹头壳尖端厚度;

$c$  —— 考虑冲尖使尖厚增大的系数,对圆头弹取 1,尖头弹为 0.67~0.79。

## 2. 毛坯直径

毛坯重量

$$G_0 = G_c(1 + \eta_0) \quad (4-2)$$

式中  $G_c$ ——弹头壳成品重量(产品图给定);

$\eta_0$ ——切口率, 0.15~0.20。

毛坯直径

$$D_0 = \sqrt{\frac{4G_0}{\pi t_0 \gamma}} \quad (4-3)$$

式中  $\gamma$ ——材料的比重, 覆铜钢为 7.91~7.93(g/cm<sup>3</sup>)

## 三、冲孟和引伸工序的特点

弹头壳的下料、冲孟和引伸工序的模具、模具设计与弹壳相同。但因弹头壳是高速自转的飞行体, 对壁厚差和各弹头壳之间的一致性要求比弹壳高, 否则射击密集度会减小(表 4-2), 因此模具设计时应特别予以注意。

表 4-2 7.62mm 步枪弹弹头壳壁厚差对射击密集度的影响

| 壁厚差/mm     | $R_{50}^*/\text{cm}$ |
|------------|----------------------|
| <0.02      | 5.2                  |
| >0.02~0.04 | 5.7                  |
| >0.04~0.08 | 6.1                  |
| >0.08      | 6.9                  |

\*  $R_{50}$ 称半数命中半径, 详见第八章。

(1) 弹头壳圆柱部的硬度, 在产品图上有规定, 引伸工具设计时应与保证弹壳强度一样的方法设计。硬度过低, 则强度不够, 会引起飞行破裂, 硬度过高, 则会影响枪管寿命(磨损加大)或影响弹头装配。

(2) 为减小冲孟时孟子的壁厚差, 冲孟模具设计时应使孟子的相对高度( $h/D$ )不大于 1, 冲孟工序的壁厚尽量不减薄或少减薄。为使冲孟时圆坯稳定地在凹模内成形(不产生横向移动), 冲孟凹模圆角不宜过大, 锥角宜取小, 冲子圆角取小(使端面平面增大, 增加圆片受压面积), 因圆片料移动, 会形成口倾斜(孟口一边高, 一边低), 产生壁厚差。冲孟工序应尽量减小壁厚差, 冲孟产生的壁厚差在引伸中很难被完全纠正的。几种弹头壳的冲孟加工率见表 4-3。

(3) 弹头壳的相对高度( $h/D$ )大, 一次冲孟不能达到成品最终直径, 因此弹头壳的引伸是既有直径的缩小, 又有壁部的减薄。为减小引伸壁厚差, 引伸上模以减小直径为主, 尽量不减薄或少减薄壁厚, 而引伸下模主要是减薄壁厚。此外, 引伸冲必须有导向套。凹模锥角取小值。几种弹头壳的引伸加工率见表 4-4。

表 4-3 几种弹头壳的冲孟加工率

| 名 称           | 毛坯/mm |      | 加工率/% |       |       |
|---------------|-------|------|-------|-------|-------|
|               | 直径    | 厚度   | 直径    | 壁厚    | 总和    |
| 56 式 7.62 普通弹 | 20.4  | 0.99 | 54.37 | 6.92  | 57.53 |
| 53 式 7.62 钢心弹 | 21.2  | 1.07 | 52.81 | 14.49 | 59.60 |
| 51 式 7.62 手枪弹 | 15.2  | 0.99 | 35.48 | 40.15 | 61.38 |

表 4-4 几种弹头壳的引伸加工率

| 名 称           | 直径/%  |      |       | 壁厚/%  |       |       | 面积/%  |       |       |
|---------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | 上模    | 下模   | 总     | 上模    | 下模    | 总     | 上模    | 下模    | 总     |
| 56 式 7.62 普通弹 | 14.86 | 9.7  | 23.12 | 0     | 46.38 | 46.38 | 14.85 | 49.21 | 56.75 |
| 53 式 7.62 钢心弹 | 20.22 | 9.6  | 27.91 | 0     | 51.03 | 51.03 | 21.77 | 53.40 | 63.51 |
| 51 式 7.62 手枪弹 | 22.64 | 3.42 | 25.34 | 23.55 | 46.79 | 59.33 | 40.86 | 47.24 | 68.80 |

(4) 为减小壁厚差和提高尺寸一致性, 在操作中应按料片的实际厚度分类加工, 一般每隔  $0.03 \sim 0.04\text{mm}$  为一个类, 每张料片的中部和边部所冲出的孟子应分开, 因为料片的厚薄直接影响弹头壳尖部直径, 而尖部直径直接影响挤口壳长度和弹头的全长。

#### 四、冲尖变形分析

冲尖是将孟子的底部和体部的一部分直径缩小, 使之成为弧形的一种冲压方法。这种成型可以有两种方法, 即称为推尖和冲尖(图 4-2)。

推尖是将切过口的孟子用冲子推入弧形凹模内, 使底部逐渐缩小直径, 这种变形方式与收口类似, 切向和轴向均受压缩应力, 不会冲断, 还省去一个冲子。其缺点是弧形部壁厚无法控制, 形状也不很规则(因为内表面为自由表面)。其次是弹头壳全长和尖端直径波动较大, 因为在推尖时冲子的行程是固定的, 孟子的长度决定了推尖后弹头壳的长度, 也极大地影响弹尖直径, 而弹尖直径对弹道性能的影响是很明显的。因此我国不采用此种方法。

冲尖是用带弧形的冲尖冲作用在孟子底部, 一方面使底面的金属缩成弧形的尖部, 同时也拉孟子壁部金属进入弧形凹模, 缩成弧形。这种变形方式由于冲子的行程终点可调, 故尖部直径准确。由于是冲尖后切口, 故弹头壳全长公差仅取决于切口公差。此外, 在冲尖终了时弧形部可在冲子与凹模内整形(挤压), 故弧形规矩, 弧形部壁厚易控制, 其缺点是尖部容易冲穿。总的说来冲尖的弹头壳质量高, 故我国采用冲尖法制造弹头壳弧形部。

冲尖时孟子进入凹模, 在起弧点(图 4-3 中的  $B$  点)由于直径的缩小而受阻, 这时冲尖冲的尖部对孟子底部施力,  $B$  点受到凹模的阻力, 它分为水平分力和垂直分力, 水平分力使孟子直径收缩。 $B$  点的变形阻力较大, 以至尖部( $C$  点)金属不能支撑而产生塑性变形。 $C$  点的变形类似局部成型中的压包(压凹), 受到两个径向拉应力和拉应变, 厚度方向因是自由表面, 故不受应力, 但受到压缩应变使尖端因拉伸而减薄。在  $B$  与  $C$  之间的一段金属  $D$ , 是冲尖变形的传力区, 它承受着使  $B$  点缩径所需的拉应力。由于  $D$  点直径的缩小, 也受到切向压缩应力。冲子头部与金属的接触面开始是一个点, 很易冲穿, 随着冲子的前进, 接触面积也增大, 承载能力也增大, 它拉  $B$  点进入凹模, 收成弧形。由于弹头壳孟子是变薄引伸的, 即底厚大于壁厚, 故第一次

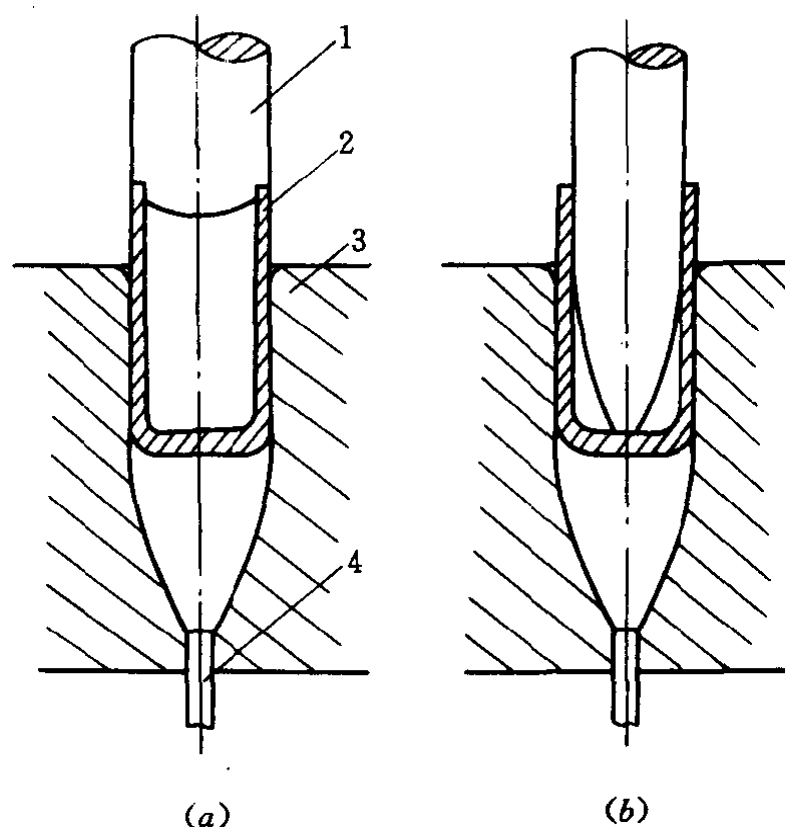


图 4-2 弹头壳弧形部成型方法

(a) 推尖; (b) 冲尖

1. 冲子; 2. 孟子; 3. 凹模; 4. 退料冲

冲尖后工件形成如图 4-4(b) 的形状。

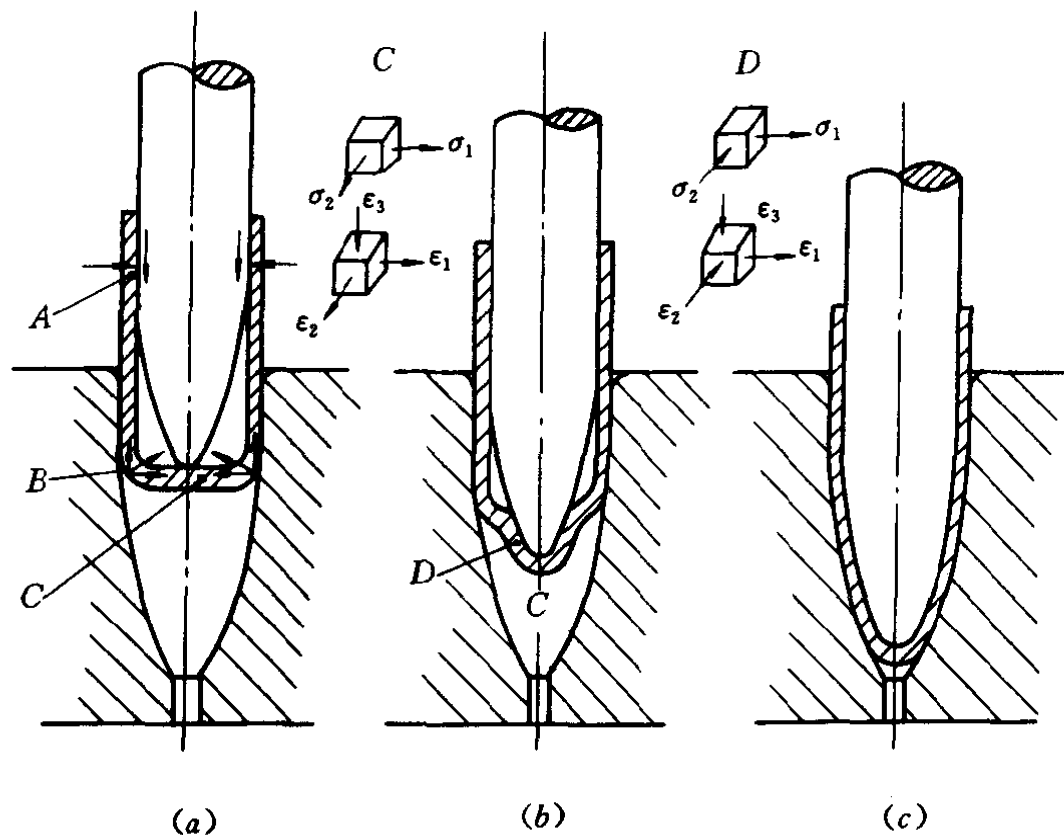


图 4-3 冲尖变形过程分析

在末次冲尖时工件弧形部在冲子和凹模间精压,部分金属流向尖端,使尖端厚度增大,其厚度比冲孟毛坯还厚。有时甚至使冲子尖端与工件脱离。

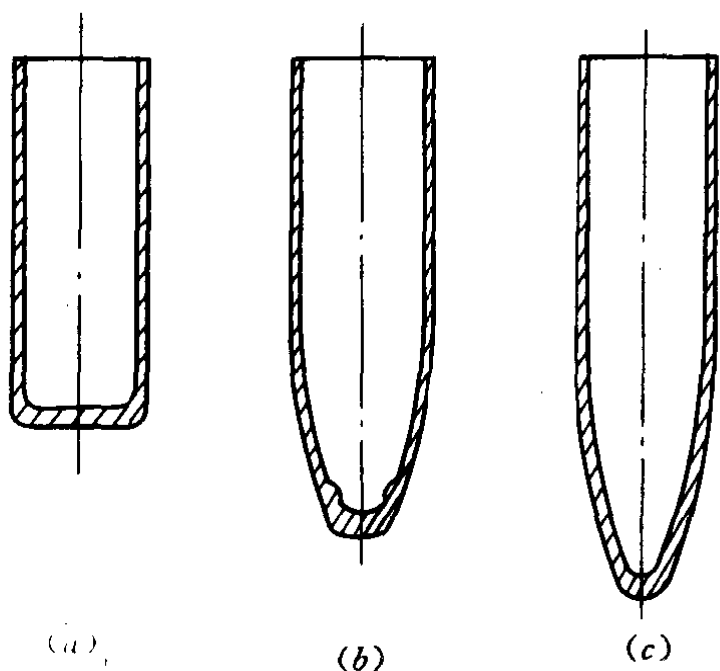


图 4-4 冲尖半制品形状

(a) 孟子; (b) 一次冲尖后; (c) 末次冲尖后

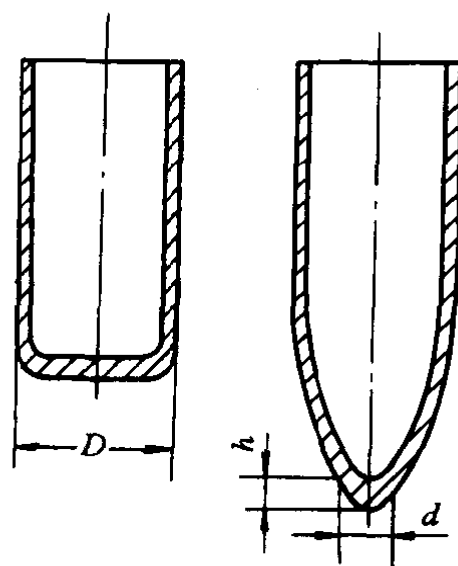


图 4-5 冲尖变形程度

为减小 D 点的拉应力,冲子杆部与孟子内径应设计成一定的过盈配合(图 4-3 中的 A 点)。这样,冲子前进时产生的摩擦力推工件进入凹模,减小了拉应力,防止冲穿。由于冲尖冲与工件内部的摩擦力对防止冲穿是有利的,所以冲子不能有油,孟子内不能有水。

第二次冲尖是尖部直径进一步减小的变形,与第一次冲尖相比,变形较容易,因此变形程度可以提高。

## 五、冲尖半制品尺寸的确定

### 1. 冲尖变形程度

既然冲尖是一种孟子底部直径缩小的变形工序,因此它的变形程度可以和收口一样用变形前后直径之比来表示。图 4-5 为冲尖前后半制品尺寸,则冲尖系数  $m$  可表达为

$$m = \frac{d}{D} \quad (4-4)$$

式中  $m$ ——冲尖系数；

$D$ ——引伸孟子外径；

$d$ ——弹头壳半制品尖部直径。

因此，冲尖系数越大，变形程度越小，反之  $m$  越小，变形程度越大。

## 2. 弹尖直径计算

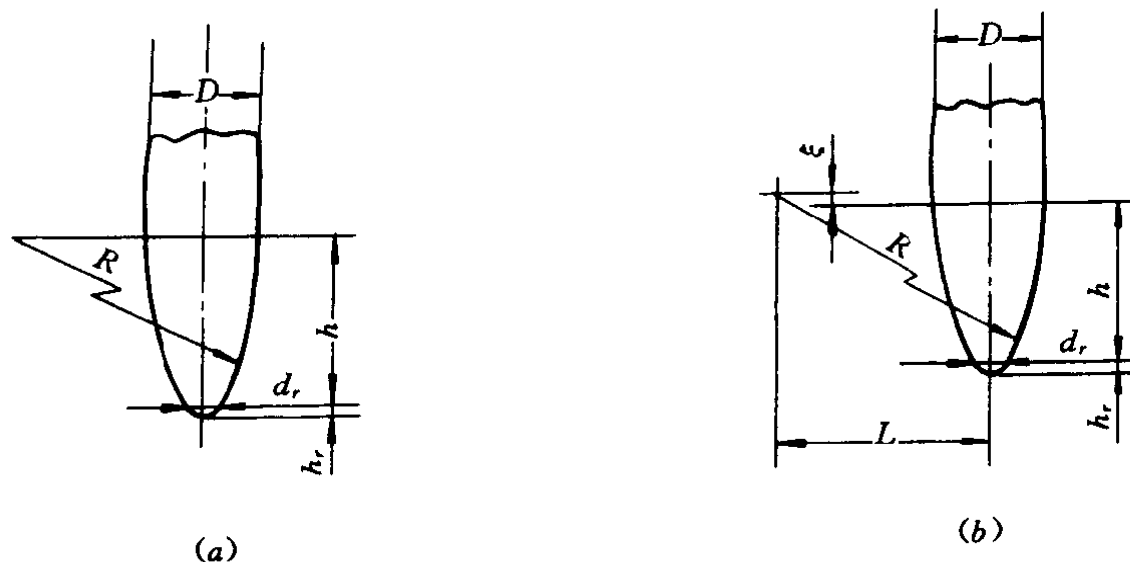


图 4-6 弹尖直径计算

(a)起弧点在弧形部基面上；(b)起弧点在基面以下

(1) 圆心在起弧线上(即圆弧与圆柱部相切)，见图 4-6(a)。

$$d_r = D - 2(R - \sqrt{R^2 - h^2}) \quad (4-5)$$

(2) 圆心在起弧线下，见图 4-6(b)。

$$d_r = 2[\sqrt{R^2 - (h + \xi)^2} - L] \quad (4-6)$$

式中  $D$ ——弹头壳外径；

$R$ ——弹头壳弧形半径；

$h$ ——弹头壳弧形高度；

$\xi$ ——弧形圆心下移量；

$L$ ——弹头壳弧形圆心至弹头壳轴线的距离。

$$L = \sqrt{R^2 - \xi^2} - \frac{D}{2} \quad (4-7)$$

## 3. 冲尖次数

$$\text{总冲尖系数} \quad m_\Sigma = \frac{d_{rz}}{D}$$

$$\text{冲尖次数} \quad n = \frac{\lg m_\Sigma}{\lg m_{pj}} \quad (4-8)$$

式中  $d_{rz}$ ——弹头壳产品图弹尖直径；

$D$ ——弹头壳引伸孟子外径；

$m_{pj}$ ——平均冲尖系数。

由于  $m_{pj}$  没有确切的数据， $m_1$  和  $m_2$  的使用值又差别很大，且全凭经验和试验，因此冲尖次数也多凭经验和试验确定。

冲尖次数以前多达 4~5 次，经改进后现在为，步枪弹 2 次冲尖，大口径机枪弹 2~3 次冲

尖,手枪弹由于是球形弹头,没有单独的冲尖工序,而是在弹头壳内装入铅心后卷边(把弹头壳另一端关闭),然后在模中挤尖、平底而成。

第一次冲尖是由平底的孟壳冲成带弧形的壳子,受力状态极为不利,故取较大的冲尖系数。而以后各次冲尖是由肥的弧形变为瘦(尖)的弧形,受力情况大为改善,故可取较小的冲尖系数。

各种枪弹目前使用的冲尖系数见表 4—5。

表 4—5 常用弹头壳的冲尖系数

| 弹 种           | 总冲尖<br>系数<br>$m_{\Sigma}$ | 冲尖<br>次数<br>$n$ | 平均冲尖<br>系数<br>$m_{pj}$ | 冲 尖 系 数 |       |       | 高度变化系数    |           |
|---------------|---------------------------|-----------------|------------------------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
|               |                           |                 |                        | $m_1$   | $m_2$ | $m_3$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ |
| 56 式 7.62 普通弹 | 0.183                     | 2               | 0.428                  | 0.62    | 0.29  | —     | 1.15      | 1         |
| 53 式 7.62 普通弹 | 0.17                      | 2               | 0.413                  | 0.62    | 0.28  | —     | 0.96      | 1         |
| 54 式 12.7 穿燃弹 | 0.214                     | 3               | 0.606                  | 0.65    | 0.69  | 0.483 | 1.37      | 0.89      |
| 56 式 14.5 穿燃弹 | 0.214                     | 2               | 0.463                  | 0.46    | 0.46  | —     | 0.97      | 1         |

4. 各道尖部直径

冲尖系数确定后即可确定各道弹头壳尖部直径。

第一次尖部直径  $d_{r1} = m_1 D$

第二次尖部直径  $d_{r2} = m_2 d_{r1}$

第三次尖部直径  $d_{r3} = m_3 d_{r2}$

末次冲尖壳子尖部直径即为弹头壳成品尖部直径。

5. 弧形高度  $h$

冲尖时孟子的底部和体部的一部分金属变为弧形部。因此对于第一次冲尖来说,任务之一是分配金属,即把孟子金属分为柱形部和弧形部两部分。弧形高度是弧形部金属多少的标志。弧形高度越大则孟子中转为弧形的金属越多。

为了便于比较,引进弧形高度变化系数  $\beta$ ,它的定义为

$$\beta = \frac{h_z}{h_j} \tag{4-9}$$

式中  $\beta$  ——弧形高度变化系数;

$h_z$  ——弹头壳产品图中的弧形高度;

$h_j$  ——某一次冲尖半制品的弧形高度。

对于第一次冲尖,由于弧形较肥,故  $h_1 < h_z$ ,  $\beta$  一般是大于 1 的。而末次冲尖则由于弧形高即为成品的弧形高,因此  $\beta = 1$ 。一些弹头壳冲尖的弧形高度变化系数见表 4—5。

第一次冲尖弧形高  $h_1 = \frac{h_z}{\beta_1}$

第二次冲尖弧形高  $h_2 = \frac{h_z}{\beta_2}$

式中  $\beta_1, \beta_2$  ——第一、二次冲尖的弧形高度变化系数。

6. 弧形半径  $R$

根据几何关系可以推导出

$$R = \frac{h^2 + a^2}{2a} \quad (4-10)$$

$$a = \frac{D - d_r}{2}$$

式中  $D$  —— 孟子外径;  
 $d_r$  —— 冲尖孟子壳尖部直径。

#### 7. 弹尖直径高度 $h_r$

弹尖直径高度  $h_r$  是个较难确定的数据。随着冲尖道次的增加,弧形高度逐道增大,尖部直径逐道减小,而尖部直径高度逐道减小。弧形高度逐道增大的原因是因为尖部直径缩小以及第一次冲尖后弧形部壁厚的挤薄(见图 4-4)。如果第一次冲尖时弧形部金属不足,则末次冲尖时柱形部必然还要有部分金属补充到弧形部去,反之则弧形部金属将使直径扩大成为圆柱部。

$h_r$  值凭经验确定,目前弹头壳第一次冲尖的尖部直径高为  $h_{r1}$ 。

$$h_{r1} = (3 \sim 6) h_{rz}$$

式中  $h_{rz}$  —— 产品图弹尖直径高。

上式中的系数,对小口径枪弹取下限,对大口径枪弹取上限。

#### 8. 弹头壳内形尺寸

末次冲尖的内形尺寸同产品图,如果末次冲尖的任务只是修尖,则末前次冲尖制品的内形尺寸也与产品图尺寸相同。

第一次冲尖制品的内形可按比外形缩减二个壁厚的原则来初步确定(图 4-7),即

$$D^1 = D - 2t$$

$$R' = R - t$$

式中  $t$  —— 弹头壳的壁厚,取最小值。

弹头壳尖端厚度在第一次冲尖时略小于或近似等于冲尖毛坯的初始厚度。

尖部形状和尺寸可用放大作图法,用经验加试验来确定。确定时应注意到有利于不使底部冲穿。

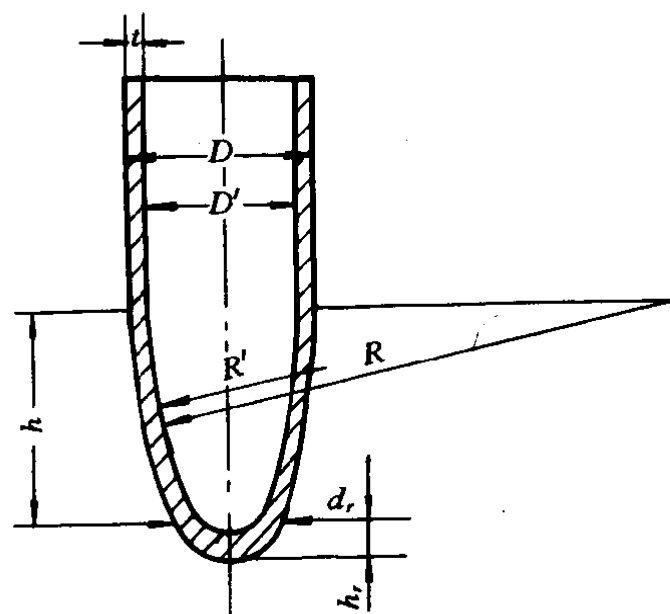


图 4-7 冲尖制品的内形

### 六、冲尖冲模工作尺寸的确定

#### 1. 冲尖冲子

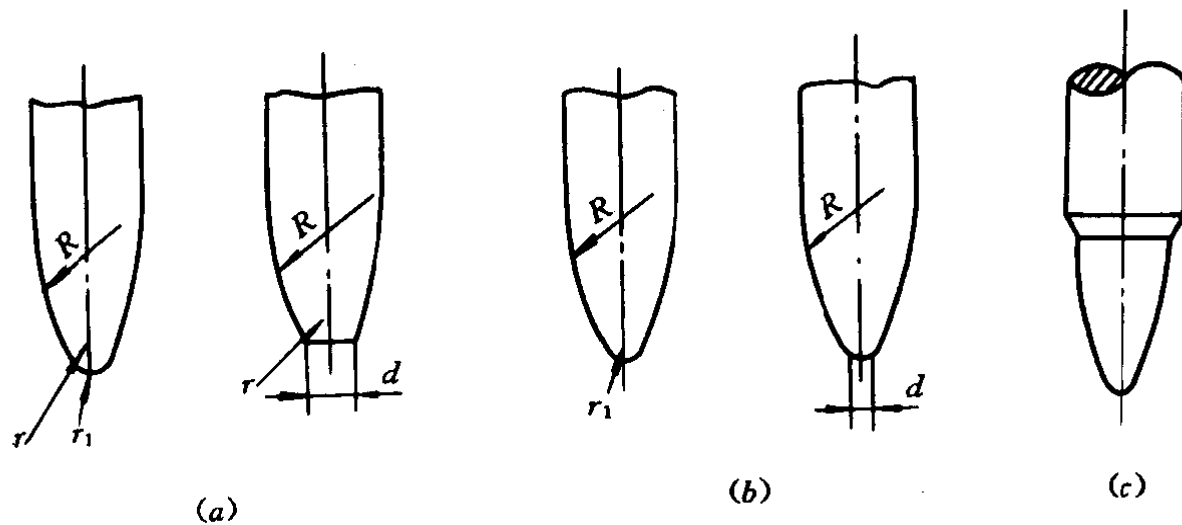


图 4-8 各种冲尖冲子的形状

(a) 第一次冲尖冲; (b) 末次冲尖冲; (c) 修尖兼扩口冲

冲尖冲子形状如图 4-8 所示。第一次冲尖冲的尖端直径较大,为防止冲穿可做成平面形,也可做成圆弧形 $r_1$ ,但它们与大圆弧 $R$ 的交接处用圆弧 $r$ 光滑过渡。末次冲尖冲形状取决于弹头壳产品图内形,同样有圆弧形尖端和平面形尖端两种。如果末次冲尖主要是修尖时,可与以后的扩口工序合并,冲子形状如图(c)所示。扩口工序是将柱形部口部扩大成锥形,以使容易装入弹头其它零件。

在设计第一次冲尖冲杆部直径时,应与孟子圆柱部内径成过盈配合以防止冲穿,尤其是当弹头壳毛坯厚度小时。另外,末次或末前次冲尖的凹模尖部是封闭的,不能设置退料杆孔,为使冲尖后工件能退出,冲子杆部与工件也应设计成过盈配合。

冲尖冲由 T10A 钢制造,工作部分硬度 HRC58~62,杆上部 HRC50~54。

## 2. 冲尖凹模

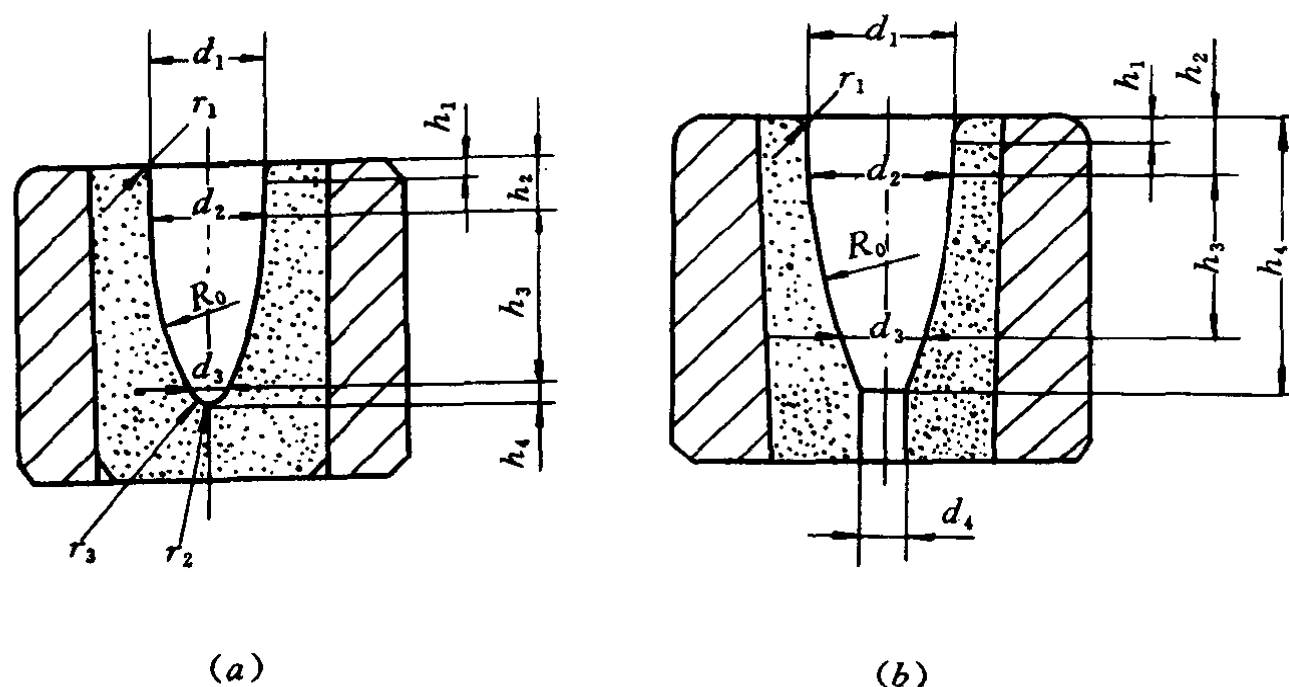


图 4-9 冲尖凹模尺寸

(a)末次冲尖凹模;(b)一般冲尖模

冲尖凹模形状和尺寸如图 4-9 所示。其中 $d_2$ 与弹头壳圆柱部外径相等,起定位作用,入口处直径 $d_1$ 略大于 $d_2$ ,并有圆角 $r_1$ 过渡,这些都是使半成品易于进入凹模。对于末次冲尖凹模,应考虑尖部直径在冲尖后的回弹,因此 $d_3$ 应小于 $d_{rz}$ 。由于 $d_3$ 的缩小,大圆弧 $R_0$ 也相应地缩小。

对于一般冲尖模,由于尖部还进行加工,故可以开设退料杆孔 $d_4$ 。 $d_3$ 也不必考虑回弹。根据上述原理,冲尖凹模各个尺寸可以用以下一些经验公式确定。

### (1) 末次冲尖模

$$\begin{aligned} r_1 &= 1 \sim 2 \text{ mm}; & h_1 &\approx r_1 \\ d_1 &= D + (0.14 \sim 0.23) \text{ mm}; & d_2 &= d_z \\ h_2 &= 4 \sim 5 \text{ mm}; & d_3 &= d_r - (0.02 \sim 0.07) \text{ mm} \\ h_3 &= h; & h_4 &= h_r \end{aligned}$$

$R_0$  可根据 $d_3$ 、 $h_3$ 用前述的公式计算而得。由于 $d_3$ 的缩小,因此 $R_0$ 比成品尺寸略小。

$r_2$ 、 $r_3$ 与弹头壳尺寸同。

式中  $D$  —— 末引孟子外径;

$d_z$  —— 弹头圆柱部外径;

$d_r$  —— 弹头的弹尖平均直径;

$h$  —— 弹头壳弧形高;

$h_1$  —— 弹头壳弹尖直径高。

## (2) 第一次冲尖模

$$r_1 = 2 \sim 2.5 \text{ mm}; \quad h_1 \approx r_1$$

$$d_1 = D + (0.03 \sim 0.11) \text{ mm}; \quad d_2 = D$$

$$h_2 = 4 \sim 5 \text{ mm}; \quad d_3 = d_{r1}$$

$$h_3 = h_1; \quad d_4 = (0.8 \sim 0.9) d_3; \quad R_0 = R_1$$

式中  $d_{r1}$ ——第一次冲尖制品尖部直径;

$h_1$ ——第一次冲尖制品弧形高度;

$R_1$ ——第一次冲尖制品弧形半径。

(3) 如果是三次冲尖,则第二次冲尖模的尺寸同三次冲尖(末次冲尖)模,只是凹模尖端处有一小孔,作排污垢用。小孔直径为弹尖直径的 0.5~0.625 倍。

冲尖工具设计尚无完整的理论计算方法,多凭经验确定,确定后绘制放大的配合图,进一步验算和修正,然后在实际生产中多次修改、考核,最后确定工具尺寸。

冲尖凹模多用硬质合金 YG8 或 YG11 制造,其镶套为 T10A 钢,热处理硬度为 HRC42~47。

## 七、冲尖力

冲尖力目前尚无专门的理论推导公式,但可借用拔管力来计算,即认为拔制前管子外径为  $D$ (孟子外径),拔制后管径为  $d_r$ (弹尖直径),因此有

$$P = \sigma(S_0 - S_1)(1 + A\mu \tan \alpha) \quad (4-11)$$

式中  $\sigma$ ——冲尖弧形部平均变形抗力;

$S_0$ ——冲尖前制品(孟子)的环形面积;

$S_1$ ——冲尖后尖部( $d_r$ 处)的环形面积;

$\mu$ ——凹模与工件的摩擦系数;

$\alpha$ ——拔管模半锥角,对冲尖可用  $D$  和  $d_r$  连线与中心线的夹角;

$A$ ——考虑冲子与待制品的摩擦而使变形力增加的系数; $A = \sqrt{\frac{D + d_r}{2t}}$ 。

$t$ ——弧形部壁厚。

公式中可以看出,变形力由两部分组成, $\sigma(S_0 - S_1)$ 为变形阻力, $\sigma(S_0 - S_1)A\mu \tan \alpha$ 为由于摩擦引起的变形力。

单纯的冲尖力(即用上式计算出的冲尖力)是很小的,但在冲尖终了时工件弧形部在冲子与凹模间精压,以校正弧形并使该处减薄,因此冲尖力骤增。这时的冲尖力可仿照弯曲变形时的校正力计算。

## 八、冲尖工序的检验

冲尖工序共有六个检验量具,分别检验:

(1) 弧形半径:用弧形样板检验,即用弹头壳产品图最大弧形尺寸做成弧形样板,把制品放入样板内,应有均匀的漏光或对称的多点与样板接触。

(2) 弹尖直径:用弹尖直径量规。即在样板上切一个凹槽,槽深为弹尖直径至弹尖距离  $h_r$ ,槽宽即为弹尖直径的最大尺寸和最小尺寸。

(3) 圆柱部直径:用直径环规。

(4) 起弧点直径与起弧高度:将起弧点直径大和小两个环规置于一定高度上,制品放入大环规时应该使弹尖与底面接触,放入小环规时弹尖不应与底面接触。

(5) 弧形部与圆柱部不同轴度:用专用的弧形部偏歪器测量,一般偏歪不应大于0.15mm。

(6) 弧形部壁厚差。其原理和引伸壁厚差检验器相同。

## § 4.2 铅件制造

### 一、概述

铅件是弹头中的重要零件,它在弹头中的作用是:

(1) 使弹头易于嵌入膛线,获得正确的旋转运动,同时也密闭枪管,防止火药气体从枪管的阴线逸出。

(2) 起质量充填作用:因为铅的比重很大,同质量的弹头可以缩短弹头长,以提高飞行稳定性。在特种弹弹头中加入铅垫或铅碗还可以调整弹头重心位置。

(3) 提高弹头合装的紧密度:以普通弹弹头为例,它是由钢心,铅套和弹头壳三件组成,其中软材料铅套处于两个硬材料之间,当压入弹头壳时,铅套易于流动,必然会填满钢心和弹头壳间的空隙,从而提高弹头重心位置的一致性,提高射击密集度。

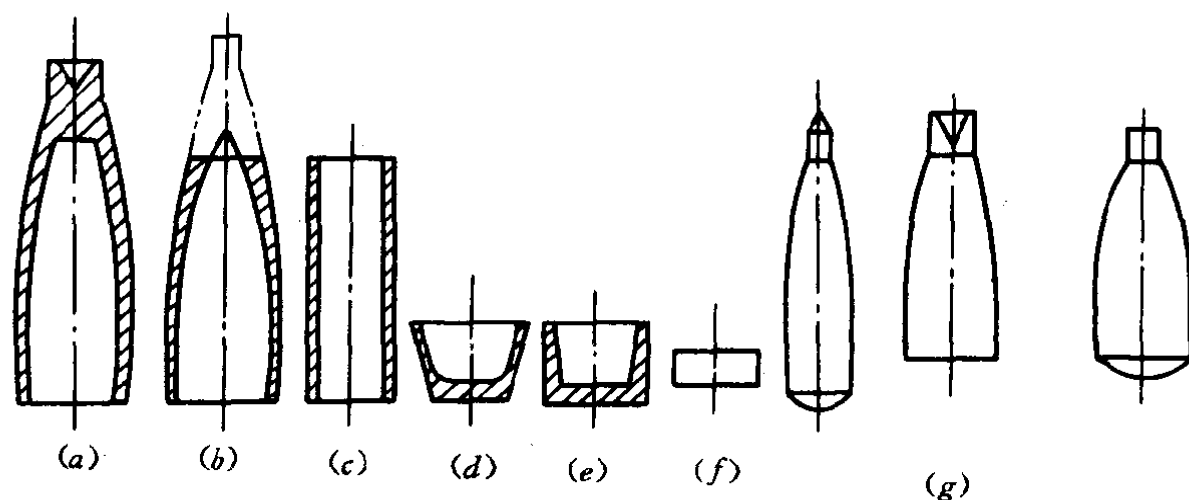


图 4-10 各种铅件的形状

(a)为普通钢心弹的铅套;(b)为穿甲燃烧弹的铅套。实线部分为铅套成品形状,未打剖面线的部分为冲压后切去的部分;(c)特种弹用的铅套是由铅管切断面成;(d)、(e)为特种弹中的零件,由铅条切断后挤压成形的;(f)为铅垫;(g)为各种铅心,是实心件,用于铅心弹和手枪弹

枪弹中各种铅件的形状如图 4-10 所示。铅套和铅心的头部形状有尖锥形、锥形凹和平头三种。尖锥形头部的铅套在装入弹头壳内时铅能直接到达弹头壳内的尖部,而锥形凹的铅套进入弹头壳内尖部时不但铅不易到尖部而且还存在着排气困难的问题。但尖锥形的成形是靠退货冲端面锥形凹实现的,这个凹的加工较为困难,而锥形凹的成形是靠退货冲上的尖锥实现的,其加工较易。手枪弹头部为较大的弧形,平头形的铅心极易到达并填充尖部,故平头形用于手枪弹的铅心。运动比赛弹由于要求有很高的射击密集度,故采用尖锥形头部的铅心。

铅套制造的工艺流程大致是:

(1) 熔铅:按产品图规定配制铅锑合金。

(2) 挤铅条:用挤压法挤成一定直径的铅条,并把铅条卷绕在辊轮上。

(3) 在多工位冲床上挤压出铅套:铅条由导管送入,经剪刀切断成一定长度,经过二至三次挤压即成为铅套,对于两头开口的铅套还有一个切口工位。

(4) 钢心压入铅套:将钢心或穿甲弹钢心插入铅套,以便再将它们装入弹头壳内。

(5) 烘干:烘干目的是去除冲铅套时作为润滑液的肥皂水,防止钢心生锈。

(6) 外观检验。

铅的熔点很低,再结晶温度也低,在室温下进行塑性加工不会产生加工硬化(属热加工),因此用一般的冲压加工方法(冲孟、引伸)是不行的,只能用压缩类变形方法(挤压法)加工。由于铅软,故仅就成形铅件来说是很容易达到的。但因为铅件在装入弹头壳时还会进一步变形,影响装配后弹头的对称性、密实性和重心位置的一致性。因此控制铅套各部分尺寸是铅套成形的难点。

例如铅套的钢心孔太深(即钢心压入铅套后钢心尾部凸出铅套量小)时,在压入弹头壳时由于移动量小,会形成合装密实性不够,对称性差。钢心凸出量过大(孔过浅),则在压入弹头壳时密实性虽好,但钢心相对铅套移动量大,也会形成不对称性。

又如铅套头部颈长太大,虽然压入时铅容易填充到尖部,但因铅套外形与弹头壳内形间的空隙增大,在压实后会使得弧形部壁厚差增大,使对称性变坏。

## 二、铅条(管)制造

铅件的成分是铅锑合金,含锑量是根据产品图规定的,一般不超过2%。铅中加入少量锑一方面可以提高铅的强度,防止加工过程中的变形,另一方面可以防止加工时铅件粘模,造成加工困难。但实践表明,随着含锑量的增加,将产生以下缺点:

(1) 增加了熔铅操作时铅和锑混合不均匀的可能性,由于两者比重相差太大(铅为11.37,而锑为6.68),形成铅件质量分布不均,射击密集度减小。

(2) 由于铅条变硬,使挤压成形、铅件重量控制、壁厚差控制以及铅套外形与弹头内形的配合紧密性方面带来一定困难。

实践表明降低锑含量可以提高枪弹的射击密集度。

铅套用铅的规格应符合GB469—64标准,含铅量不低于99%,锑的规格应符合YB754—70标准。

铅条(管)制造分为两大步骤,即熔铅和压条(管)。

铅的熔化是在生铁锅中进行的,根据设备条件,可用重油、煤或电作为燃料。为防止铅液的氧化,在铅液表面撒一层碎木炭,定时用铁棒搅拌,使铅和锑混合均匀,否则因锑的比重小会浮在面上。并经常用网状匙除去熔液中的泡沫和杂质,以免铅件产生夹灰。熔液加热到400~460℃保持一定时间,即可铸成铅锭。

铅条的制造有挤压法和车挤法两种:

### 1. 挤压法制造铅条(管)

挤压可分为热挤和冷挤两种。热挤法是将熔铅铸入挤压筒内,待冷却到170℃时开始挤压。因此热挤压的变形力小,但压力机因等待铅液冷却和浇铸,故生产率低(当然这也是可以用多个挤压筒方法来改进,即一个筒在挤压,另一个筒在浇铸和冷却)。而冷挤法正好与热挤相反。枪弹厂因用一台水压机热挤压的铅条足够满足全厂的铅件生产需要,故都采用热挤法。

铅条或铅管的挤压可用正挤和反挤两种方式,反挤有以下优点:

(1) 挤压力小。因为正挤压时整个铅锭在挤压筒内移动,具有很大的摩擦力,经验表明这种正挤比反挤的能量消耗大 25~50%。

(2) 反挤变形区集中在模口附近,金属流动均匀,铅条质量均匀。

图 4-11 为在立式水压机上反挤铅管的装置。铅管挤压模由内模和外模两部分组合而成(图 4-12),外模有一直径  $d_1$  的工作部分, $d_1$  值即为铅管的外径,内模有一个  $d_2$  的工作部分,它决定了铅管的内径。水压机的活塞与冲杆 3 连接通过模具中的内模(模芯)对铅锭施压,铅从内模的 4 个孔流至外模的型腔中,再从  $d_1$  和  $d_2$  的缝隙中挤出,形成铅管。铅管从冲杆内转弯 90°,从冲杆的侧面引出,由于铅管和铅条细而软,这种转弯不会有困难。引出的铅管(条)卷在辊筒内备用。

如果挤压铅条,则将模子换成图 4-11 中 9 的挤铅条模即可。

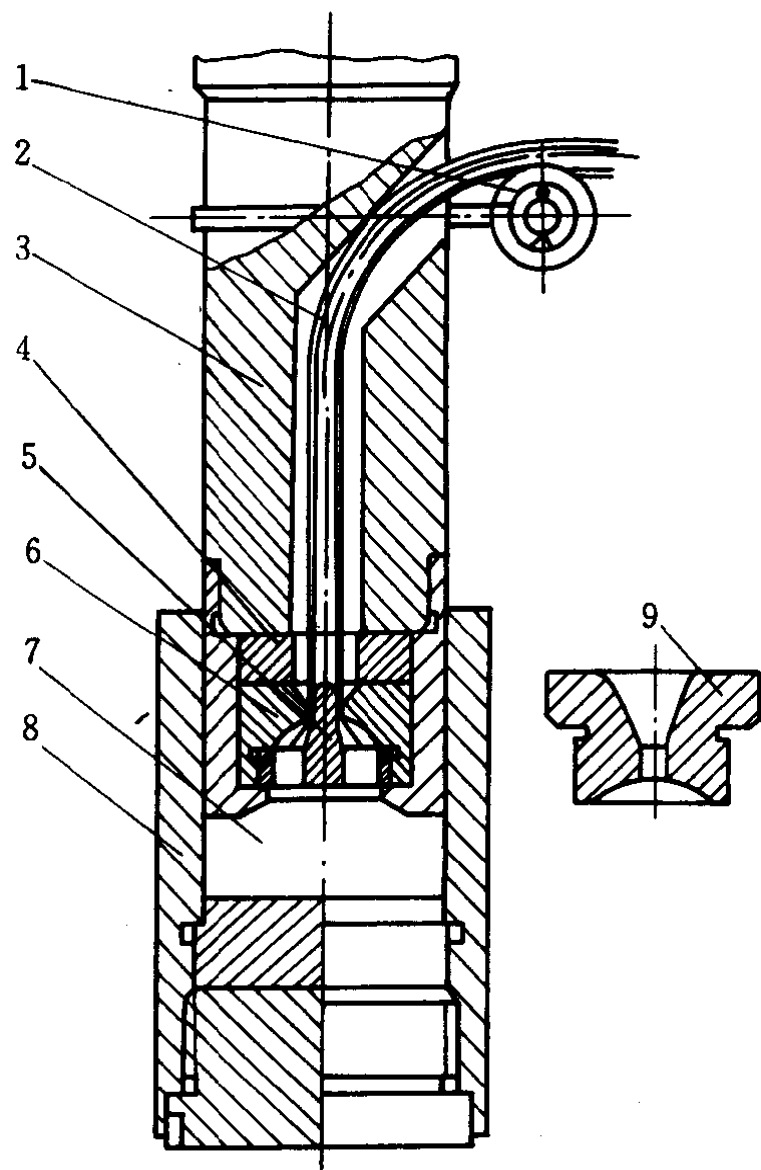


图 4-11 铅条(管)的反挤  
1. 辊轮;2. 铅管;3. 凸模(冲杆);4. 模垫;5. 压铅管模模芯;6. 压铅管外模;7. 铅锭;8. 挤压筒;9. 压铅条模

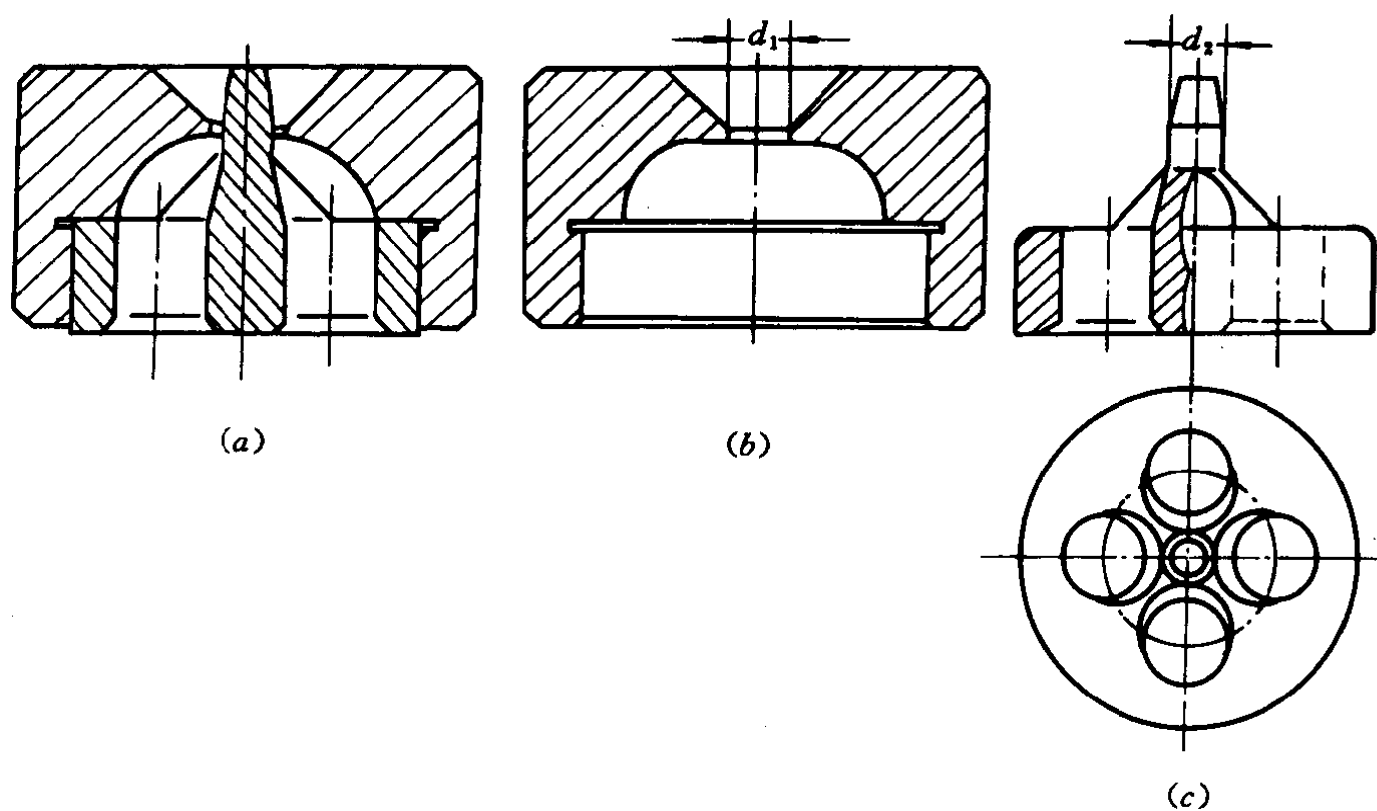


图 4-12 铅管挤压模  
(a)组合;(b)外模;(c)内模

## 2. 车挤法制造铅条

车挤铅条是一种利用车床制造铅条的方法。将铅锭铸在一个方形的芯轴上,芯轴夹紧在车床上,利用带孔的车刀(称车挤刀)对旋转的铅锭施压,铅通过小孔流出成为铅条。小孔的直径即为铅条直径。铅锭外径约 400mm,重约 400kg,机床转速 200r/min。

车挤铅条的优点是操作简单,容易掌握,设备简单投资少,厂房面积比挤压法省 40%以上,所以特别适合产量小的工厂。

车挤的缺点是边料多,约占铅锭的 18%,因为铅锭越车越小,到一定直径时不能再车了,其损耗比挤压法高 2~3 倍。此外工具磨损大,条料的直径公差和椭圆度较大。

## 三、铅套制造

铅套制造是用铅条在多工位自动冲床上进行的。卷在辊筒上的铅条通过导管进入冲床,首先切成一定长度的柱形块(剪切方法同圆钢剪切,只是剪切力要小得多),然后在封闭的模内进行 2~3 次挤压,达到成品尺寸,最后装入钢心,烘干。由于采用体积定量法挤压,因此成品没有切口工序,只是对于穿燃弹用的两头开口的铅套有切去头部的工序。

冲铅套的变形过程如图 4-13 所示。

因为铅套形状较复杂,以及对壁厚差要求较严,所以铅套都是用 2~3 次挤压才完成的。第一次是预成型,并在模内以体积定(质)量,即进行封闭挤压,多余的铅由凹模上的小孔流出,第二、三次逐步成型底部,并挤薄壁部,长度增大。切去头部的工步是带铅套的冲子高速旋转,圆盘刀压向铅套头部,使之分离。

铅心、铅碗、铅柱等铅件只需一次挤压即可完成。

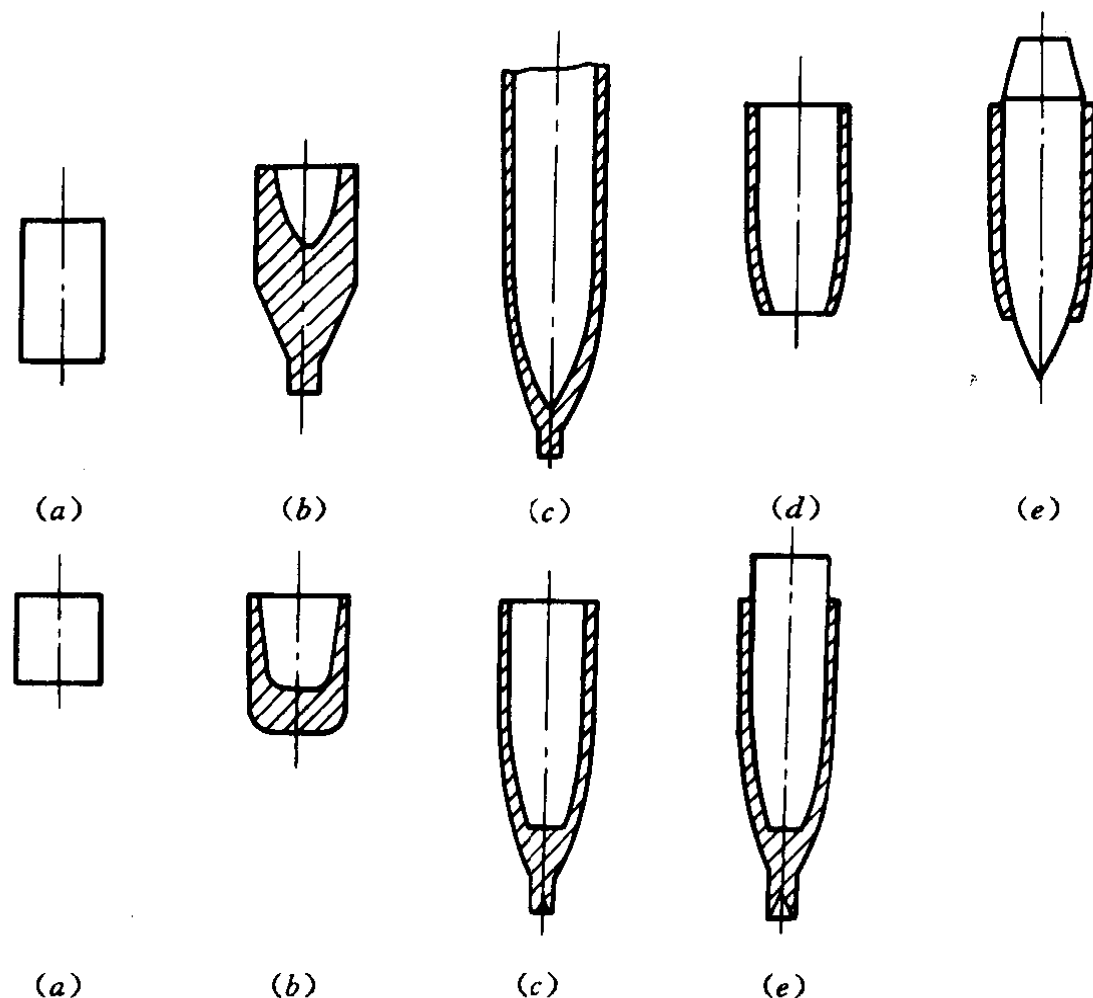


图 4-13 冲铅套的变形过程

(a) 铅条切断; (b) 第一次挤压(挤孟); (c) 第二次挤压; (d) 切去头部; (e) 钢心压入

铅条的直径比铅套小约 10%,以便铅条能顺利地进入第一次挤压模内。切下来的铅柱毛

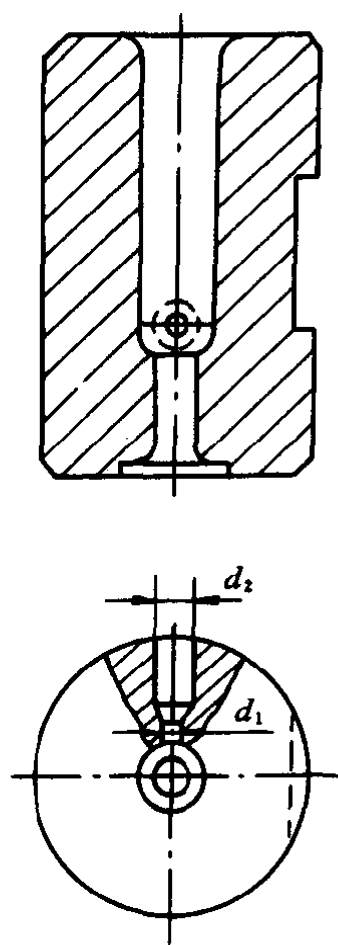


图 4-14 带定量孔的  
挤铅凹模

坯比铅套成品质量大,以便在第一次挤铅模内把多余的铅挤出去。其增加值与铅件质量成反比,大口径弹的铅套为 4.5%,小口径枪弹的铅套为 15~18%,而小口径特种弹的铅柱、铅碗可达 20~30%。

第一次挤压成型件可以是锥形底,也可是平底(图 4-13b)。但冲压模均有小的侧孔用以挤出多余的金属(图 4-14)。其中  $d_1$  为 0.5 mm,孔深不大于 1.5 mm,而孔外侧的直径  $d_2$  可增加到 3~4 mm。

末次挤压模具尺寸与成品尺寸相同,不需考虑回弹,因为铅的强度很低。而中间各次挤压模具尺寸多凭经验确定。

为了防止挤压铅套时因冲子和凹模间隙过大而引起毛刺,冲子柄部直径  $d$  应与凹模内径公称尺寸取成相等,并用 IT7 级动配合。由于铅易粘附在冲子上(正常冲压时工件是留在凹模中,另一端的退料冲推出凹模),打坏工具,故在末次冲铅套时(工件内孔很深)冲子可做成组合式(图 4-15d)。

冲铅套时要不断对铅件称质量,质量不合时可调整第一次冲压的冲子行程。此外,要严格控制壁厚差,尤其是弧形部壁厚差,在钢心压入铅套后此壁厚差会增加,而在带钢心的铅套压入弹头壳时壁厚差还要增加。生产中是在钢心压入铅套后再将钢心拔出,然后检查壁厚差的。

铅管的切断是这样进行的。高速旋转的杆子的一头(或两头)固定有两把薄刀片,薄刀片刀口向着旋转方向,两刀片的间距即为需切铅管长度。铅管等速地朝垂直方向移动,杆子每旋转一圈(若杆子两头均装刀片,则为半圈),管子移动一个管长略多一些。这样,刀片每切一次,切下一个管子全长和一小段管圈,然后将管和料头分开即可。

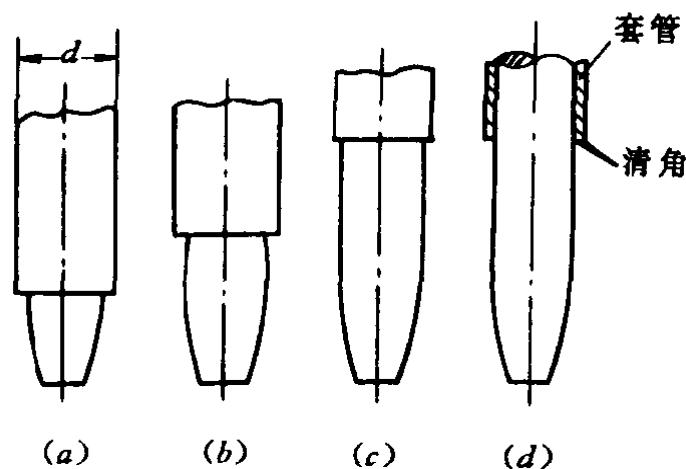


图 4-15 冲铅套冲子结构

## § 4.3 钢心制造

### 一、普通钢心制造

普通弹中的钢心主要起充填质量的作用,以节省铅,顺便也可提高侵彻能力。但这增加一个弹头零件。为此要求钢心有严格的对称性,如钢心不能弯曲,钢心端面与中心线垂直,每个钢心之间要有严格的一致性,包括尺寸和重量的一致性。

普通弹钢心是用钢条切断后冲压成型的,其主要工序如下:

- (1) 圆钢冷拔。拔到钢心冲型所需的尺寸,此工序也可在钢厂进行。
- (2) 下料。切成一定长度(控制毛坯质量)。
- (3) 辊光。主要是去除毛坯上的毛刺。

(4) 冲形。冲成钢心形状。

(5) 长度较量。在合格的范围内分成长、短两类,以便在压入铅套时长钢心配深的钢心孔的铅套,以保证钢心凸出铅套量的一致性。在质量稳定时也可免去这道工序。

(6) 称量。在质量合格的范围内,也分为大、小两类,以便小钢心配大铅套,保证钢心加铅套的质量不超差。

既然普通钢心是主要起填充质量的作用,因此对材料没有严格的要求,可用各类碳素钢制造。为便于冲压,选含碳量低的为好。但含碳量低的钢下料时毛刺大,且切面变形大,因此下料是在冷拔后不退火条件下进行的。对含碳量大于 0.15% 的钢在冲形前应退火。

普通弹钢心的头部为一弧形,体部为一斜度很小的锥体。成型时钢丝直径应比体部小端直径略小,在成型(缩小直径)头部的同时体部镦粗,形成体部大端,这样的成型方案省力,且工具磨损小。如采用钢丝为大端直径而冲形时将钢丝直径缩小的方案,则冲形力大,且工具磨损大。因此,钢丝直径可按下式确定:

$$d_0 = d_1 - (0.02 \sim 0.07) \text{mm}$$

式中  $d_0$ ——钢丝直径的最大值;

$d_1$ ——钢心小端直径。

钢丝直径过小,则成型模与钢丝的空隙过大,冲形时钢心易于弯曲,尤其当材料硬度高时,从而降低枪弹的射击密集度。直径过大则模具磨损大,变形力也增大。根据试验,钢心的钢丝直径大小对射击密集度  $R_{50}$  的影响见表 4—6。

表 4—6 钢丝直径对射击密集度的影响

| 弹 种           | 钢丝直径 | 密集度 $R_{50}$ | 备 注     |
|---------------|------|--------------|---------|
| 56 式 7.62 普通弹 | 5.63 | 6.25         | 靶距 300m |
|               | 5.70 | 5.2          | 精度枪射击   |
| 53 式 7.62 钢心弹 | 5.94 | 4.4          | 靶距 140m |
|               | 6.00 | 3.9          | 步枪射击    |

冲形模具结构如图 4-16 所示。

冲形时应注意以下几点:

(1) 凹模圆柱部分与钢丝的径向间隙不应大于 0.04mm,以防止冲形时钢丝弯曲。

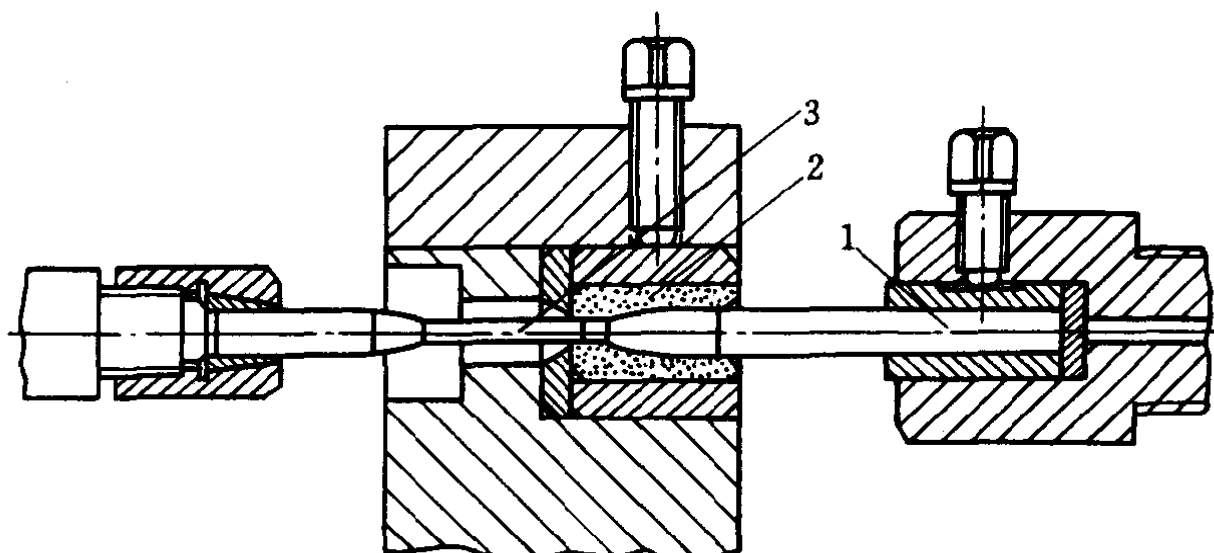


图 4-16 钢心冲形模具

1. 冲形大冲; 2. 冲形凹模; 3. 退货冲

(2) 钢丝直径按 IT9~10 级精度制造,公差过大会降低弹头的一致性。

(3) 冲子与凹模的中心线应重合,防止端面歪斜。

冲形凹模各工作尺寸按以下公式确定(图 4-17):

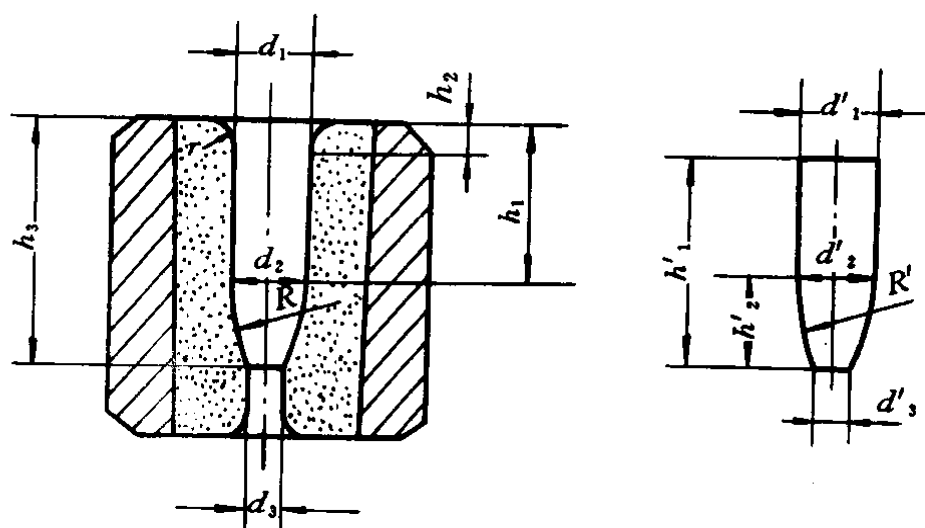


图 4-17 冲形凹模工作尺寸的确定

$$\begin{aligned} d_2 &= d'_2; & d_1 &= d_2 + (0.03 \sim 0.04) \text{mm} \\ d_3 &= d'_3 - 0.06 \text{mm}; & R &= R' \\ r &= 3 \sim 4 \text{mm}; & h_2 &\approx r \\ h_1 &= h'_1 - h'_2 + h_2 + (2 \sim 4) \text{mm} \\ h_3 &= h_1 + h'_2 + (0.8 \sim 1) \text{mm} \end{aligned}$$

冲形大冲的工作部直径比冲形凹模口部直径  $d_1$  小 0.02mm。退货冲工作直径比凹模  $d_3$  小 0.02mm。

钢心冲形属封闭式体积冲压,其冲压力可用下式计算:

$$P = F \sigma_b \nu \tau \quad (4-12)$$

式中  $F$  —— 冲压后零件投影面积;

$\nu$  —— 封闭式体积冲压特性系数(1.75~2.0);

$\tau$  —— 待制品的形状及摩擦对冲压力影响的系数,可用下式近似计算;

$$\tau = 1 + 0.45 \mu \frac{d'_1}{h'_1}$$

式中  $\mu$  —— 摩擦系数(0.1~0.2);

$d'_1$  —— 钢心直径;

$h'_1$  —— 钢心长度;

$\sigma_b$  —— 考虑到加工硬化后的材料强度极限(图 4-18),变形程度  $k$  按弧形部变形面积计算;

$$k = 1 - \frac{d'^2_3}{d'^2_2}$$

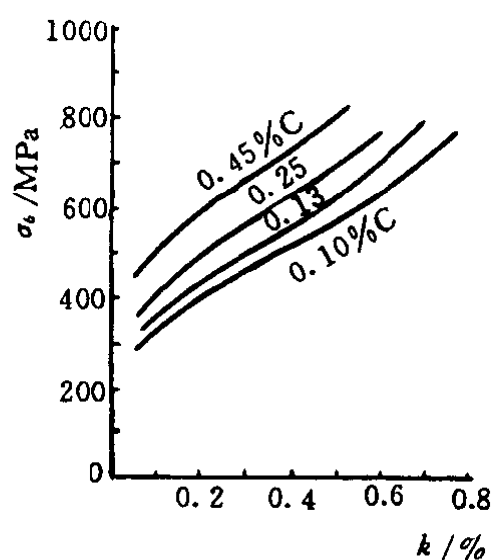


图 4-18 变形程度与强度极限关系

## 二、穿甲弹钢心制造

和普通钢心相比,穿甲弹钢心的材料是高碳钢 T12A(含碳 1.10~1.25%),其次在形状上头部是尖的,有的还有尾锥。因此它不能用冲压法直接冲压完成。穿甲弹钢心的制造方法有以下几种:

(1)切削加工:这是传统的制造方法,其缺点是材料利用率低,生产率低。

(2)冲压加工:用于 7.62 穿甲弹钢心,先把钢心毛坯冲压成类似铅心的形状(头部不是尖的,而是一个小圆柱(因为尖的头是冲不出来的),然后用砂轮磨尖头部,这种方法生产率和材料利用率都比切削加工法高。

(3)热斜轧加工:可以连续地、一次成型出各种形状的穿甲钢心。产量大、材料利用率高。但轧辊加工困难、导板磨损大以及弹尖质量不易掌握。用于大口径穿甲钢心的制造。关于斜轧钢心的原理和方法,将在本章下节中详细介绍。

现以 14.5 穿甲钢心为例介绍其切削加工的工艺流程:

(1)钢棒火花鉴别:擦去钢棒上的油污,用砂轮对每根钢棒进行火花鉴别,目的是剔出混入 T12A 中的其它钢种;

(2)下料:此材料是冷拔钢,且是在加工硬化状态下送到枪弹厂的,以便提高切面质量。段料长度中应考虑到 0.2~0.3mm 的切削余量;

(3)磨外圆:磨去表面的余量,并使制品表面光洁。在确定钢心毛坯直径时应考虑到淬火后直径的膨胀量,14.5 穿甲弹钢心的直径膨胀量为 0.03~0.04mm(对盐浴炉淬火)或 0.06~0.08mm(对中频感应炉加热)。具体数值可由试验确定;

(4)车尾锥;

(5)车弧形;

(6)淬火:用盐浴炉或感应炉加热;

(7)水洗、碱煮、烘干:目的是去除钢心表面附着的盐份(对用盐浴炉加热者)和污垢,防止钢心生锈;

(8)尺寸检查:用简易较量机进行;

(9)外观检查;

(10)油煮:其目的是低温回火(110~130℃),消除淬火后的内应力,回火后钢心硬度略有降低,但不应低于 HRC62。油煮也起工序间防锈作用。

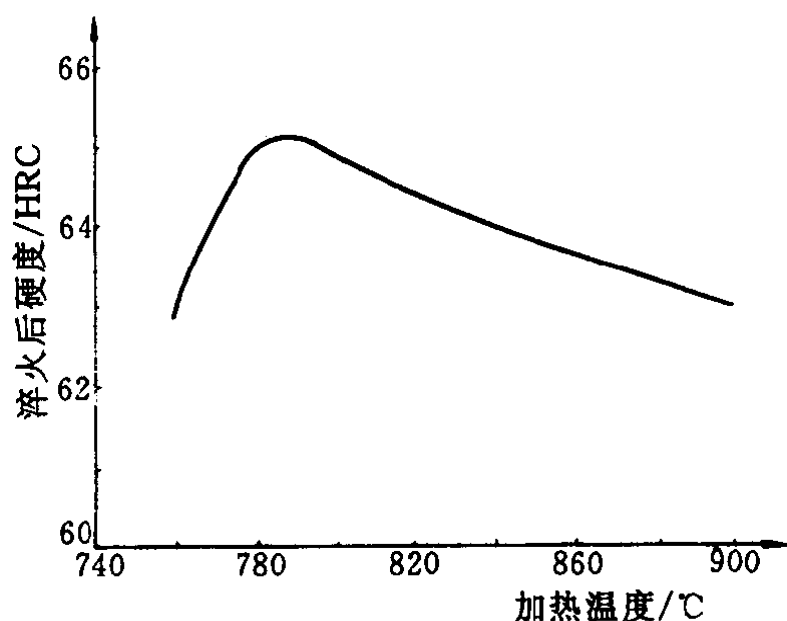


图 4-19 T12A 钢淬火温度与硬度的关系

淬火是穿甲钢心制造的重要工序。要求

淬火后硬度不低于 HRC64。T12A 钢的淬火温度为 760~780℃,在此温度范围内淬火能得到最高的硬度和细针状马氏体组织。加热温度低,则奥氏体内含碳量低,淬火硬度不高,且淬透性下降。如果加热温度过高,淬火后残余奥氏体增加,钢心硬度下降,同时奥氏体晶粒粗化,钢心的脆性增加。T12A 钢的加热(淬火)温度与淬火硬度的关系见图 4-19。

钢心的淬透性对穿甲性能影响很大(表 4-7)对盐浴炉加热 14.5 穿甲弹心时允许有不大于 2mm 的未淬透心部(称软心),中频感应加热的加热速度快,时间短,因此虽然表面加热温度已超过盐浴加热温度,但晶粒不会长大,不过中心温度低于表面温度,故淬火后软心较大。

表 4-7 14.5 穿甲钢心软心直径对穿甲率的影响

|         |      |      |     |
|---------|------|------|-----|
| 软心直径/mm | 5.06 | 4.29 | 2.1 |
| 穿甲率/%   | 60   | 70   | 100 |

钢心的冷却速度对淬透性影响很大,钢心淬火的冷却速度应大于临界冷却速度。钢心淬火的冷却介质常用 10%NaCl 水溶液或 6~7%NaOH 水溶液,介质的温度为 18~30℃(对 NaCl 溶液),20~45℃(对 NaOH 溶液)。冷却介质的温度对淬透性的影响较为明显(表 4-8)

表 4-8 14.5 钢心淬火介质温度对淬透性的影响

| 10%NaCl 溶液温度/℃ | 未淬透层深度/mm |
|----------------|-----------|
| 32             | 5.06      |
| 29             | 4.29      |
| 21             | 2.1       |

对于长径比较大的钢心(主要是穿燃弹),在穿透倾斜钢板时往往中部折断,即头部已通过靶板而后半部卡在靶板中,形成未穿透。遇到这种情况可以在钢心中部用感应加热进行局部回火,使呈蓝色,硬度降为 HRC50~56,使该处脆性降低,韧性提高。实践证明,采用钢心中部回火方法可以大大提高钢心的穿甲率。

钢心的弧形部、圆柱部和尾锥部的中心线应在同一个直线上,不能偏歪,尾锥底面应与中心线垂直,否则形成不对称。尺寸不合时会形成各种射击疵病。如钢心直径过小,弧形不饱满,尾锥过小和全长过短,不仅形成钢心过轻,而且在装配后密实性不够,形成钢心松动。如果钢心直径过大,则装入弹头后径向膨胀,在装配后的过径(将弹头推过一个模圈,以控制成品外径)工序中径向压缩大,使铅套挤薄并向后延伸,形成尾空(钢心尾部端面与弹头壳底面间有空隙),尾空是形成弹头飞行破裂(出枪口后弹头壳破碎)的主要原因。

§ 4.4 斜轧基础知识

车制穿甲钢心的材料利用率只有 66~79%,而且生产率低,远不能满足大量生产枪弹的需要。热斜轧生产钢心是将钢条加热后进行热斜轧,直接成形出成品钢心,如果工艺掌握好时可以直接投入水中淬火。由于是连续生产且无切屑,故产量和材料利用率均极高。此项新工艺经过长期试制已部分投入生产。

一、斜轧的一般概念

常用的轧制是在两个反向旋转的轧辊中进行的,工件垂直于两轧辊的中心线作直线运动,所轧成的产品的断面沿长度方向是相同的,称为纵轧(图 4-20)。方钢、圆钢、工字钢、钢轨、钢板等是典型的纵轧产品。

斜轧与纵轧完全不同,两个轧辊作同向旋转,工件在两轧辊之间作与与轧辊反向的旋转(图 4-21),两轧辊的中心线与轧制中心线(工件中心线)分别成  $\beta_1$  和  $\beta_2$  的斜角(图 4-22)。对于某一轧辊来说,轧辊的圆周速度  $V=R\omega$ ,轧辊的切向分速度  $V_y=V\cos\beta_1$ ,轴向分速度  $V_x=V\sin\beta_1$ 。切向分速度使轧件旋转,轴向分速度使轧件产生轴向运动,所以轧件在轧制时是作螺旋运动,即边旋转,边前进。

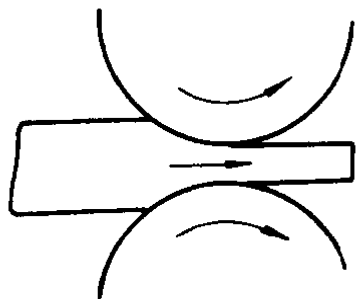


图 4-20 纵轧

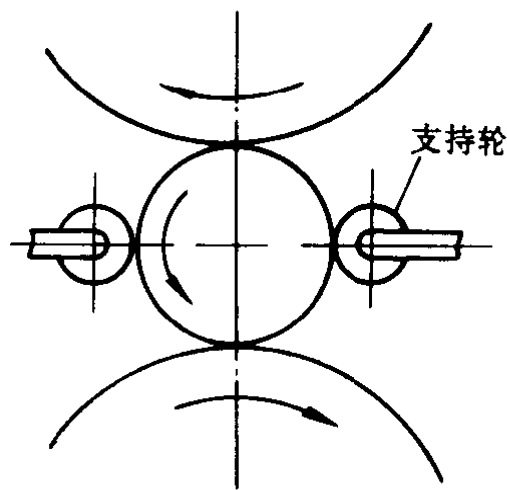


图 4-21 斜轧原理

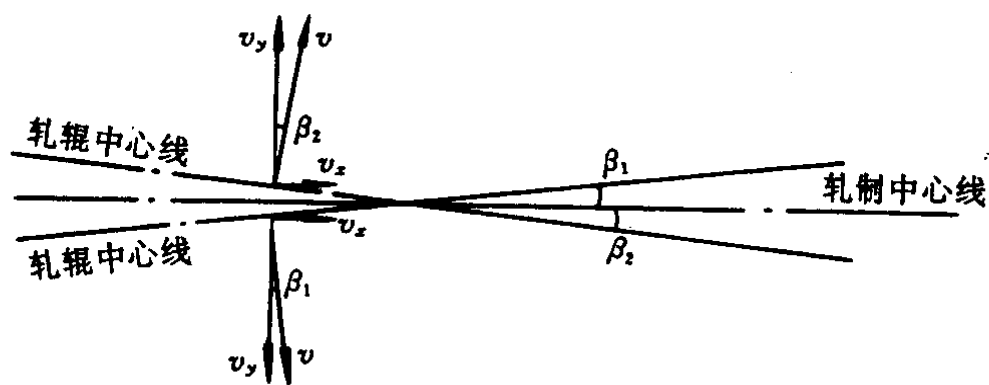


图 4-22 斜轧时轧辊的角度

如果用鼓形轧辊(中间大,两端细)轧制圆钢,则可使圆钢变细(图 4-23)。如果在轧辊上切出周期性的螺旋槽(周期性是指轧辊每旋转一定角度后螺旋槽形状是变化的),则可以轧出沿长度截面不等的圆形工件(图 4-24)。斜轧的典型产品有滚珠(钢球)、辊柱、连杆、阶梯轴等,利用这种原理可以轧制穿甲钢心。斜轧工件的尺寸精度不很高,所以较多的是作为进一步模锻的毛坯,或经少量机械加工后作为成品。直接轧出穿甲钢心成品是有一定的难度,尤其是弹尖部的成形。

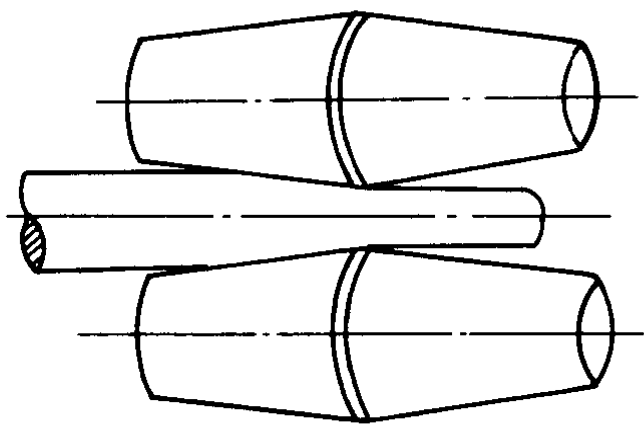


图 4-23 在鼓形平辊上斜轧

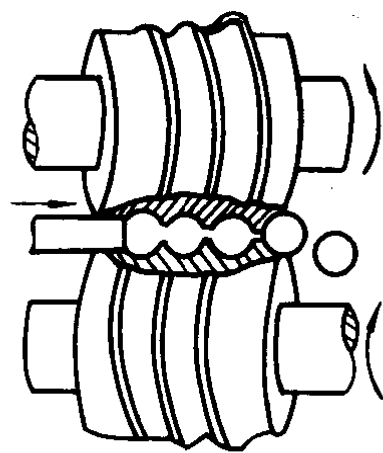


图 4-24 斜轧钢球简图

## 二、斜轧时金属的变形和应力状态

斜轧变形的最大特点是在轧件中心形成疏松,甚至空腔。这种疏松和空腔对大部分工件都

应避免产生,只是在轧制无缝钢管等空心件时利用这个特点进行穿孔,本节主要是分析空腔形成的原理,以便在孔型设计时避免或利用它。

简单地说,毛坯中心部出现裂纹、疏松、空腔是由于中心产生的拉应力所致<sup>[22]</sup>。确切地说,疏松形成的机理,属于金属断裂力学范畴的问题,目前只能定性加以解释,并且对此问题的看法还未完全一致<sup>[23]</sup>。

图 4-25(b)为斜轧时毛坯受力情况,毛坯受到摩擦引起的切向应力,此切向摩擦力  $F$  使毛坯旋转。在与轧辊接触处有一对集中力  $P$ ,它形成力矩  $M$ 。 $P$  力作用在圆弧  $AB$  和  $CD$  上,由于承力面积沿径向逐渐增大,故压应力由表面向中心逐渐减小,变形集中在表面, $AEB$  和  $CGD$  为最大变形区,它径向压缩,轴向和切向延伸。这和在上平板上锻造圆坯的情况相似(图 4-25 a),只是没有切向摩擦力而已。

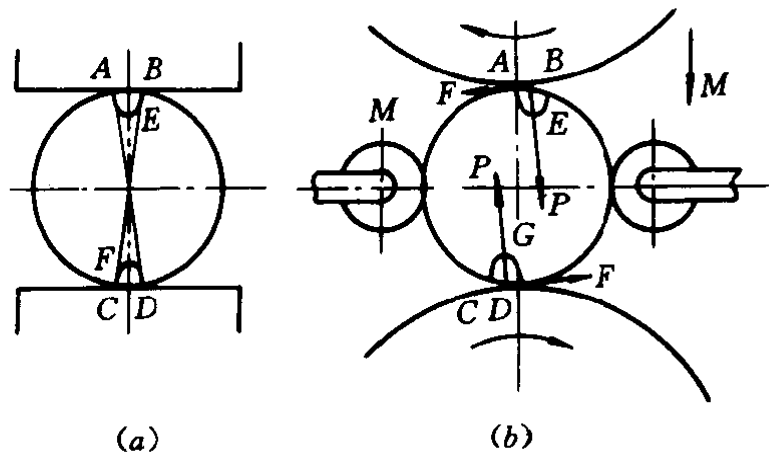


图 4-25 实心圆件锻造和斜轧受力简图  
(a)锻造圆坯;(b)斜轧

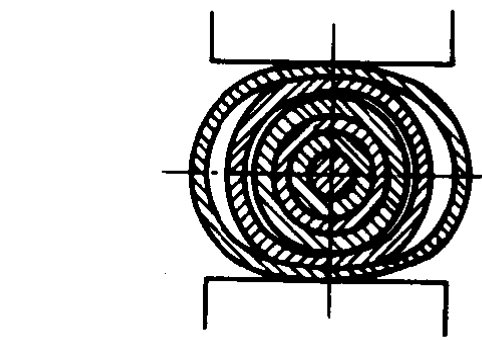


图 4-26 在平砢铁下锻造多层同心圆坯

为了说明上述现象,将许多紧套在一起的圆筒组成的实心圆坯在平板下锻造。结果工件成图 4-26 的形状。

可以看出,在径向变形程度方面,外层远大于内层,这是外层径向应力大于内层之故,相当于外层是在内筒体支承下锻造的,而内层象一个硬芯棒一样。这样,外层横向直径扩大,对实心圆坯则径向受到较大的拉应力。

外层金属在轴向的延伸远大于内层金属,对于短圆坯将出现在端面上的是表面凸出、中心凹进的碗形。当毛坯长度很大时,外层金属将带动中心层一起轴向流动,即强制不延伸的中心层轴向流动,使中心形成拉应力。

可见毛坯中心在径向、切向和轴向均受不等的拉应力,三向拉应力的应力状态下金属塑性最低,容易产生裂纹。

毛坯的轴向应力和切向应力沿径向的分布见图 4-27。

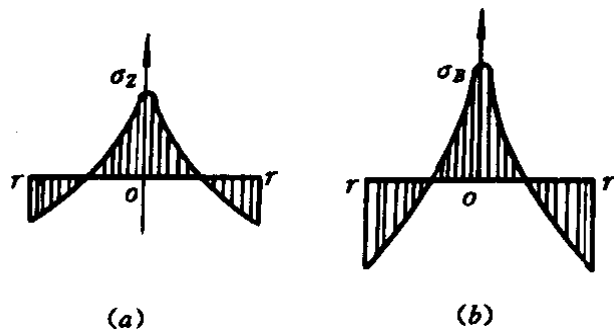


图 4-27 轴向应力与切向应力分布  
(a)轴向应力;(b)切向应力

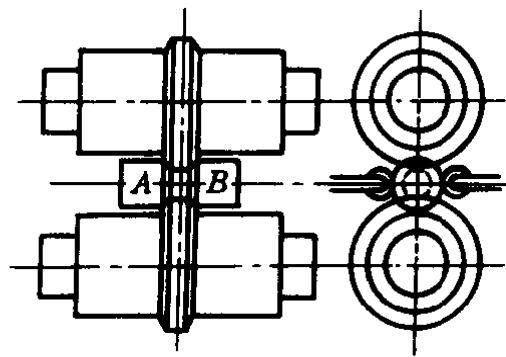


图 4-28 凸棱轧制

此外,在平辊上轧长毛坯时,毛坯与轧辊接触的  $AB$ 、 $CD$  弧,沿轴线形成一个狭长带,根据最小阻力规律,中段的金属向长度(轴向)方向延伸的阻力很大,而横向流动阻力很小,结果形成中段直径较两端大的鼓形,这种不均匀变形也造成了毛坯沿轴向的应力分布不均。

锻轧温度越高,锻击之间的间歇越大,则不均匀变形造成的应力消除越快。每次压缩变形程度越大,则变形越均匀,近似于普通的锻粗,中心部分发生破坏的可能性越小。反之,多次小压缩量的变形,会引起不均匀变形,造成中心部分拉应力而形成破坏。斜轧是一个连续的变形过程,由于工件是旋转的,故工件上受压的部位时刻在变,对某一位置来说,每旋转一周受到两次压缩。

孔型的形状对应力状态和中心疏松也有影响。斜轧零件沿长度方向都是直径不等的(如阶梯轴,穿甲钢心),为了缩小该处直径,轧辊在相应位置处的直径将增大,形成凸棱。在工件的尾部,为了切断工件,该处轧辊直径陡然增大,出现一个用很窄的凸棱压缩毛坯的情况(称凸棱轧制),见图 4-28。为切断毛坯,凸棱直径应超过轧制中心线。

凸棱轧制时由于凸棱两侧存在较大的不变形部分,故径向和轴向的不均匀变形程度减小。在其它条件相同时,凸棱轧制的毛坯部分的中心部位的径向、切向、轴向拉应力将比同样压缩量的平辊为小,形成中心空腔的可能性也比平辊小。毛坯不变形的两端体积越大,被凸棱压缩部分的长径比越小,则不变形的两端对被压缩部分的阻止作用越大,越不易出现中心空腔。如果被压缩部分的长度(即凸棱宽度)比直径大得多,则不变形的两端对中间部分的阻止作用不大,该处的变形将与在平辊上横轧相同,容易产生空腔。

### 三、斜轧的极限压缩量

斜轧时轧件旋转并轴向前进,利用轧辊直径的增大,使工件在两轧辊间受压缩而变形。如果压缩量过大,超过了极限压缩量,则工件即在轧辊间打滑,轧制不能正常进行。

#### 1. 毛坯和轧辊接触表面宽度 $b$ 的确定

斜轧时轧辊间的斜角是很小的,所以也有人把斜轧称为横轧。如果忽略此斜角,即两轧辊中心线和工件中心线在同一平面内(相当于横轧),则轧制时工件和轧辊有以下的几何关系(图 4-29):

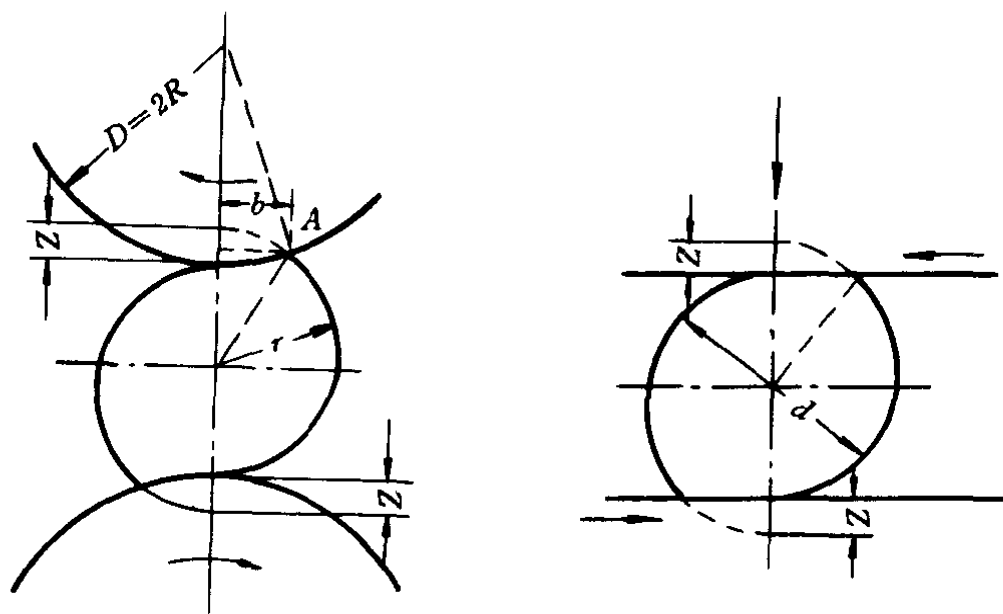


图 4-29 横轧时工件与轧辊的几何关系

$$Z = R - \sqrt{R^2 - b^2} + r - \sqrt{r^2 - b^2} \quad (4-13)$$

式中  $Z$  ——半转内毛坯半径减小量;

$R$  —— 轧辊半径;

$r$  —— 毛坯半径;

$b$  —— 毛坯和轧辊接触面的宽度。

经简化,推导后可得  $b$ 、 $D$ 、 $d$ 、 $Z$  之间有以下关系:

$$b = \sqrt{\frac{D(Zd + 2Z^2)}{D + d + 2Z}}$$

上式可换写成

$$b = \sqrt{\frac{Zd + 2Z^2}{1 + \frac{d}{D} + \frac{2Z}{D}}} \quad (4-14)$$

当轧辊直径  $D$  比毛坯直径  $d$  大很多时,  $d/D$  和  $Z/D$  近于零, 因此可以近似地得到轧制时接触表面宽度的公式为

$$b = \sqrt{Zd + 2Z^2} \quad (4-15)$$

实际上接触面宽度要比用上式计算出来的大, 因为轧制时毛坯受切向滚压, 形成椭圆形。为此, 引进一个小于 1 的修正系数  $\varphi$ , 得

$$b = \sqrt{\frac{Zd + 2Z^2}{\varphi}} \quad (4-16)$$

## 2. 毛坯和轧辊接触表面的极限宽度

横轧时毛坯受到正压力  $P$  和摩擦力  $F$  两个力(图 4-30)。两轧辊作用在毛坯上的摩擦力矩  $M_1 = Fa$ , 它带动毛坯转动。两个垂直正压力  $P$  也组成一对力矩  $M_2 = Pc$ , 但其转动方向与毛坯旋转方向相反。当轧辊咬住毛坯旋转时, 各旋转力矩间应有下列关系:

$$M_1 - M_2 = M_i + M_g$$

式中  $M_i$  —— 导板对毛坯的摩擦力矩;

$M_g$  —— 动力矩。

当稳定(等速)轧制时,  $M_g = 0$ , 若不计导板对毛坯的摩擦力矩, 则要实现正常轧制, 应保持以下关系:

$$M_1 > M_2$$

或

$$Pa\mu > Pc$$

因此

$$a \geq \frac{c}{\mu}$$

(4-17)

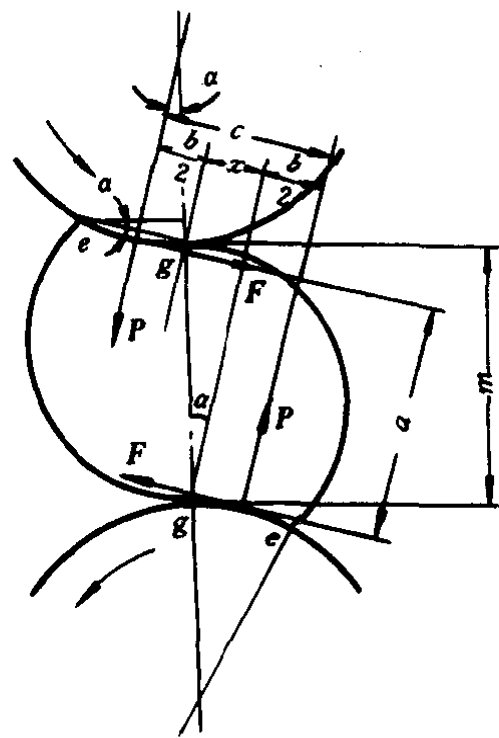
图 4-30 横轧时的作用力

如果增加轧辊每转一圈的压缩量, 则毛坯和轧辊的接触面宽度  $eg$  增加, 力臂  $c$  增加, 而  $a$  减小, 当到达一定程度时即不符合上述不等式关系, 这时毛坯在轧辊间停止转动而打滑, 轧制过程即不能正常进行。

利用  $\mu a = c$  这一关系可以继续推导出下列关系:

$$\frac{b}{d} = \frac{\mu}{1 + (d/D)} \quad (4-18)$$

式中  $b$  —— 轧辊与工件接触面宽度, 即  $eg$  的弦长。



考虑到轧制过程中宽度的增加,上式改为

$$\frac{b}{D} = \frac{\mu\varphi}{1+(d/D)} \quad (4-19)$$

随着压缩量的增加  $b$  增大,当  $b/D$  增加到上式右边数值时,毛坯打滑,这时的  $d$  值即为毛坯和轧辊接触表面的极限宽度。计算和实验表明,在一般条件下,横轧时毛坯和轧辊的接触表面宽度小于毛坯直径的 10~12%。

### 3. 横轧时的极限压缩量

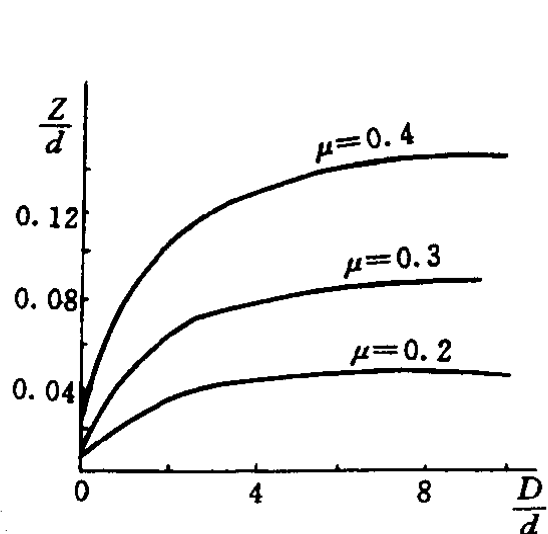


图 4-31  $Z/d$ 、 $\mu$ 、 $D/d$  的关系

将公式  $b = \sqrt{\frac{D(Zd+2Z^2)}{D+d+2Z}}$  推导、简化后可求得毛坯每转半圈的压缩量  $Z/d$ 。

$$\frac{Z}{d} = \frac{\mu^2}{1+(d/D)}$$

考虑到扩展切向宽度,则得

$$\frac{Z}{d} = \frac{\mu^2\varphi}{1+(d/D)} \quad (4-20)$$

按此等式作的曲线如图 4-31 所示,可以看出:

(1) 摩擦系数  $\mu$  与旋转条件(相对压缩量  $Z/d$ )呈平方关系,它对旋转条件的影响远比  $D/d$  为大。

(2)  $D/d$  大,则旋转条件好,但当  $D/d > 5$  以后, $D/d$  的增大对旋转条件的改善即不明显了。

(3) 相对压缩量  $Z/d$  是很小的,斜轧钢心时  $\mu = 0.1 \sim 0.2$ ,因此相对压缩量约只有百分之几,但因轧件在孔型内旋转圈数较多,故斜轧仍能得到较大的总压缩量。

## 四、斜轧时工件的运动

### 1. 圆周运动

轧辊上刻有孔型,使沿轴向辊径不等,因而孔型上各点的圆周速度不等,型辊直径最大的凸棱 A 点的线速度最大,而直径最小的 B 点线速度最小(图 4-32)。但在被压缩的轧件则在 A 点的圆周速度最小,而 B 的圆周速度最大。因此在轧制时轧件与轧辊有相对滑动,可以认为,从 A 到 B 之间必然有一 N 处没有相对滑动, N 点一般是轧件的平均半径处。

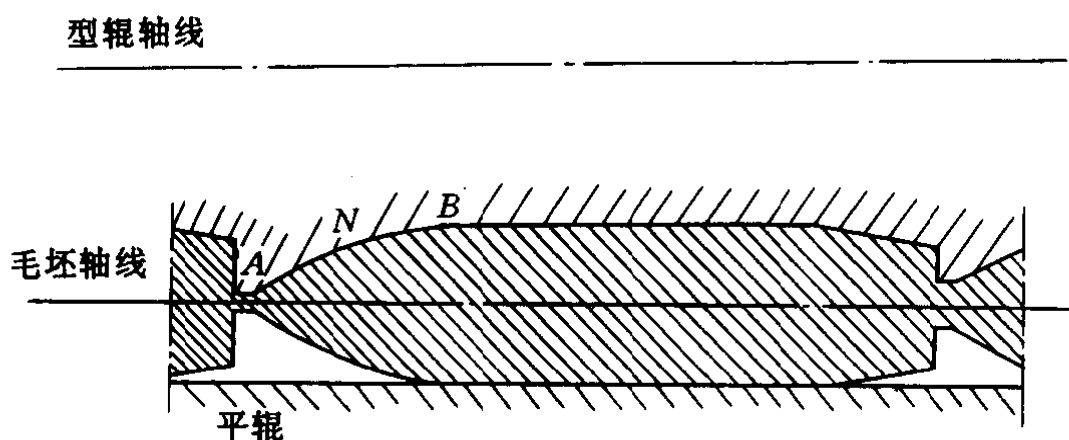


图 4-32 工件的圆周运动

由于存在着相对滑动,就加快了轧辊的磨损和发热,转速越大,滑动越大。最大相对滑动发生在凸棱处,即两钢心的连接颈处,因该处辊径最大而轧件直径最小。

## 2. 轴向运动

轧件产生轴向运动的原因有两点:

(1) 轧辊有倾角  $\beta$ , 产生轴向分速度使轧件轴向前进, 其速度为

$$v_{\beta} = R_n \omega \sin \beta = \frac{\pi D_N n}{60} \sin \beta$$

式中  $R_N$  —— 无滑动处的轧辊半径;

$D_N$  —— 无滑动处轧辊的直径;

$n$  —— 轧辊每分钟转数;

$\beta$  —— 轧辊倾斜角。

(2) 轧辊上的孔型和凸棱本身是车成螺旋的, 旋转时凸棱推动轧件向前运动, 其速度为

$$v_a = \frac{nt}{60} \cos \beta$$

式中  $t$  —— 轧辊孔型螺距。

这两种速度以何者为主, 轧件以哪个速度轴向运动? 这里有三种情况:

(1)  $v_{\beta} > v_a$ : 即轧辊旋转的水平分速度通过摩擦带动轧件前进的速度大于凸棱推动轧件前进的速度。由于前方有凸棱的限制, 金属前移受阻, 出现了轧件压迫凸棱前半面的情况。由于轧辊和轧件是相对滚动的, 这就出现了凸棱切轧件前端面的现象。这种情况下, 咬入后的金属不易后滑, 增加了孔型内金属的体积。

(2)  $v_{\beta} < v_a$ : 同上理由, 将出现凸棱的后端面推轧件前进的现象, 也产生凸棱切轧件后端面的现象。

(3)  $v_{\beta} = v_a$ : 这时轧件和轧辊轴向运动一致, 轧制过程平稳, 这是我们所希望的理想轧制关系, 即

$$\frac{\pi D_N n}{60} \sin \beta = \frac{nt}{60} \cos \beta$$

简化后得

$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{t}{\pi D_N}$$

得

$$\tan \beta = \tan \alpha$$

即

$$\beta = \alpha$$

(4-21)

式中  $\alpha$  —— 轧辊孔型的螺旋升角。

上面的推导说明, 要实现平稳轧制, 应使轧辊的倾斜角  $\beta$  调整到等于孔型的螺旋升角  $\alpha$ 。但实践中由于孔型各段的  $\alpha$  角多是不等的, 要实现平稳轧制是很难的。

## § 4.5 斜轧钢心

### 一、钢心斜轧简介

穿甲弹钢心斜轧可以采用两个型辊(有孔型的轧辊), 也可采用一个型辊和一个平辊(无孔型的轧辊), 以后者为好, 因为它减少了型辊加工的工作量, 同时也增加了导板宽度, 见图 4-33 和 4-34。导板置于轧辊的两侧, 有上、下两个, 目的是支持和导引轧件运动。

型辊分为成型区和精整区两大部分。精整区内轧件没有大的变形, 主要是保证钢心的尺寸精度, 消除椭圆度, 因此精整区的孔型尺寸相同且为等螺距。成型区是金属变形的区域, 由于把

棒料(毛坯)直径设计成等于钢心圆柱部直径,因此轧制时圆柱部变形很小,只有弧形部和尾锥部受压缩变形。

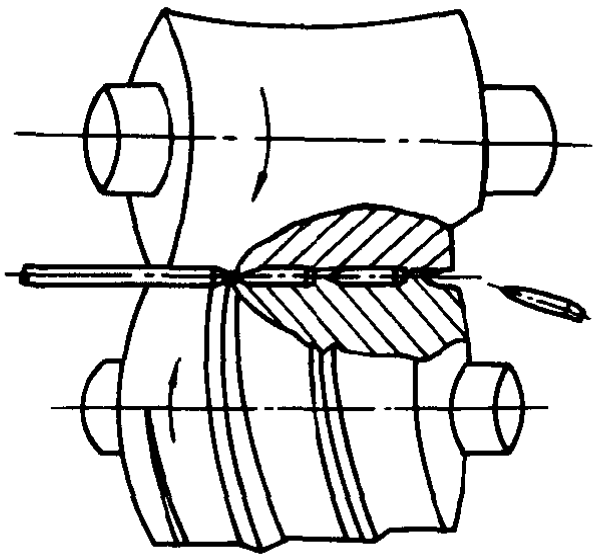


图 4-33 斜轧钢心

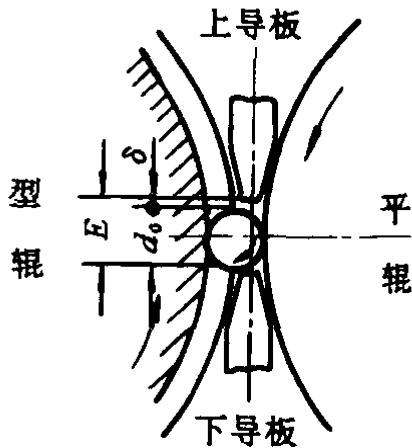


图 4-34 斜轧钢心的导板

金属的压缩是靠型辊上的凸棱高度的增加(即辊径增加)来实现的。轧辊每旋转 60°(或 90°)凸棱高度和孔型尺寸要变化一次,螺距也变化一次,因此成型区孔型是变螺距的。

14.5 穿燃弹钢心斜轧时的变形过程见图 4-35。

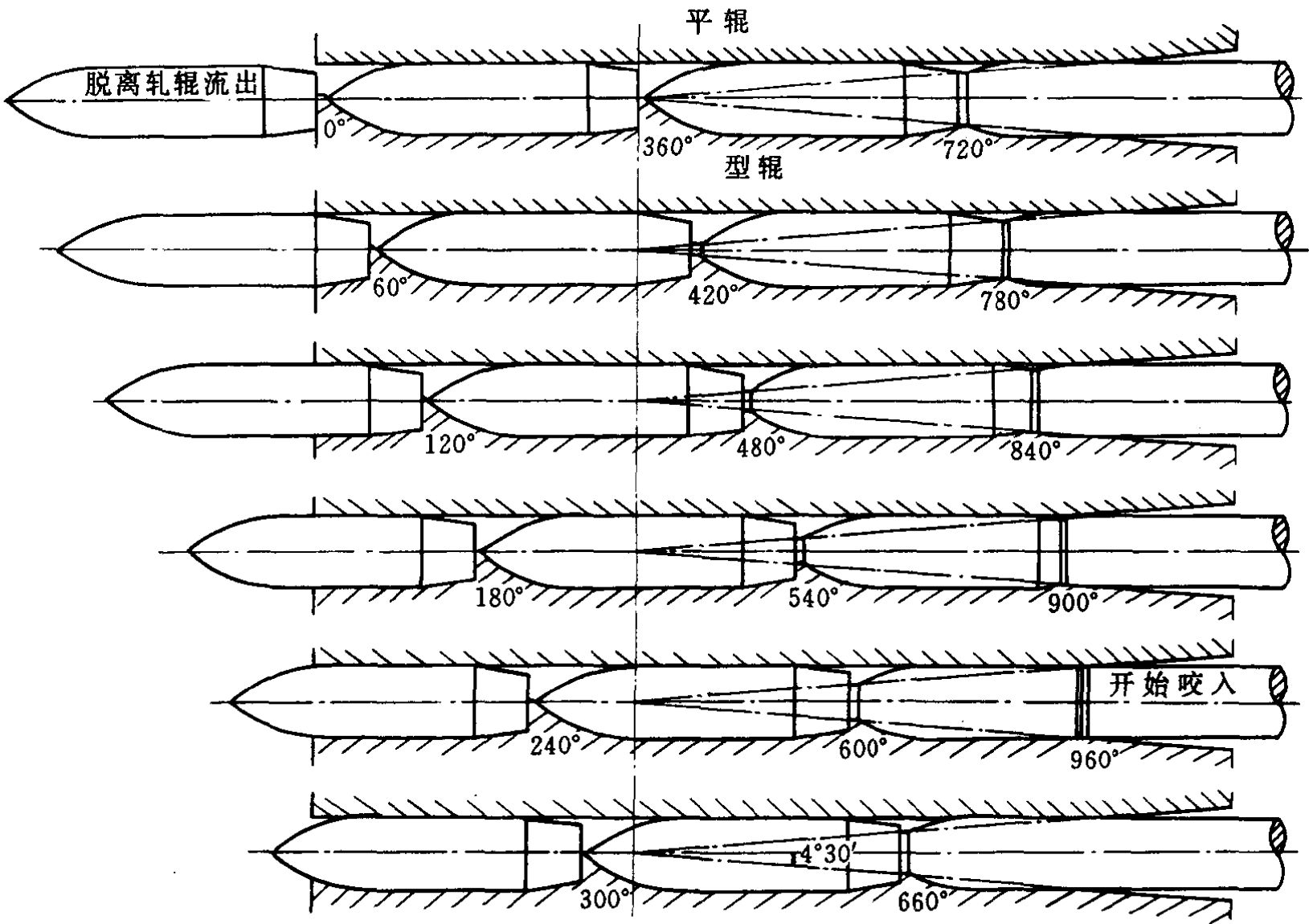


图 4-35 14.5 钢心斜轧变形过程

轧辊每旋转 60°,孔形变化一次尺寸,逆轧制方向看,0°为轧制结束点,这时工件已轧成后离开轧辊,0~360°为精整区,360~960°为成型区,即轧辊旋转 8/3 圈完成钢心的轧制过程,其中 5/3 圈为变形段,而其余的一圈为精整段。轧件的旋转圈数则近似为轧辊圈数的  $D/d$  倍( $d$  为轧件平均直径)。

在型辊上成型区终点(即精整区的起点)开始有斜度(图 4-36),成型区凸棱的高度就按此

斜度变化,在  $960^\circ$  处两轧辊的间隙等于钢棒直径,棒料开始被咬入,棒料边旋转边前进,凸棱右侧的弧形部逐渐变长,由于凸棱的升高使弧形变长而尖,到  $360^\circ$  时尖部成型完毕。为了把尖部切断,弧形部凸棱高度在  $360^\circ$  以前应比钢心中心线略高。

钢棒在  $960^\circ$  被咬入后,凸棱高度逐渐升高,右侧为弧形,右侧为锥形,锥形的斜角即为钢心尾锥的半锥角,在  $720^\circ$  时已达到尾锥的长度,这时凸棱左侧垂直上升,目的是切断钢心(使它与钢棒分离)。

设计孔型时有尖部朝前(前进方向)和尾部朝前两种方案。尖部朝前时弧形部金属饱满,容易保证精度。尤其在钢心离开轧辊时尖部先出孔型,而圆柱部和尾锥部仍在孔型中,因此钢心弧形部不会被扭歪。

图 4-36 为 14.5 钢心斜轧的型辊。辊径  $d$  取  $\varphi 220 \pm 5\text{mm}$ , 轧辊磨损后可以重车,直到直径减小到 180mm。成型段的斜度为  $4^\circ 30'$ 。轧辊内形为一锥度,以便插入芯棒加工轧辊孔型。轧辊孔型尺寸是以圆周展开图表达的,即每隔  $60^\circ$  画一个孔型和凸棱尺寸,共六个,展开图与图 4-35 中型辊尺寸相同。

平辊又称光辊,虽然上面不刻孔型,但其形状并不是个圆柱体,而是个中间直径比两端直径略小的旋转单叶双曲面(图 4-37)。其原因是轧辊与轧件间中心线存在一个  $\beta$  斜角,如果用圆柱形轧辊,则轧辊与轧件的接触线是条弧线,而不是直线。轧件的中间直径小,两头直径大。而在单叶双曲面轧辊上可以找到一个矩形  $abcd$  剖面,这个矩形正好与轧辊成  $\beta$  倾角,即在单叶双曲面轧辊上存在着

以  $ab$  为母线的回转面。只要将轧辊旋转  $\beta$  角,使  $ab$  与轧制中线(轧件的中心线)平行,即可轧出直径一致的钢心圆柱部。

单叶双曲面轧辊上的最大最小直径之差  $2\delta$  可以用复杂的数学推导求得。但对于斜轧钢心的轧辊,  $2\delta$  是很小的,例如当辊径为 225mm,辊长 160mm,  $\beta = 5^\circ 31'$  时  $OO' = 7.73\text{mm}$ ,  $2\delta = 0.54\text{mm}$ 。由于此值很小,故可以在淬火后磨削轧辊(包括型辊和平辊)时加工出单叶双曲面形状,即将轧辊倾斜  $\beta$  角,用砂轮磨削而成。

## 二、主要参数选择

### 1. 辊径

在确定辊径时应考虑以下一些因素:

(1) 轧辊直径小时,如果导程相同,则螺旋升角增大,而螺旋升角增大会促使轧辊倾斜角增大,从而缩短了型辊的轧制线(型辊与轧件沿母线方向的接触线),即减短了成型区和精整区的

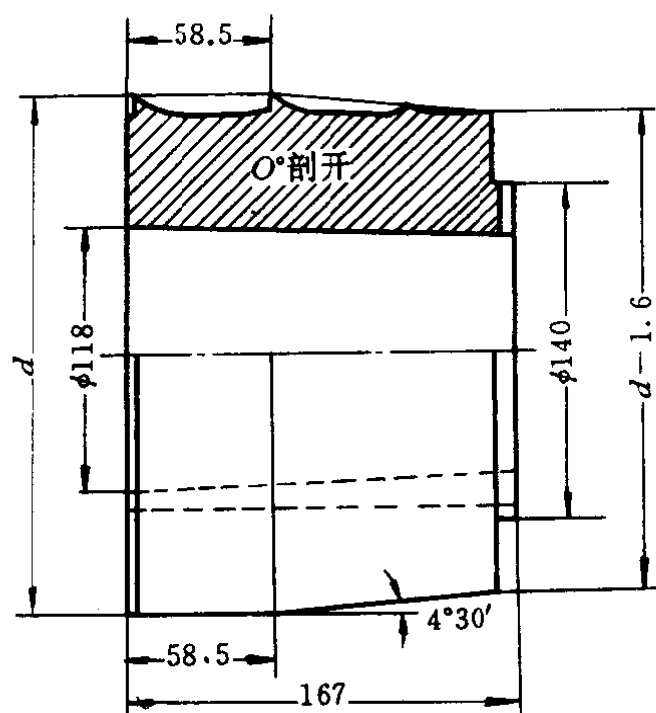


图 4-36 型辊

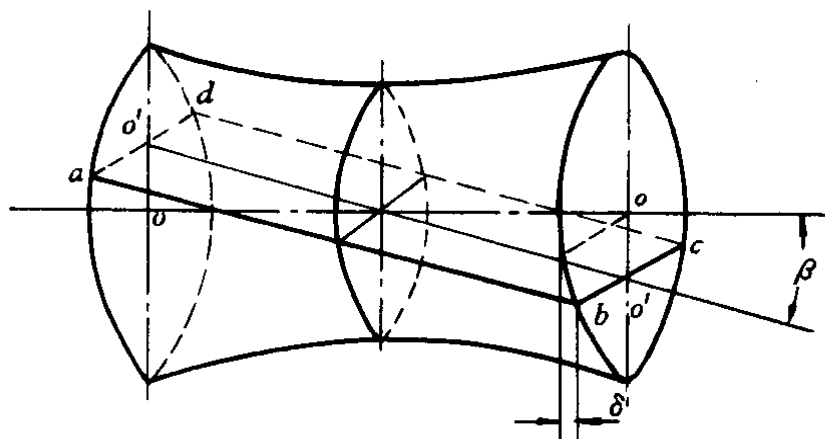


图 4-37 单叶双曲面轧辊

有效长度。一般情况下螺旋升角不大于  $6^{\circ}30'$ 。

(2) 轧辊直径过大时, 钢条自转速度和自转圈数增加, 使导板磨损加快, 例如当轧辊直径  $D$  为钢条直径  $d$  的 17 倍时, 轧辊如以 135 转/分的速度旋转, 则钢条自转速度将是 2295 转/分, 如果钢条直径为 12.45mm, 则钢条线速度为 90 米/分。在高温和高压力作用下, 这样大的线速度将引起导板的迅速磨损。实践证明如何减小导板的磨损也是斜轧钢心的一个关键。

(3) 辊径大, 钢条旋转圈数多, 容易造成中心空腔。以  $D/d=17$  计算, 如果轧辊旋转  $8/3$  圈完成钢心的轧制过程, 则钢心将旋转 45 圈以上才能成型。

(4) 轧辊直径大, 则钢条容易被咬入, 不易打滑。

(5) 应考虑到轧辊应有多次重车量。

(6) 考虑到装卸方便, 轧辊自重不应超过 30 公斤。

两个轧辊的直径可以相等, 也可以有一个辊径略大。如两辊径相等, 则轧件将在上下导板间跳动, 即时而与上导板接触, 时而与下导板接触, 不易掌握。如果有一个轧辊直径略大时, 轧件就靠紧一面导板, 操作时容易掌握。当然辊径差太大, 则导板受压力增大, 加快了磨损。一般辊径差为 4~8mm。通常是平辊直径比型辊大, 因为型辊直径偏大时制品容易钻孔型。由于下导板容易固定, 所以通常都使轧件靠紧下导板。

## 2. 辊长

通常用孔型螺旋展开的度数来计量轧辊的长度。精整区的作用是保证钢心平整, 尺寸准确, 这个作用只需  $3/4 \sim 1$  圈 ( $270 \sim 360^{\circ}$ ) 即可完成, 通常取  $360^{\circ}$ 。所以精整区在轧辊上所占的长度等于钢心成品长度加凸棱宽度, 而凸棱宽度一般取 3mm 左右。

成型区长度大, 则同样的旋转角度下压缩量小, 且钢心旋转圈数增加, 钢条易被咬入。但如前所述, 多次小压缩量的变形易使中心形成疏松, 甚至空腔。成型区长度短则反之。成型区长度增加的另一个优点是由于每个孔型内的金属压缩量减小, 使两相邻孔型间体积不等的差距减小, 提高了轧件质量。所以对于精度要求高、形状复杂的制品, 成型区应取大些, 穿甲钢心的成型区一般取钢心长度加凸棱宽度的 2.5 倍。

## 三、孔型设计

轧辊上切槽的形状称为轧辊的孔型。型辊孔型设计主要是成型区的孔型设计。在成型区内毛坯的压缩应遵守下列三个基本条件:

(1) 在任一孔型内所含的金属体积都应相等, 此体积等于钢心的总体积。即金属在孔型内只改变形状而不改变其体积, 或者说相邻两孔型中的金属彼此没有相互流动。在实际生产中, 孔型开始部分由于这时凸棱很低, 金属可以自由地轴向流动, 而在成型区后段, 凸棱已很高, 孔型封闭, 金属不能向后流出或从前面补充, 这时孔型内金属的多余或不足将会造成钢心的各种缺陷。

(2) 孔型凸棱尺寸的变化, 如凸棱高度和宽度的变化, 应与被压缩金属的延伸相适应。即被凸棱压缩掉的体积, 应等于该弧形部孔型增加的体积, 即被凸棱压缩掉的金属全部流向弧形部。

(3) 轧件应在尽量窄的凸棱上实现压缩, 以防中心破坏。凸棱宽度一般不应大于 4~5mm, 但受凸棱强度限制, 也不能太窄。

型辊孔型设计的具体方法和步骤如下:

(1)成型区轧辊斜度确定。成型区轧辊斜度应略大于钢条半径(即钢心圆柱部半径)与成型区长度之比。

(2)将型辊圆周面按六等分展开并放大,绘出轧制中心线,以成型区终点为原点作斜线,其斜角等于轧辊成型区斜角。计算孔型时分两头进行,原点向前方为精整区,向后为成型区。轧制终点的螺旋展开角为零度,逆轧制方向旋转,角度逐渐增加,如果精整区是一圈,则原点螺旋角为 $360^\circ$ 。

(3)设计精整孔型。考虑到轧辊的制造公差和使用过程中的磨损,精整区孔型应按制品的最小尺寸设计。由于是热轧,应考虑到冷却后尺寸的收缩,可根据终轧温度和热膨胀系数计算。一般,孔型尺寸应乘以1.01系数。

确定精整区凸棱宽度后即可确定精整区的螺距。精整区螺距等于钢心成品长度加凸棱宽度。精整区是等螺距的,即从 $0\sim 360^\circ$ 的孔型尺寸是相同的。确定螺距或导程后应查加工该轧辊的车床挂轮表,是否有与此导程相适应的挂轮,如果没有,则意味着用此机床加工不出此导程的孔型。可以改变凸棱的宽度,使所得的导程正好符合机床的挂轮。

为便于切断钢心成品,精整区孔型深度可比钢心圆柱部半径略大,即凸棱应比原点(即轧制中心线)略高。

(4)成型区封闭孔型设计。分为钢心弧形部和尾锥部两部分进行计算。弧形部根据体积不变原则设计,即孔型的弧形部和凸棱所包含的体积应等于尚未成型出来钢心尖部体积。由几何关系(图4-38)可知,只要设计一个凸棱使其宽 $AB$ 绕轧制中心线 $OO$ 回转形成的截锥体体积等于尚未形成的钢心弧形尖部 $\widehat{BC}$ ( $\widehat{BC}$ 为钢心弧形 $BD$ 的延续)绕 $OO$ 回转形成的体积即可。

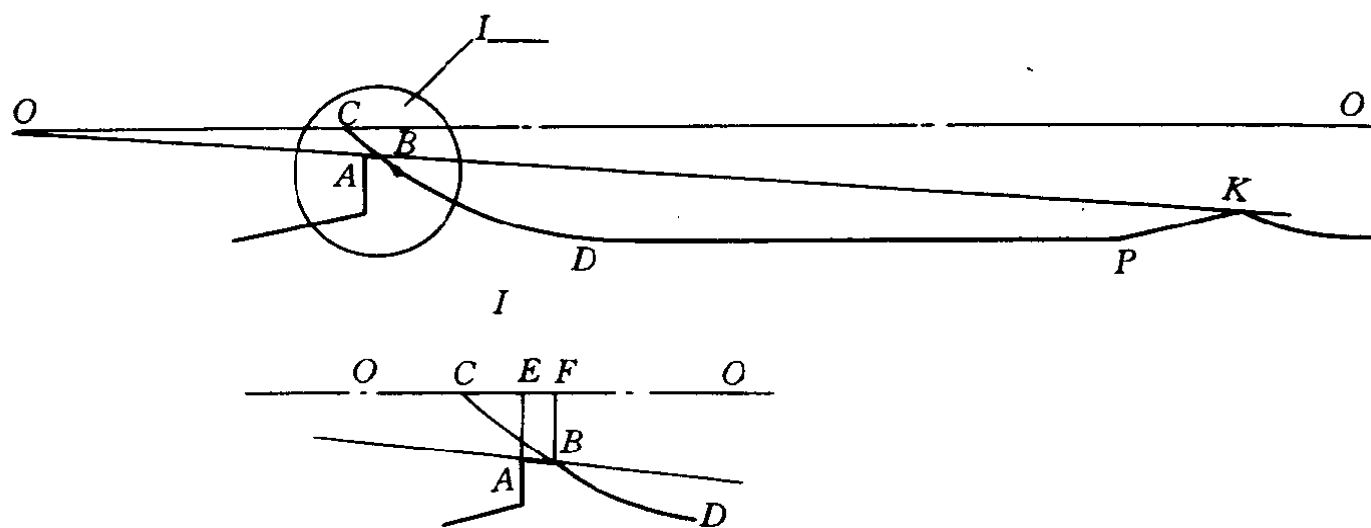


图 4-38 钢心孔型计算

钢心尾锥部孔型则以作图法来确定(图4-38)。从圆柱部端点 $P$ 作一斜线,斜线的斜度即为钢心尾锥半角,它与成型区斜线交于 $K$ 点,则 $PK$ 即为孔型尾锥部形状。如果成型区斜线与孔型的钢心圆柱部 $DP$ 相交,则表示孔型尚未到达尾锥成型的位置。随着孔型位置的向前,凸棱 $K$ 点位置升高,当 $K$ 点到达钢心尾锥底面位置时 $K$ 点即垂直上升,产生凸棱,凸棱高度即由此 $K$ 点的垂线和成型区斜线的交点确定。

$A$ 、 $K$ 两点的距离即为孔型的长度,除以6即为旋转 $60^\circ$ 的导程。这个导程还要与加工机床的挂轮相适应,因此还有可能要修改凸棱宽度 $AB$ 。弧形部凸棱宽度 $AB$ 的具体计算方法如下:

①求出锥角为二倍轧辊成型区斜角 $\alpha$ 的圆锥体在不同高度 $h$ 的锥体体积(图4-39)。高度

$h$  每隔 0.05mm 计算一个体积。

$$\text{锥体体积} \quad V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

式中  $h$  —— 圆锥体高度；

$r$  —— 圆锥体底圆直径,  $r = h \tan \alpha$ 。

② 求出不同底圆半径时, 尚未形成的钢心弧形尖部回转形成的体积(图 4-39)。其计算公式为:

$$V_j = V_z - \pi \left[ (a^2 + R^2) l - \frac{l^3}{3} - a(l \sqrt{R^2 - l^2} + R^2 \sin^{-1} \frac{l}{R}) \right] \quad (4-22)$$

式中  $V_j$  —— 尚未形成的钢心弧形尖部体积；

$V_z$  —— 钢心弧形部总体积；

$a$  —— 弧形部圆心至轧制中心线的距离；

$R$  —— 钢心弧形半径；

$l$  —— 弧形部底面到所要求的尖部底面的距离；

$r$  —— 所要求的弧形尖部的底圆半径。

$$r = \sqrt{R^2 - l^2} - a$$

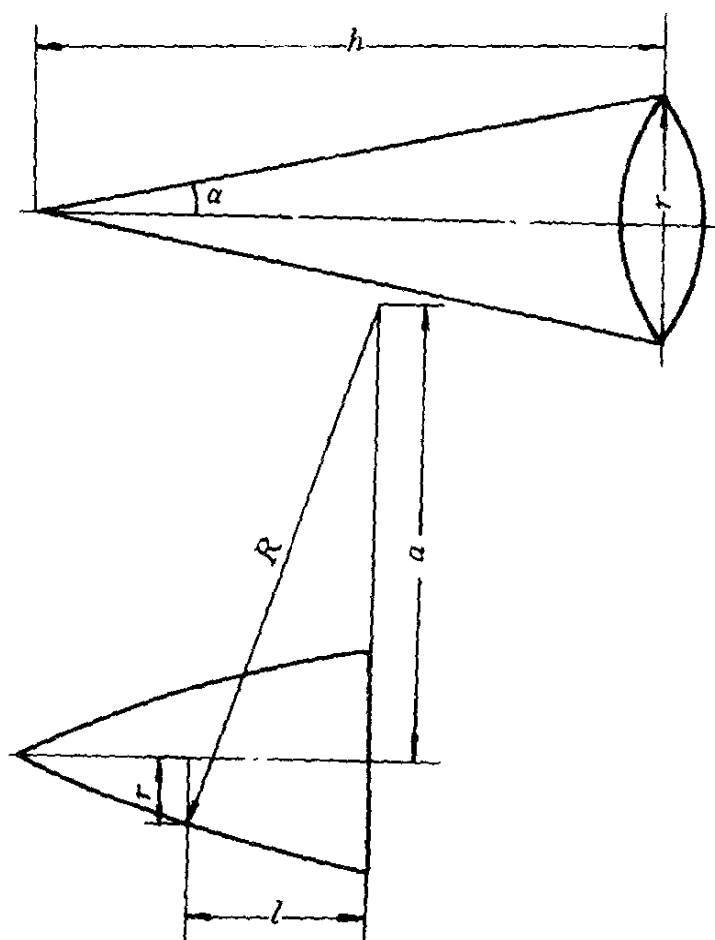


图 4-39 体积计算

③ 图 4-38 中  $A$  点的座标, 在它前面的  $360^\circ$  的孔型设计时即为已知的, 因此以  $AE$  为底圆半径、 $OE$  为高度的圆锥体体积即可求出 ( $O$  为坐标原点)。选取一个凸棱宽度  $AB$ , 使以  $BF$  为底圆半径、 $OF$  为高的圆锥体体积与  $OAE$  形成的圆锥体体积之差 (即由  $AB$  形成的截锥体体积) 等于或接近于以  $BF$  为底圆半径、 $\widehat{BC}$  为边形成的回转体体积。因为凸棱  $AB$  所形成的截锥体体积的金属在以后的轧制中将转移为钢心尖部  $\widehat{BC}$  的回转体体积的金属。 $\widehat{BC}$  为  $\widehat{DB}$  延长的弧线, 它们的弧形半径是钢心的弧形半径。

④ 该孔型的螺距等于孔型长度加凸棱宽度, 由于每  $60^\circ$  计算一个孔型, 故该孔型旋转  $60^\circ$  的导程等于螺距除 6。

⑤ 查机床挂轮表, 取与其相近的导程, 并修改凸棱宽度, 使适合于机床挂轮的导程。如相差太多, 则能改变凸棱高度。

(5) 开放孔型的孔型设计。凸棱不高时的孔型称为开放孔型。在开放孔型内的金属可以轴向流动, 因此不需要精确地计算体积, 只需适当选择凸棱宽度即可。

用纯数学方法计算钢心弧形尖部体积的方法准确性大, 但很繁琐。用作图法计算体积的方法计算简便, 实践证明它的精度是很高的。将钢心放大 5 至 10 倍, 画在座标纸上, 沿长度方向分割成许多小段, 把每个小段看作是一个截锥体来计算其体积, 截锥体上下端直径直接由纸上量得。

#### 四、轧制过程中轧机的调整

穿甲钢心形状复杂, 要求精度高, 产量高, 除了正确地设计孔型外, 轧机的调整是提高产品质量的重要环节。轧机可调整的有径向调整、倾斜角调整和导板的调整三个方面, 但这三方面

的调整是互相影响、互相联系的。

### 1. 轧辊的径向调整

径向调整即两轧辊间距离的调整,它直接影响钢心的径向尺寸。调整中可能出现过紧和过松两种情况。

孔型间隙过小(紧),将会出现:

(1)中心疏松。因为间距过小,轧件展宽加大,拉应力加大,中心将出现疏松。

(2)轧件不转。因为过紧,轧件后滑困难,轧件宽度加大,使旋转条件变坏。

(3)产品直径过大,椭圆度大,弯尖。一般地说,间距小则产品直径小,但间距小时孔型内金属量增多,后滑又困难,多余的金属即向尖部流动,出孔型后造成椭圆(直径变大)、椭圆度大,弯尖。

(4)导板受力增大。

孔型间距过大会产生如下情况:

(1)轧件不转。由于入口处过松,仅凸棱与金属接触,而孔型底部不与金属接触,轧件被型辊带到导板一侧,严重时轧件即不转。

(2)钻料。由于在出口处过松,则型辊与导板间的空隙大(见图 4-34),金属会从此间隙中钻出,产品被压扁。

(3)尾锥面不平 and 尖部平台。因为轧辊间距过松,轧辊入口处夹住料,而轧件的连接颈处的金属在轧制中变长,把轧件后推,造成空隙,形成尾部不平,甚至出现“双台”(两个台阶)。连接颈金属后滑,使弧形部金属不足,形成秃尖,即弧形部无尖,为一平台。

(4)尾锥变短。由于过松,型辊底部孔型和钢心圆柱部靠不紧,有空隙,造成尾锥和弧形过短。

### 2. 轧辊倾斜角的调整

前已分析过,倾斜角  $\beta$  增大,则轴向分速度增加,咬入金属的体积增多。反之则咬入金属体积减少。

$\beta$  角过大将产生以下疵病:

(1)弯尖。因  $\beta$  角大,金属咬入多而后滑又困难,孔型中金属过多,尖部切断困难,造成弯尖(图 4-40 a)。

(2)包头。当弯尖金属过多时,弯尖的金属反弯过来,压在弹尖部,经辊压后形成折叠,包在产品头部(图 4-40 b)。

(3)直径变粗。由于  $\beta$  大,孔型内金属多,轧件成椭圆,使弧形、圆柱和尾锥变粗。

$\beta$  角过小将产生如下疵病:

(1)秃尖。因  $\beta$  角小时孔型内金属量少,连接颈处金属量不足,该处在轧制时被拉断,使尖部出现平台而不是尖子(图 4-40 c)。

(2)尾部双台和歪尖。由于  $\beta$  小,后滑大,尾部形成双台,而到第二圈孔型和精整孔型内,金属后滑,多余金属向后,形成歪尖。

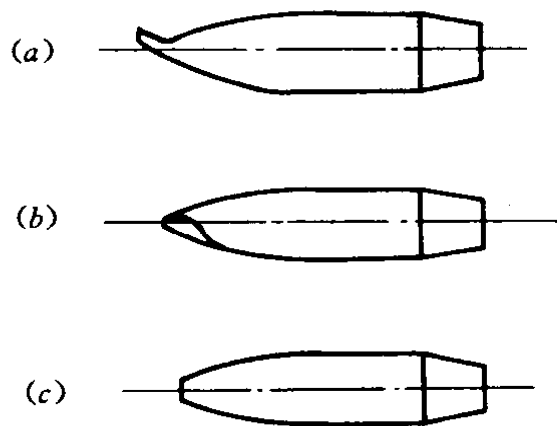


图 4-40 斜轧钢心疵病

(a) 弯尖; (b) 包头; (c) 秃尖

### 3. 导板的调整

轧制过程中轧件是受两个轧辊和一个导板三方面的支撑。导板是在极困难的条件下工作的,因其表面很窄,只有 4~5mm,单位压力大,温度高,相对滑动大,故导板的失效主要是磨损,有时会成为该工艺能否投入大量生产的关键。

导板置于两轧辊的两侧,并伸向轧件。由于型辊有孔型,故导板在靠型辊的一侧与轧件接触宽度小,且有较大的空隙(图 4-34),而靠近平辊一侧,导板宽度相当于孔型深度,且空隙小,所以轧件贴在受平辊切向作用力的导板走较为合理,否则贴在受型辊切向作用力的导板走,则容易钻孔型。由于下导板易于固定,故两轧辊的方向(左右位置)和旋转方向应如图 4-34 那样的安排,如改变旋转方向,则两轧辊应交换位置。

导板的间距  $F = d_0 + \delta$

式中  $d_0$  —— 轧件直径;

$\delta$  —— 间隙。

$\delta$  小,轧件上下跳动小,轧制过程稳定。 $\delta$  小可以控制轧件的椭圆度。但  $\delta$  小时喂料困难,会造成两板把料卡住,使轧件不能旋转。

## 第五章 热 处 理

枪弹、药筒制造工艺是以冷冲压、热处理和表面处理为主的综合工艺。热处理在枪弹、药筒制造中占有重要地位。例如弹壳(药筒)的强度曲线就是用冲压和热处理相结合的方法达到的,当要求的体部和底部强度过高,以至无法利用加工硬化来达到时,还要利用淬火来提高其强度。

枪弹、药筒制造中所用到的热处理方式很多,计有:

(1)再结晶退火。主要用于各种冷冲、冷挤后消除加工硬化,以便继续冲压。收口以前的口部退火(烧口、烤口)也属于再结晶退火。

(2)调质处理。用以改善组织,提高强度和塑性。用于冷冲压和冷挤压毛坯的调质、末前引后药筒根部的调质。

(3)淬火。用于提高强度,有药筒底缘和根部淬火,药筒热挤后利用余热淬火,有穿甲弹钢心的淬火。

(4)低温退火。防止时效和应力腐蚀,防止黄铜药筒自裂,药筒在加工成成品前都必须进行低温退火。此外末前引后的低温退火可以提高药筒强度。

正确地使用热处理工艺对于提高枪弹、药筒的战术技术性能,提高长期储存性能,保证冲压加工的顺利进行,减少废品,提高工具寿命等有着重大意义。例如采用钢饼调质处理解决了大口径弹壳由铜改钢过程中产生的胀膛和底缘拉脱重大疵病,穿甲钢心尾锥部回火工艺解决了穿甲燃烧弹穿甲率不高的问题。

当前枪弹药筒制造用的热处理加热已经由电阻加热向高(中)频感应加热方向发展,并利用保护炉气实现无氧化热处理。这样可以使冲压与热处理联动操作,甚至把冲压和热处理工序组合在一个机床上组成生产自动线。

### § 5.1 再结晶退火

再结晶退火的目的是消除冷冲压变形引起的加工硬化,恢复金属的塑性,便于继续进行冷冲压加工。由于是在两次冲压加工之间进行的退火,因此又称为中间退火。

#### 一、再结晶退火的三个阶段

经冷塑性变形的钢,随着退火温度的不断升高,其金相组织和机械性能逐渐产生变化,图5-1为S15A钢冷变形后机械性能随加热温度变化的过程。这个过程大致可分为回复、再结晶和晶粒长大三个阶段。S15A钢的回复阶段约在530℃以下,再结晶温度约为530~600℃,高于600℃属晶粒长大阶段。当然实际上这三个阶段是重叠进行的。

##### 1. 回复阶段

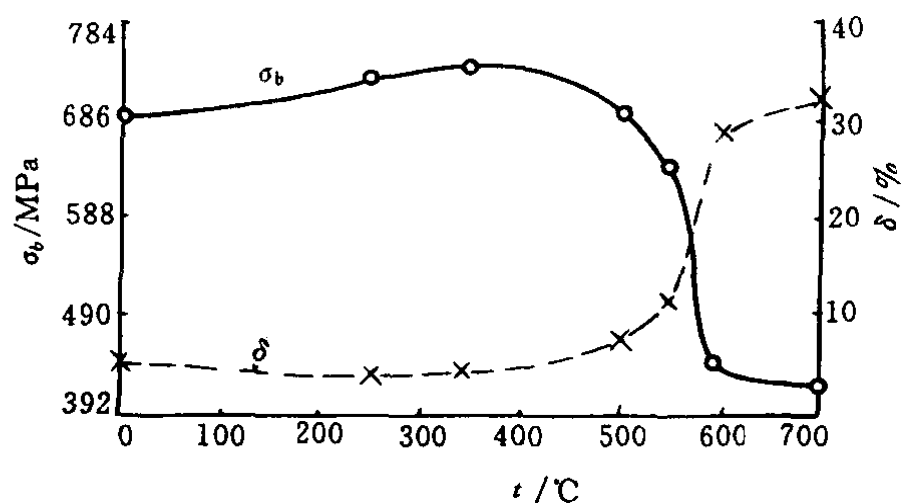


图 5-1 S15A 钢冷变形后机械性能随加热温度的变化

随着温度的升高,原子活动能力增大,退火金属内的原子作短距离的扩散,使某些晶体缺陷的数量减少,晶格畸变程度减轻。使一、二类残余应力基本消除。由于温度不高,故不可能引起显微组织的变化。对大部分金属,其硬度、强度略有下降,塑性略有升高,但对 S15A 钢和黄铜在回复阶段有强度升高现象,这主要是金属的时效引起的。

利用回复阶段的特性,可对已冷变形的材料进行低温退火,防止长期储存过程中的时效和应力腐蚀。黄铜和钢药筒成品前的低温退火就是基于这个原理。

## 2. 再结晶阶段

随着加热温度的继续升高,原子扩散能力增强,金属的组织 and 性能都发生了剧烈的变化,完全回复到冷变形前的状态。从显微组织上看,被拉长的布满滑移带的晶粒中首先出现一些细小的新晶粒的核心,晶核形成于晶界或滑移带等晶格畸变较严重之处,晶核逐渐长大,逐渐地取代了原来被拉长的晶粒,每个晶核形成一个新的等轴晶粒。如同再进行一次结晶过程一样,因此称为再结晶阶段,这种退火也被称为再结晶退火。再结晶退火没有相变,因而也没有形成新相。

再结晶阶段内应力全部消失,加工硬化全部消除,因而塑性显著升高,强度显著降低,这个阶段的晶粒是最小的。

超过一定温度后金属开始再结晶,但再结晶温度不是固定的,是受多种因素影响的。其中主要有:

(1)加工硬化程度。加工硬化程度越大,则金属的晶体缺陷越多,晶格畸变程度越大,组织越不稳定,再结晶开始早,再结晶温度低。

(2)加热时间。同样条件下,加热时间越短(加热速度快),则为了完成再结晶,必须提高退火温度。例如用高(中)频感应加热进行退火时,由于加热速度极快,使退火时间极大地缩短,由几十分钟减到几秒钟,因此加热温度将大大高于电阻炉加热温度。

(3)杂质。钢中的杂质可以使再结晶温度升高或降低。

一般所说的再结晶温度是指经受很大变形程度的金属(变形程度大于 70%)在一小时内能完成再结晶的最低温度。根据大量试验,纯金属的最低再结晶温度(以绝对温度计)约为该金属熔点(以绝对温度计)的 0.35~0.40 倍(保温时间 30~60 分钟)。

应该指出,在工业生产中再结晶温度并不是退火温度,实际上的退火温度比再结晶温度要高(但不超过相变温度),这样可以大大缩短加热时间,提高生产率。另外,生产中退火温度是以炉温表示的,但炉温并不等于退火金属的温度,炉温取决于测量炉温的热电偶的位置,一般在加热区炉温明显高于料温,而在保温区则两者接近。

### 3. 晶粒长大阶段

再结晶完成后,如果继续升高温度并保持一定时间,则再结晶所获得的细小的等轴晶粒会合并、长大,故称晶粒长大阶段。这个阶段金属强度继续平缓降低而塑性也平缓降低,是确定再结晶退火的合理范围。影响晶粒度大小的因素除了退火温度和时间外,工件的变形程度对退火后晶粒大小的关系很大。

(1)变形量很小时金属不发生再结晶,晶粒大小不变。

(2)当变形程度为2~10%(有的资料为8~12%)时,退火后工件的晶粒粗大,这个变形程度称为临界变形程度,对于需要再结晶的工件应避免采用这个变形程度,冲孟孟子转角处的变形程度不大,退火后该处易形成粗大晶粒。药筒镦锥的作用之一就是改变该处的临界变形程度。

临界变形程度下退火会形成晶粒急剧长大,其原因是因为这种情况下变形不均匀,生成晶核数目少且分布不均。

(3)超过临界变形程度后,变形变得均匀,且变形程度越大,均匀分布的晶核越多,退火后的晶粒越细。

退火操作的主要参数为退火温度和退火时间,在确定退火温度后可用优选法确定退火时间。确定退火时间应以能完成再结晶而晶粒又不长大所需的最短时间为佳。并要考虑到炉温的波动(如电压波动,电阻炉中进货量的波动)对退火时间的影响,适当增加些退火时间。

## 二、影响退火工件强度的因素

退火的目的是消除加工硬化(降低强度)和提高塑性,但对于要求末区强度高的药筒有时可利用末前引后的退火温度和冷却速度来提高末引后的工件强度。

### 1. 退火温度对药筒强度的影响

一般再结晶退火温度在晶粒长大阶段,这时温度的波动对产品强度的影响不大。退火温度在再结晶阶段(对钢在600℃以下),则温度对产品强度影响很敏感,温度越低,强度越高。但在500~600℃范围内退火,产品的机械性能很不稳定而且很不均匀(同一试圈的两个试件强度相差很大),应尽量不采用此温度退火。表5-1为末前引退火温度对某钢药筒末区机械性能的影响。

表 5-1 末前引后的退火温度对末区机械性能的影响

| 退火温度/℃          | 400~415 | 530     | 600     | 680     |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| $\sigma_b$ /MPa | 809~853 | 809~813 | 720~730 | 725~730 |
| $\delta$ /%     | 2~2.5   | 2~2.5   | 3~4     | 3~4     |

### 2. 冷却速度

低碳钢的再结晶温度低于相变温度,因此再结晶后冷却快慢不会形成新的组织。但冷却速度对退火产品的强度是有一定影响的。主要是室温下渗碳体在纯铁体中的溶解度约为十万分之几,而在 $A_1$ 点时溶解度为0.0218%,当冷却速度快时就形成过饱和固溶体。氮在纯铁体内的溶解规律与碳相同。形成碳和氮的过饱和固溶体对钢的强度影响不大。但这种钢的加工硬化能力很大,即在以后的冷变形时同样变形程度时强度提高很大。利用这个特性,在末前引后的退火时提高冷却速度,可以在同样的末引加工率条件下得到末区机械性能更高的产品。表5

—2 为某药筒在三种不同冷却速度时所得的末区强度。

表 5—2 末前引后退火用不同速度冷却所得末引后的机械性能(退火温度 680℃)

| 冷却方式                  | 冷却室中冷却 | 空冷      | 水冷      |
|-----------------------|--------|---------|---------|
| $\sigma_b/\text{MPa}$ | 642    | 725~730 | 848~867 |
| $\delta/\%$           | 4.5    | 3.5~5.5 | 2.5~4   |

3. 低温退火

末前引后低温退火可以提高药筒末引后机械性能,详见本章第三节。

三、药筒的烤口

烤口就是口部退火,是消除相应于药筒口部和肩部的加工硬化,便于收口,因此它属于再结晶退火。这种退火本身并无特殊之处,只是为使机械性能沿圆周均匀,药筒在炉内移动的同时必须自转。烤口需注意的是防止收口或射击时产生滑移线(吕德斯线),这种线条使药筒表面粗糙,甚至起皱,严重时会引起破裂,是药筒不允许的疵病。

退火的低碳钢试片在进行拉伸或压缩变形时,当变形进入屈服阶段时会出现与变形方向成  $45^\circ\sim 60^\circ$  角的条状滑移线带,随着变形程度的增大,线条转向拉伸方向,并逐渐消失。这种线条称为吕德斯线。

从应力—应变曲线图上可以看到,这种情况下屈服平台很长,可达 3%,纯铁体的晶粒越细、含碳越低、温度越低则屈服平台越长。

药筒收口时的吕德斯线多产生在药筒的下斜肩(上部),因为该处变形程度最小,因此要防止它的产生,应控制烤口的位置,即避免对下斜肩处进行退火。低温射击时产生吕德斯线,往往是发生在有第二次烤口(收口后的口部退火)的药筒上。因为第二次烤口使口部形成退火状态,而射击时口部又产生不大的塑性变形量。

因此防止药筒在收口和射击时产生吕德斯线的最现实和有效方法是缩短烤口长度,使烤口只限于筒口的圆柱部分并取消第二次烤口。

§ 5.2 低碳钢的淬火与调质

一、低碳钢的淬火

低碳钢在  $A_{c3}$  以上  $30\sim 50^\circ\text{C}$  加热,急速冷却(冷却速度在  $1000^\circ\text{C/s}$  以上),可以得到低碳马氏体组织。低碳马氏体具有以下性质:

(1)具有高的强度、良好的塑性和冲击韧性。即具有良好的综合机械性能。S15A 钢  $900^\circ\text{C}$  加热后用 10%NaOH 水溶液淬火后的机械性能如表 5—3 所示,与正火相比,其抗拉强度为正火的 2.6 倍,且还具有一定的塑性和韧性。

表 5—3 S15A 淬火和正火的机械性能比较

| 机械性能                        | $\sigma_b/\text{MPa}$ | $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$ | $\psi/\%$ | $\delta_5/\%$ | $A_k/\text{J}$ | $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------|
| 正火                          | 441                   | 323                       | 68        | 34.4          | 219.52         | 0.73                    |
| 淬火( $900^\circ\text{C}$ 加热) | 1147                  | 872                       | 37        | 9.2           | 51.76          | 0.76                    |

(2)具有低的脆性转化温度。根据低温冲击值降到常温冲击值的0.4倍时的温度为脆性转化温度这一规定,S15A的脆性转化温度为 $-60\sim-70^{\circ}\text{C}$ 。

(3)低的缺口敏感性、过载敏感性和高的断裂韧性。

由于低碳马氏体具有这些优良性质,在药筒制造中常用淬火来提高和改善药筒的性能。例如药筒根部和底部淬火提高了强度、冲击值及降低低温脆性转化温度,解决了退壳性能差及低温击裂问题。枪弹弹壳整体淬火后可以在360MPa膛压下顺利地抽壳。大口径枪弹弹壳对挤压毛坯进行调质处理后提高了成品弹壳的屈服极限及应变时效冲击值,改善了抽壳性能,提高了底缘冲击强度,解决了胀膛和底缘拉脱的质量问题。

低碳钢淬火工艺的难点在于如何提高冷却速度,因为低碳钢的淬透性较低,如15号钢采用10%NaCl或NaOH水溶液进行激烈淬火,其淬透直径也只有6mm。

提高淬透性可用10~15%NaOH或NaCl水溶液,药筒根部和底部淬火是采用6大气压的高压水在药筒内外同时喷水。

提高加热温度也是增加淬透性的一个方法。随着温度的升高,试件的强度升高,试件中心的非马氏体组织的比例缩小。当S15A钢的温度加热到 $1000^{\circ}\text{C}$ 时,奥氏体更加均匀稳定,淬透性也加大,可以得到较纯的低碳马氏体组织,但因为温度过高,奥氏体晶粒长大,使试件的塑性和韧性有所降低,因此对于直径小而薄的工件应选择 $A_{c3}$ 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 加热,对大而厚者可选较高的加热温度。

## 二、回火

钢淬火后所得的组织不是稳定组织,内应力大,脆性也大,一般都要进行回火,回火的目的是消除内应力,降低脆性,获得稳定的组织。

回火是将淬火钢加热以 $A_{c1}$ 以下的某个温度,保持一定时间,然后以一定方式冷却的热处理操作。

回火后钢的性能取决于回火温度与回火时间,尤其以加热温度的影响最大。随着加热温度的升高,钢的强度指标( $\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma_b$ 、HRC)下降,而塑性指标( $\delta$ 、 $\psi$ )则升高。

钢的回火分为低温、中温和高温三种。它们得到的组织和性能也不同。

(1)低温回火:回火温度为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ ,得到回火马氏体组织,主要目的是消除应力,降低脆性,提高韧性,钢药筒底部和根部淬火后的回火,穿甲弹钢心淬火后的回火即属低温回火,因为要保留工件因淬火而得到的强度。

(2)中温回火:回火温度 $350\sim 450^{\circ}\text{C}$ ,得到回火屈氏体,目的是提高钢的弹性极限( $\sigma_{0.2}$ )和屈强比( $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ )。

(3)高温回火:回火温度为 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。其中 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的回火可得到均匀细小的回火索氏体,其强度、塑性和韧性均好,称为调质处理。

$650\sim 700^{\circ}\text{C}$ 回火可得到球化的珠光体组织,其塑性高,挤压时对工具的磨损小,冲击韧性好,冷挤毛坯的调质处理即属此类。

## 三、弹壳和药筒制造中的淬火和调质

### 1. 冲孟和挤孟前的毛坯调质处理

厚板冷冲孟时外转角处受拉应力较大,易开裂。钢冷挤孟时变形力大,工具磨损大。通过对毛坯的调质处理可以解决这些问题。

调质处理是低碳钢淬火后高温回火的热处理操作,是一种特殊的双重热处理。调质后钢的强度、塑性、冲击韧性和抗时效性能均比不调质大大提高。表 5—4 为 F18 扁钢(相当于 S15A)调质前后机械性能的对比。其中调质处理为 900±10℃保温 30 分钟淬火,然后在 720℃回火 64 分钟。而不调质为 720℃退火,时间为 64 分钟。

表 5—4 F18 扁钢调质与不调质性能对比

| 性 能    |     | 抗拉强度<br>$\sigma_b$ /MPa | 屈服强度<br>$\sigma_s$ /MPa | 延伸率<br>$\delta$ /% | 断面收缩率<br>$\psi$ /% | 冲击功<br>$A_k$ /J | 屈强比<br>$\sigma_s/\sigma_b$ |
|--------|-----|-------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|
| 纵<br>向 | 调质  | 467                     | 380                     | 32                 | 78.9               | 209             | 81.35                      |
|        | 不调质 | 377                     | 255                     | 38.8               | 66.9               | 135.7           | 67.53                      |
| 横<br>向 | 调质  | 466                     | 384                     | 31.1               | 63.5               | 66.3            | 82.35                      |
|        | 不调质 | 375                     | 255                     | 36.8               | 57.2               | 42.1            | 67.8                       |

低碳钢调质处理之所以能得到好的综合机械性能,其原因可归纳为:

- (1)调质后晶粒细化,而细晶粒钢的冲击韧性和强度极限较粗晶粒钢为高。当然过细的晶粒是会降低塑性的。
- (2)调质后渗碳体呈粒状均布在整个纯铁体中,无自由纯铁体,成了 100%的球状珠光体的假共析组织,增大了组织均匀性,这种组织对提高综合机械性能是有利的。
- (3)调质后钢中有害杂质的分布情况改善。一般情况下由于钢锭从凝固到冷却是有足够时间的(是缓慢冷却的),使钢中有害杂质都析出在晶界上,使钢的脆性增加。高温下的急速冷却使有限杂质沿晶界析出显著减少,它们大部分被包含在晶粒内。这样,有害杂质对钢的性能的影响就不明显了。

低碳钢调质处理最终得到的是球化的珠光体。然而珠光体球化可用多种方法实现,其中在 700℃加热 10~20h 也可得到球状珠光体,但生产效率太低,不适应于枪弹、药筒大量生产的要求。

2. 热挤孟孟子的余热淬火与余热调质处理

热挤孟毛坯的加热温度为 950~1100℃,热挤孟结束时孟子温度均高于  $A_{c3}$ ,利用热挤后孟子的余热进行淬火称为余热淬火,淬火后孟子再进行高温回火,称为余热调质处理。

由于热挤孟孟子尺寸大,且壁又厚,余热淬火的冷却介质又用水,因此不可能获得低碳马氏体,余热淬火所得的是淬火索氏体,但与正火相比,这种组织提高了钢的综合机械性能,尤其是冲击值。

为进一步提高孟子的冲压成形性能和成品药筒的机械性能,可以对淬火孟子进行高温回火,即在 600~650℃保持 40min 后空冷。高温回火后冲击韧性进一步提高。表 5—5 是热挤孟后正火、余热淬火、调质处理后的冲击功。

表 5—5 不同热处理方式时孟子的冲击功(J)

| 热 处 理 方 式 |     | 正 火    | 余 热 热 处 理 |        |
|-----------|-----|--------|-----------|--------|
|           |     |        | 淬 火 态     | 调 质    |
| 取 样 部 位   | 体 部 | 168.72 | 201.52    | 237.52 |
|           | 底 部 | 77.6   | 108       | 110.4  |

影响调质处理质量的因素有：

(1)淬火温度：大量试验和生产实践表明，余热调质处理的淬火温度并不象低碳钢淬火那样严格，表 5—6 为回火温度不变时余热淬火温度对调质后性能的影响，可以看出，淬火温度从 800℃ 到 900℃ 波动时，对其性能影响不大。

表 5—6 S15A 钢热挤孟子在不同余热温度下淬火、调质后的机械性能

| 淬火温度℃<br>淬火温度/℃ | 冲击功/J |       | 横向机械性能          |               |
|-----------------|-------|-------|-----------------|---------------|
|                 | 纵向    | 横向    | $\sigma_b$ /MPa | $\delta_5$ /% |
| 800             | 210.6 | 170   | 416.5           | 37.0          |
| 850             | 222.3 | 156   | 411.6           | 35.2          |
| 900             | 210.4 | 142.7 | 421.4           | 35.0          |
| 950             | 225.4 | 158.3 | 413.6           | 33.0          |
| 空冷              | 134.2 | 103.7 | 389.1           | 38.0          |

要提高淬火温度，必须提钢饼加热温度，但这会导致金属过热或过烧。然而过低的淬火温度，例如在  $A_{c1} \sim A_{c3}$  之间淬火，则因这时奥氏体已部分分解出纯铁体，余热淬火后形成粗大组织，这种组织甚至会保留到成品中去，影响药筒的性能。

(2)回火温度：一般说来，回火温度越高，则其硬度、强度下降，塑性、韧性提高。回火温度取决于产品要求的综合机械性能。

(3)材料的原始显微组织：经验证明，当材料的原始晶粒粗大、晶粒大小不均以及存在带状组织时，即使热挤孟的余热热处理规范选得十分正确，也不能排除孟子及成品中出现晶粒粗大及带状组织的可能性。遇有这种组织的材料，应设法提高孟子入水(淬火)温度。同时应严格控制材料的晶粒度和带状组织。

关于孟子余热热处理获得的良好综合机械性能是否具有“遗传性”的问题，参考文献[7]作了肯定的回答。

因为钢药筒由孟子到成品还需经过多次引伸、压底等塑性变形工序和再结晶退火、低温退火等热处理工序，经过这些工序后孟子因余热热处理所获得的良好综合机械性能是消失了，还是保留到成品中呢？这个性质称为“遗传性”问题。

关于这个问题，只能用大量试验来证明。将五个炉号的 S15A 钢的热挤孟子，分别进行和不进行余热调质处理，不进行者热挤孟后空冷(正火)。然后一直加工到药筒成品，分别测出其底部的冲击值和时效敏感系数。所谓时效敏感系数是将试件压缩 10%，在 250℃ 保温一小时(即进行应变时效)后空冷，然后分别测出其时效前后的冲击值，冲击值变化的百分比即定义为时效敏感系数。试验结果见表 5—7。从数据中明显看出，孟子调质处理后冲击值明显增高，时效敏感系数明显降低。

表 5—7 钢药筒成品底部的冲击值

| 热处理方式 | 平均冲击功/J |      | 时效敏感系数/% |
|-------|---------|------|----------|
| 调质    | 不应变时效   | 91.3 | 4.28     |
|       | 应变时效    | 87.4 |          |
| 正火    | 不应变时效   | 35.6 | 19.0     |
|       | 应变时效    | 28.9 |          |
| 水淬    | 不应变时效   | 70.2 |          |

用同样方法对成品药筒的体部和底部的拉伸性能进行对比测试(表 5—8),也说明了调质后综合机械性能提高。

表 5—8 药筒成品的机械性能

| 热处理方式 | 测试部位 | $\sigma_b/\text{MPa}$ | $\delta/\%$ |
|-------|------|-----------------------|-------------|
| 调质    | 体部   | 786                   | 7.23        |
|       | 底部   | 627                   | 16.20       |
| 正火    | 体部   | 745                   | 6.4         |
|       | 底部   | 580                   | 15.6        |
| 水淬    | 体部   | 757                   | 6.12        |

以上试验数据说明孟子余热热处理获得的良好综合机械性能具有“遗传性”,即孟子余热热处理后不但为以后的引伸工序带来了好处,而且给药筒成品带来了好处。推而广之,冷冲孟和冷挤孟前对料饼进行的调质处理(不是余热的)所获得的性能改善也具有“遗传性”,调质处理后解决了大口径弹壳胀膛和底缘拉脱的缺陷,说明毛坯调质后获得的屈服极限( $\sigma_{0.2}$ )增大和冲击值增大已“遗传”给了弹壳成品。

利用余热热处理获得的低温下具有高的冲击值,是一个很可贵的性能改善。低碳钢在低温下有冲击韧性突然显著下降的特性,这个冲击韧性显著下降的温度称为脆性转化温度。由于药筒要进行 $-40^\circ\text{C}$ 的低温射击试验,脆性转化温度越低越好。如果低温度冲击韧性低,则低温射击会产生破裂。余热热处理可以解决这一难题,其试验结果见表 5—9。

表 5—9 孟子的低温冲击功对比(J)

| 试验温度/ $^\circ\text{C}$ |      | 孟子空冷  | 孟子淬火  | 孟子调质  |
|------------------------|------|-------|-------|-------|
| 常 温                    |      | 160.7 | 200.5 | 236.3 |
| -20                    |      | 116.2 | 191.9 | 196.6 |
| -40                    | 不应时效 | 34.2  | 182.5 | 170   |
|                        | 应变时效 | 6.9   | 129.5 | 18.72 |

3. 药筒根部、底部淬火

在药筒根部(末区)和底部用感应加热到 $1160\sim 1200^\circ\text{C}$ (见图 5-2a),药筒内外同时用高压水喷射淬火,然后再低温回火。经这种热处理后末区的 $\sigma_b$ 由淬火前的 $812\text{MPa}$ 升高到 $1215\text{MPa}$ ,底部 $\sigma_b$ 由 $545\text{MPa}$ 提高到 $878\text{MPa}$ , $-40^\circ\text{C}$ 的冲击功由 $6.32\text{J}$ 提高到 $98\text{J}$ 。这是用低碳马氏体组织代替冷塑性变形组织,即用热处理方法代替加工硬化方法来保证底部和末区的强度。这种方法顺利地解决了药筒低温( $-40^\circ\text{C}$ )击裂问题,也极大地改善了抽壳性能。

4. 末前引后孟子外底转角处调质处理

药筒根、底部淬火是提高药筒根部和底部强度的有效方法,但这种方法比较复杂,尤其是高压喷水,有时还会引起药筒的变形。

对于根部、底部强度要求不高的药筒,如果出现低温射击破裂问题,则可能是因为孟子内底转角处及其附近存在着粗大晶粒,对冲孟孟子可能是由于该处为临界变形程度,退火后形成粗晶粒,一直保留到成品,使该处冲击韧性降低,据实测,该处 $-40^\circ\text{C}$ 时冲击功只有 $4.7\text{J}$ ,致使

低温射击时形成根部破裂或底缘拉脱。

可以在药筒根底部(图 5-2b)加热到 1050~1150℃,用一般流动冷水淬火,然后高温回火(650~680℃)。这样处理后,粗晶区消失,代之以均匀细小的纯铁体和球状珠光体组织,-40℃的冲击功达 48J。解决了低温击裂问题。

这种热处理主要是细化该处晶粒,而药筒强度仍靠引伸的加工硬化来保证的。

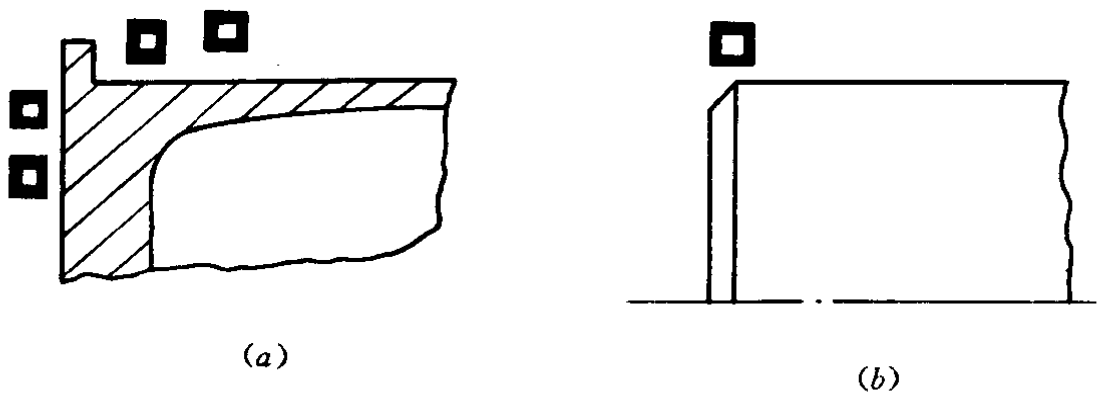


图 5-2 药筒底、根部淬火和调质

### § 5.3 低温退火

#### 一、概述

药筒的低温退火是在机械加工(或淬火)后进行的,其目的是消除冲压加工(或淬火)和机械加工中产生的残余应力,进行人工时效,以防止长期存放中由于残余应力和自然时效引起的药筒性能变坏。此外,低温退火还可以提高用冷变形强化的药筒的屈服强度。

由于钢药筒的强化方法有形变强化和热处理强化两种方法(以前者为多数),所以低温退火的温度范围也不同。

对于用形变强化的药筒,由图 5-1 可知,随着退火温度的升高强度略有升高(这是由于时效引起的),当升至 350℃时强度达到最大值,所以这类药筒的低温退火温度为 350~370℃,退火时间大于一小时。

对于用淬火强化的药筒,由回火温度与硬度、冲击韧性关系的试验曲线可知,在 300~350℃时强度显著下降,同时冲击值也陡降至最低点,因此应避免在此温度范围内退火。一般选在 200℃左右,因为这时淬火形成的残余应力大部消除,而强度和冲击值没有明显下降。由于形变强化的药筒低温退火时有强度升高现象,利用这一现象,可以把末前引工件在 350~390℃作低温退火,使其强度达到最高值,然后再进行末次引伸,结果药筒末区强度比末引伸再结晶退火和不退火的都高(表 5-10)。

表 5-10 钢药筒末前引后低温退火后末区强度的对比

| 末前引后热处理方式 |                 | 再结晶退火   | 不退火     | 低温退火    |
|-----------|-----------------|---------|---------|---------|
| 机械性能      | $\sigma_b$ /MPa | 715~764 | 764~833 | 823~892 |
|           | $\delta$ /%     | 5~6.5   | 3~4.5   | 3.5~5   |

350~390℃是钢的形变时效温度,这时铁素体中析出的碳、氮原子与位错发生弹性交互作用而富集于位错附近的受胁区域,形成柯氏气团,极大的阻碍了塑性变形的位错运动,提高了钢的强度。

## 二、低温退火后药筒性能的变化

### 1. 低温退火后强度、塑性、冲击值的变化

根据试验,低温退火后抗拉强度提高 10~30MPa,延伸率下降 0.03%,常温冲击功下降 1.95J,-40℃冲击功上升 4.68J。

### 2. 退火温度对冲击值的影响

分别以 120℃和 250℃保温一小时测试药筒底部冲击功,结果前者下降 24.96J,后者增加 10.92J。250℃保温一小时,57 钢药筒的底部常温冲击功仍可高达 53J。

### 3. 退火温度和时间对药筒机械性能的影响

根据试验,退火温度和时间对药筒机械性能的影响是很小的,也就是说这种药筒的时效倾向是很小的。对强度和塑性的时效敏感系数很小。试验数据见表 5-11 和 5-12。

表 5-11 100℃下不同退火时间对  $\sigma_b$ 、 $\delta$  的影响

| 序号 | 加热时间<br>/h | 口 区             |             | 末 区             |             | 相当于 20℃<br>自然时效时间<br>/d |
|----|------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-------------------------|
|    |            | $\sigma_b$ /MPa | $\delta$ /% | $\sigma_b$ /MPa | $\delta$ /% |                         |
| 1  | 48         | 506             | 20          | 696             | 4.9         | 3.5                     |
| 2  | 72         | 516             | 20.3        | 698             | 6.1         | 5.5                     |
| 3  | 120        | 497             | 20.4        | 674             | 5.7         | 9                       |
| 4  | 237        | 497             | 20.3        | 686             | 4.3         | 18                      |
| 5  | 357        | 513             | 19.4        | 687             | 5.4         | 27                      |
| 差值 | 309        | 7               | -0.6        | -9              | 0.5         | 23.5                    |

表 5-12 250℃保温一小时后强度和塑性的变化

| 性能指标                                     | 产品 1(同表 5-11 产品) |      |      |     | 产品 2 |      |
|------------------------------------------|------------------|------|------|-----|------|------|
|                                          | 口 区              |      | 末 区  |     | 末 区  |      |
|                                          | 未时效              | 时效   | 未时效  | 时效  | 未时效  | 时效   |
| $\sigma_b$ /MPa                          | 503              | 554  | 686  | 690 | 797  | 813  |
| $\delta$ /%                              | 16.9             | 14.8 | 4.4  | 5.1 | 3.7  | 2.94 |
| $\Delta\sigma_b$ /MPa                    | +51              |      | +4   |     | +16  |      |
| 时效敏感系数 $\frac{\Delta\sigma_b}{\sigma_b}$ | 10.14            |      | 0.57 |     | 1.6  |      |

### 4. 残余应力变化情况

用 X 射线应力测定仪测定药筒各部位的残余应力(表 5-13),由测定结果可以看出,冲压引起的残余应力不大,且退火后可以消除大部分,而切削加工产生的残余应力较大,低温退火后虽能消除一些,但残余较多。

表 5-13 低温退火后药筒残余应力的变化(MPa)

| 测量位置 | 冲 压 部 位 |       |        |       | 切 削 加 工 部 位 |     |        |      |        |      |
|------|---------|-------|--------|-------|-------------|-----|--------|------|--------|------|
|      | 未退火     |       | 350℃退火 |       | 未退火         |     | 180℃退火 |      | 350℃退火 |      |
|      | 轴向      | 切向    | 轴向     | 切向    | 轴向          | 切向  | 轴向     | 切向   | 轴向     | 切向   |
| 1    | 58.8    | -88.2 | -9.8   | -98   |             |     |        |      |        |      |
| 2    | 9.8     | -68.6 | -39.2  | -78.4 |             |     |        |      |        |      |
| 3    | 157     | 118   | 118    | 68.6  |             |     |        |      |        |      |
| 4    | 176     | 58.8  | 9.8    | -29.4 |             |     |        |      |        |      |
| 5    |         |       |        |       | 529         | 676 | 431    | 441  | -9.8   | 19.6 |
| 6    |         |       |        |       |             | 480 |        | 407  |        | 113  |
| 7    |         |       |        |       | 216         | 480 | -39.2  | 58.8 | -58.8  | 49   |
| 8    | -88.2   | -58.8 | 9.8    | -58.8 |             | 519 | 304    | 412  |        | 137  |
| 9    |         |       |        |       |             | 372 | 78.8   | 167  |        | 68.6 |

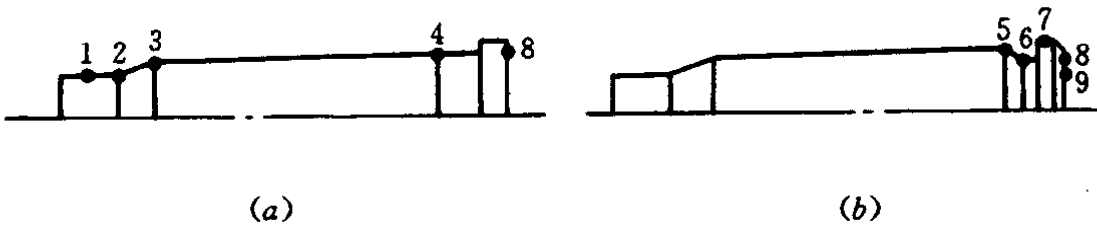


图 5-3 药筒应力测定位置  
(a)冲压后;(b)机加后

5. 抗腐蚀性能对比

用 20% 硫酸作对比试验,结果两者均未出现腐蚀裂纹。未退火药筒于根部露出较明显的金属纤维,而退火药筒则无明显露出。但当用浸漆烘干后的药筒作对比试验时,两者均未见有金属纤维露出。

6. 射击试验

将低温退火,未低温退火及人工时效过的药筒作对比射击试验,均未发现它们的战术技术性能有明显的差别。

三、关于钢药筒低温退火工序作用的讨论

黄铜药筒在机械加工后必须进行低温退火,目的是防止在长期储存中因产生自裂而报废。因为低温退火可以消除黄铜的残余(内)应力,而内应力是造成黄铜自裂的主要原因,这已为几十年生产实践所证实的。

钢药筒在长期储存中引起性能变化的可能性主要有两个。一是低碳钢的自然时效引起机械性能(尤其是冲击韧性)的降低;二是由于残余应力引起的应力腐蚀破裂。

但是许多工厂对低温退火前后药筒性能的变化作了大量对比试验,以及长期生产和储存的实践不能不使人们对钢药筒低温退火这一工序的作用产生想法,即低温退火对钢药筒防止自然时效,消除残余应力方面究竟有多大效果? 其理由是:

(1)由对比试验知,钢药筒低温退火后可以降低一些残余应力,但不能完全消除残余应力。而对于黄铜药筒的低温退火,其消除残余应力的效果非常好。据报导<sup>[8]</sup>,其残余应力可以由235MPa降到零。

(2)药筒用的钢都是铝脱氧优质低碳钢,含铝量为0.02~0.08%,这种钢的时效倾向是比较小的(虽然有一定时效倾向,但其时效敏感系数最大也只有10.14%)。一般认为冷变形低碳钢在250℃时,时效速度最快,所以经过250℃时效后的药筒如果低温射击不破裂,则就不必担心今后自然时效对钢药筒性能的影响。

(3)应力的存在使钢药筒潜伏着应力腐蚀破裂的危险。应力仅仅是引起腐蚀破裂的原因之一,并不是唯一的原因。要使金属产生应力腐蚀破裂还必须要有一个与之相适应的腐蚀环境存在,否则也是不会发生破裂的。

能引起低碳钢应力腐蚀破裂的介质主要是热的NaOH、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和CN<sup>-</sup>,而且都是在高温、高压、高浓度介质的条件下产生的。钢药筒都在大气环境中存放,且有防腐膜将其与腐蚀介质隔开,目前尚未发现有应力腐蚀破裂的例子<sup>[2]</sup>。

(4)枪弹生产中钢弹壳在冲压和机加(车底槽)后没有低温退火工序,至今已有近30年的历史,还没有发现过由于残余应力和时效引起的不良后果。对没有低温退火的37高钢药筒库存20年后进行检查,也没有发现此类问题。大中口径药筒存放10多年后进行同样试验也没有发现问题。

(5)钢药筒浸漆后的烘干工序为195~215℃保持40分钟。如果取消低温退火后烘漆工序也可以起到人工时效的作用。事实上国外一些工厂也有100~200℃作为消除残余应力的退火规范。

总之,无论是从时效倾向性看,或是从应力腐蚀破裂敏感性看,通过冷变形强化的钢药筒不经过350℃的低温退火,其使用性能不会因长期存放而受到影响<sup>[2]</sup>。然而对于生产者来说这是一个责任很大的事情,万一十几年后出现问题,则产品的损失是不可估量的,如果在战场上出现问题,贻误战机,则问题就更严重了。为安全起见,目前工厂生产中仍采用低温退火工序。

## § 5.4 无氧化加热(保护炉气)

铜、钢和覆铜钢零件在热处理加热时表面会产生氧化。必须用酸洗予以去除,这样不但增加了工序和相应的设备、厂房面积,而且给工序间的联动、组合机床的设计增加了不少困难。对于高碳钢零件在高温加热时(如穿甲弹钢心淬火前的加热)还会使零件表面产生脱碳,影响使用性能。

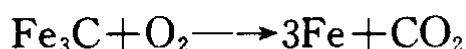
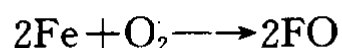
金属在加热时的氧化和脱碳主要是炉内气氛所决定的。电炉加热时炉内有空气,而空气中有21%左右的氧气,此外加热零件本身也带有一定的水分,氧气和水分组成了炉内的氧化性气氛,使加热零件表面氧化或脱碳(脱碳是碳的氧化)。要防止氧化或脱碳,可以把炉子内加热的金属密封起来(隔绝炉气)或在炉内通以高于大气压的还原性气体或中性气体。炉内通入的这种保护金属不氧化、不脱碳的气体称为保护炉气。用保护炉气实现的加热称为无氧化加热。由于零件表面不氧化,仍保留金属本身的光泽,这种退火也称为光亮退火。

## 一、炉内各种气体对钢的化学作用

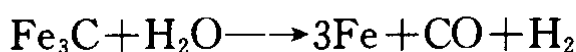
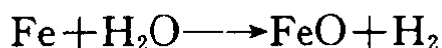
各种保护炉气大致由以下几种气体组成： $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 。这些气体对钢(Fe)和钢中的碳(C)所起的化学作用可以是氧化性的、还原性的和中性的，因而可以使钢氧化、脱碳和渗碳。

### 1. 氧化性气体

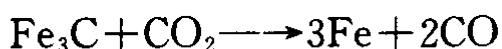
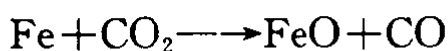
(1) 氧气(空气)：可使钢表面形成氧化皮并夺去钢中的碳，使之脱碳，其反应式为



(2) 水蒸气：其作用与气体相同，即

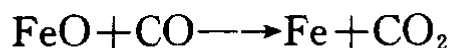
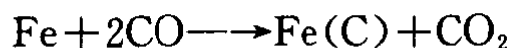


(3) 二氧化碳：它使钢脱碳和氧化，即

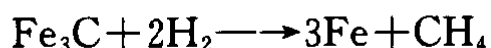


### 2. 还原性气体

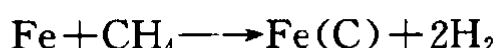
(1) 一氧化碳：它不仅能保护钢铁在高温下不氧化，而且还能使氧化铁还原成铁，并有渗碳作用。



(2) 氢气：它能使氧化铁还原，使钢脱碳。



(3) 甲烷：它不与铁起化学作用，但它是强烈的渗碳气体。有



### 3. 中性气体

中性气体与钢不氧化、不脱碳、不渗碳，有氮、氩、氦等。常用的是氮气，因为它制造简便，可从空气中取得，但必须除净其中的氧气和水蒸气。

## 二、炉内气氛的确定

上述的化学反应并不是任何情况下都能进行的，它与气体的性质、浓度、温度以及  $\text{CO}_2/\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  的相对含量有关。例如低碳钢由于含碳量(浓度)低，脱碳即不易发生。实际上炉内保护炉气是由各种性质的气体混合而成的，有还原性的( $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ )，也有氧化性的( $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ )，还有渗碳性的( $\text{CH}_4$ )。这些气体组元在高温下的反应式是很复杂的。

在这种混合性气体中钢铁是氧化还是还原，脱碳还是渗碳？主要看炉气中氧化性气体和还原性气体含量的比值。对防止氧化的保护炉气主要是  $\text{CO}_2/\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  的值。

图 5-4 中  $AD$  和  $BC$  两条曲线分别为  $\text{CO}_2/\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  与 Fe 的反应平衡曲线。从图中可以看出尽管两条曲线的平衡规律不同(具有相反的斜率)，但它们的共同特点是，各自曲线的左方为还原区，曲线的右方为氧化区，而在 COD 区间  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  的氧化区恰巧在  $\text{CO}_2/\text{CO}$  的还原区。从图中还可以看出温度对反应平衡的影响。

图 5-4 还说明,同一比值时,如果温度升高,反应即可由氧化变为还原,或由还原经平衡变为氧化。例如加热温度为 700℃ 时,若炉中  $\text{CO}_2/\text{CO}$  等于 0.7,则由 AD 曲线知,钢既不氧化,又不还原,即钢的被氧化速度与被还原速度相等。当  $\text{CO}_2/\text{CO}$  高于 0.7,则钢被氧化,低于 0.7 则钢被还原。如果炉温升至 850℃,则  $\text{CO}_2/\text{CO}$  的平衡值降为 0.5。

要判断钢在某炉气中是渗碳还是脱碳,同样可以根据不同含碳量的钢对  $\text{CH}_4/\text{H}_2$  和  $\text{CO}_2/\text{CO}$  的平衡曲线来决定。

但是以上这些平衡曲线都是理论计算得出的,在实际使用时由于条件不同,保护炉气各组元之间的复杂的化学反应以及钢中的合金元素的影响等等可能会有一定的出入。

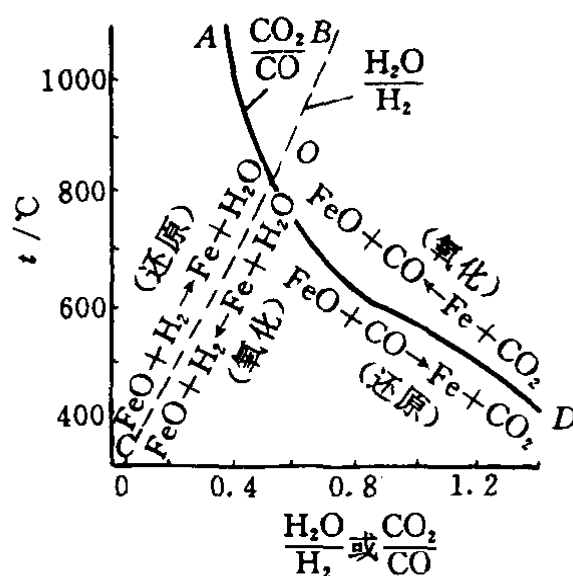


图 5-4 不同温度下  $\text{CO}_2/\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  与 Fe 反应的理论平衡曲线

### 三、无氧化加热的保护炉气

#### 1. 液体燃料(如工业酒精)

酒精( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )在高温下裂解,经过一系列化学反应,生成的气体经实际分析大致为:CO 占 18~25%;  $\text{H}_2$  占 23~37%;  $\text{CH}_4$  占 14~17%;  $\text{CO}_2$  占 0.4~1.2%。

此外还有  $\text{N}_2$ ,微量  $\text{H}_2\text{O}$  和未裂解的酒精。由于  $\text{CO}_2/\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  很小,故钢零件不会被氧化。其缺点是由于含  $\text{CH}_4$  较多,它在退火温度下会析出大量炭黑沉积于零件表面,必须专门予以清洗。

用液体燃料作保护炉气的优点是可以直接滴入炉内,无需特殊设备,只要把原来的炉子稍加改装(主要是密封)即可。

#### 2. 放热型保护炉气

通常以碳氢化合物为原料,如液化石油气、天然气、各种类型的煤气等。液化石油气成分中有丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )、丁烷( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ),天然气中以甲烷( $\text{CH}_4$ )为主,煤气中以  $\text{CH}_4$ 、CO、 $\text{H}_2$  为主。这些碳氢化合物与一定比例的空气混合,使之燃烧(放热),生成还原性气体,可作为低碳钢或要求不高的中碳钢的无氧化退火的保护炉气。由于制备炉气过程中放出热量,故称放热型保护炉气。现以丙烷为例说明之。

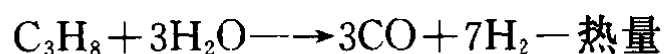
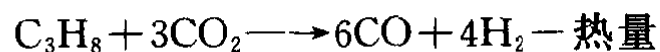
丙烷在空气中完全燃烧的反应式为



可见一份体积的  $\text{C}_3\text{H}_8$  需五份体积的氧才能完全燃烧。因为空气中氧占 1/5,故空气与丙烷混合后能完全燃烧的比例为 25 : 1。

但是完全燃烧后产生较多的  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$ ,它们是氧化性气体,使炉内不能实现保护加热。因此必须降低空气的比例,使它产生不完全燃烧,生成较多的还原性气体 CO 和  $\text{H}_2$ 。

由于空气含量的降低,剩余的  $\text{C}_3\text{H}_8$  即与  $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$  反应,其反应式为:



反应所需的热量可由燃烧时放出的热量供给。

随着空气比例的降低,生成气体中氧化性的  $\text{CO}_2$  减少,还原性的  $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$  增加,即  $\text{CO}_2/\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  减小。生成的水蒸气可用冷却法除去。当  $\text{CO}_2/\text{CO}$  和  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  达到一定比值时(由空气比例来调节)即可供保护加热用。

用此法制得的保护炉气不能防止中碳钢和高碳钢的脱碳。若要使之不脱碳,还须再降低  $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$  的含量,即空气与丙烷的比例要降低至 7 : 1 以下,但丙烷在空气比例为 11 : 1 时已不能自己燃烧了,必须通过外界加热实行化学反应,这种方法制备的炉气称为吸热型保护炉气。

吸热型保护炉气的制备比放热型困难。因为其成分以  $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}$  为主,还有少量  $\text{CH}_4$ ,与空气接触很易爆炸,炉温较低时易产生碳黑,附在零件表面。此外  $\text{CO}$  与  $\text{CO}_2$  可与钢中铬起化学反应,生成碳化铬,使钢表面贫铬。故不能用于轴承钢和耐热钢等含铬钢的保护加热。

# 第六章 表面处理

## § 6.1 概 述

### 一、表面处理的重要性

枪弹药筒的材料由黄铜、覆铜钢改为钢以后，表面处理工序在枪弹、药筒制造中占的比重增加，其重要性也越来越明显，主要是：

(1) 保证冲压加工的顺利进行。如果没有良好的磷化处理作为润滑层，钢的冷挤和引伸等冲压工序难以进行，生产实践证明，磷化膜质量不良时，引伸时拉断、道线、壁厚差等引起的废品将显著增加。

(2) 提高模具寿命。对于钢的冷挤和变薄引伸，如果没有良好的润滑，模具会因干摩擦而烧坏。如果润滑质量不好，模具磨损将显著增加。

(3) 保证产品长期储存性能。弹药一般要存放 15 年或更长。即待发射药失效（初速下降）为止。我国地域辽阔，气候条件复杂，钢又是容易被腐蚀的金属，必须找到一种适合我国气候条件的防腐处理方法。

### 二、表面处理的种类

(1) 钝化：对覆铜钢和黄铜表面用铬酐处理，提高其防腐性能。

(2) 磷化：钢制品在冲压加工前用磷酸盐溶液处理，使钢表面形成磷化膜，可以作为润滑层。磷化膜也可以作为防腐层，用作钢弹壳、钢药筒、覆铜钢弹壳底槽处涂漆前的底层。

(3) 涂漆：用作钢质产品的防腐层，一般都以磷化膜作漆的底层。通常都用电泳涂漆，然后烘干，覆铜钢弹壳底槽采取刷漆后烘干。

(4) 镀黄铜：如果弹头壳是用全钢（不是覆铜钢）制造，则其防腐层不是磷化加涂漆，而是电镀黄铜，因为弹头壳需要嵌入膛线，与膛线产生摩擦。由于电镀的污染，以及生产周期长等原因现已不用全钢作弹头壳。

(5) 镀锌：锌是钢的良好的防腐层，药筒的防腐处理可以用镀锌方法，但我国很少用它。

(6) 表面净化处理：在磷化或电镀前必须使工件表面净化（露出新鲜的金属基体），这些处理包括酸洗（去氧化皮、去锈迹）、碱洗（洗去表面的油污）。此外辊光也可除去表面油污，使之表面光亮。

此外，枪弹装配中还有涂内口、涂外口、底火周围点胶（详见第七章）等密封枪弹的油漆工序。弹尖着色以区别弹种，也属表面处理。

### 三、对防腐层的要求

(1) 有良好的化学稳定性。防腐层是将金属与大气隔绝，而本身则暴露于大气中，因此

它必须能抵抗大气中各种腐蚀性介质的侵蚀。

(2) 与基体金属有良好的结合力，结合力越牢固，防腐性能越好。

(3) 防腐层与发射药不应起化学作用，不应影响发射药的安定性。

(4) 防腐层应有一定的强度，保证运输、包装、储存中防腐层完整，尤其是装入弹头（炮弹弹丸）后的紧口时不能因受力和微小的变形而破裂。

(5) 小的摩擦系数。弹壳（药筒）表面的摩擦系数应小，否则会形成抽壳困难，如果防腐层（如漆膜）因在弹膛内受热而变粘或软化（称回粘性）则摩擦力会增加。

(6) 厚度应小而均匀。一般来说防腐层越厚，强度和附着力越低。过厚和不均匀的防腐层会影响成品尺寸，影响全膛性能。

#### 四、提高防腐层抗蚀能力的方法

为了增强防腐层的抗蚀能力还可采取以下一些辅助防腐方法：

(1) 表面刷防锈油。因为涂层一般都有气孔，药筒刷油可以封闭孔隙。

(2) 气相封存。有气相防锈纸和防锈硅胶两种。气相防锈纸是在聚乙烯复合纸上涂抹缓蚀剂后制成防锈纸。将纸铺在炮弹木箱的底层及四侧，待放炮弹后盖上防锈纸，并尽量使木箱密封。气相防锈硅胶是把脱水硅胶浸入气相缓蚀溶液中制成气相防锈吸湿材料。将该硅胶装入包装防潮筒内，它不仅可以吸收包装空间的水汽，还可以挥发气相缓蚀剂，大大地增强防锈能力。

(3) 改进包装方法。枪弹是先用牛皮纸包成小包后再装入铁盒内密封，这样抗蚀效果好。而炮弹是用高压聚乙烯制成的塑料筒作为内包装，其重量轻、成本低、防潮性好。但塑料在高温环境下仍有透湿现象，并且低温时脆性大，易开裂。可改用铁皮、沥青纸或玻璃钢制成的防潮筒。

## § 6.2 表面净化处理

去除金属表面的油污、氧化层、锈迹和其它附着物（如灰尘），使表面清净（露出新鲜的金属表面）的处理方法称为表面净化处理。在电镀、涂漆、磷化等工序以前必须有表面净化处理，所以又称为镀（涂）前预处理。

枪弹、药筒制造中的净化处理有去油（碱洗）、酸洗和辊光三种。

### 一、去油（碱洗）

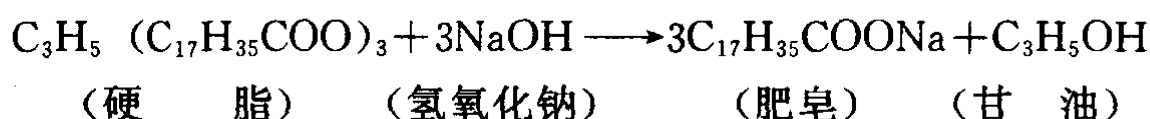
冲压制品在冲压、运输过程中不可避免的要沾上油污。表面净化处理的第一道工序就是去油，因为如果不去除表面油污，工件上的氧化物和锈迹是无法用酸洗去除的。弹壳的切口、车底及齐口工序前必须去油，以防因有油而使工件在夹具中打滑。由于去油主要是在碱液中清洗工件，所以又称碱洗。

#### 1. 去油原理

油脂分为可皂化油和不可皂化油两大类。植物油和动物油为可皂化油，可用碱溶液在一定温度下与油作用生成肥皂而去除。矿物油（如机油）为不可皂化油脂，即它不能与碱起化学作用。因此只能用有机溶剂去除，或用活性剂降低油脂在金属表面的吸附力，使之成为乳

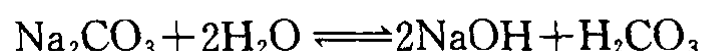
浊液而去除。

去油通常是在氢氧化钠和碳酸钠溶液中加热进行的，其化学反应式为



所生成的肥皂和甘油均易溶于水。因此零件在热碱水中（加热也是一种自动搅拌），可皂化油脂即可从零件表面去除。

溶液中加入碳酸钠或磷酸钠是为了增加溶液的总碱度，使化学反应不断向右进行。因为这些药品在水中水解成强碱弱酸。可用下式表示之：



对不可皂化油脂，通常是在溶液中加入水玻璃（ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ）使油乳化。在碱水溶液中皂化和乳化过程是同时进行的，且互相影响。皂化中生成的肥皂是一种活性剂，对油具有很好的乳化作用。当然乳化剂也能去除可皂化油脂。

表面活性剂是一种极好的乳化剂，当带油污的零件浸入加有表面活性剂的溶液中后，表面活性剂即渗入油膜和金属之间，吸附于金属与水溶液接触的界面上，降低了油的表面张力，使油膜形成许多分散的小颗粒，随着零件的滚动或水溶液的搅拌，逐渐形成细小的油滴，脱离金属表面而分散在溶液中。

利用表面活性剂去油可以实现酸洗、碱洗（去油）合一（即一步工序完成两个内容）。常用的活性剂有平平加（聚氧乙烯脂肪醇醚）、各种洗衣粉和洗涤剂。

## 2. 去油工艺

由于工件沾的油污量不同，各种去油的配方和参数也不同，现举两例说明：

(1) 油污较重的大口径钢药筒去油。

①除油前清洗。用热水洗，温度以高为好。

|      |                           |            |
|------|---------------------------|------------|
| ②除油。 | NaOH                      | 80~120g/l; |
|      | $\text{Na}_2\text{CO}_3$  | 60~80g/l;  |
|      | $\text{Na}_3\text{PO}_4$  | 40~60g/l;  |
|      | $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ | 5~15g/l;   |
|      | 温度                        | >85℃;      |
|      | 时间                        | 10~15min。  |

③除油后清洗。先用热水清洗，洗去工件表面残留的碱液，然后再用流动冷水进行第二次清洗，以免药筒在热状态下进入酸洗槽（尤其是常温酸洗的盐酸）出现局部过酸蚀。

如果药筒出水槽时表面能被水充分湿润，则说明油已被去尽。

(2) 7.62 钢弹壳收口后（车底齐口前）的碱洗工艺。由于工件油污很少，且目的是防止车底时工件在夹具中打滑而不是为后续的电镀作预处理，故所用碱液浓度不高，时间也短。

|     |                          |           |
|-----|--------------------------|-----------|
| ①碱洗 | NaOH                     | 1~2g/l;   |
|     | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | 15~30g/l; |
|     | 温度                       | 60~80℃。   |

②流动冷水洗。

③甩干、烘干。

## 3. 工艺参数对去油效果的影响

(1) 溶液的碱度。碱度的增大有利于皂化和乳化过程的进行，去油速度加快。但过高的碱度反而降低了肥皂的溶解度和乳浊液的稳定性，并使钢表面与碱产生氧化而变色。

(2) 温度。温度高可以增大肥皂的溶解度，也有利于碱性液的水解，可以加速去油过程。此外温度高（例如沸腾）具有良好的搅拌作用。

(3) 搅拌。搅拌可以加速溶液、皂化产物和乳浊液的运动，使温度均匀，对去油有利。

(4) 时间。时间长，去油效果好，但如果已洗去表面油污后再浸在碱液中，会引起工件的氧化，也降低生产效率。

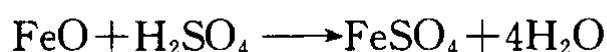
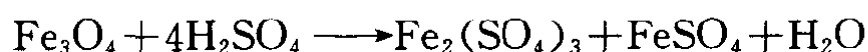
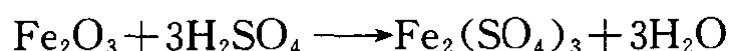
## 二、酸洗

### 1. 酸洗原理

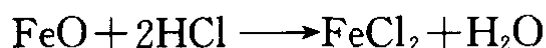
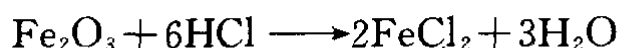
酸洗的目的是去除退火后金属表面生成的氧化层和在生产中（工序间）或储存中生成的钢铁零件的锈迹。

钢铁零件在 570℃ 以上的氧化气氛中加热时会在表面生成氧化层，氧化层由三种成分组成，由外向内分别是  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{FeO}$ 。氧化皮很硬，冲压前必须清除，表面处理前也必须清除。用硫酸或盐酸可以清洗掉氧化皮，这就是酸洗。

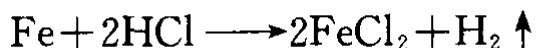
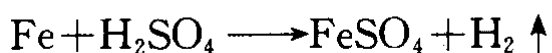
硫酸与钢铁氧化皮的化学反应式如下：



盐酸与钢铁氧化物的化学反应式如下：



酸在溶解氧化皮的同时通过氧化皮的空洞和缝隙渗入金属表面，产生化学反应：



氢气逸出时把氧化层和金属基体分离，成片地脱落，加速了酸洗过程。金属在辊筒内的滚翻也有利于氧化皮的脱落。

铜（覆铜钢）退火时表面产生的氧化物取决于加热温度。当温度在 200℃ 以上时氧化层由氧化铜和氧化亚铜组成。温度再高，则大部分是氧化铜。黄铜中由于有锌，退火时生成氧化锌，这些氧化物均可溶于热的稀硫酸中。

氢气的析出把酸也带入了空气，污染了环境，使劳动条件恶化。另外氢气能渗入薄壁钢质零件中造成氢脆，使零件的冲压性能变坏。为避免或降低氢的坏影响，可在酸洗溶液中加入缓蚀剂。

缓蚀剂能阻止酸对基体金属的腐蚀。它能吸附在新鲜的基体金属表面，从而阻止了已被洗去氧化皮的新鲜金属继续被酸腐蚀。缓蚀剂不能被氧化层所吸附，因此不影响酸洗过程的进行。当然，由于缓蚀剂降低了酸液对基体金属的反应速度，减少了氢的数量，因而也降低了酸洗速度。

“若丁”是被广泛应用的缓蚀剂，其成分为二磷甲苯硫脲 25%（有效成分）、糊精 20%，

食盐 50%和皂角粉 5%（表面活性剂）。用量不超过溶液重量的 0.2%，加入后酸洗温度不应超过 80~90℃。

2. 酸洗工艺

酸洗溶液的配方各厂均不完全一致，现以覆铜钢和钢质弹壳退火后的酸洗为例说明其酸洗工艺。

(1) 覆铜钢弹壳酸洗工艺

- ①酸洗。 $H_2SO_4$  10~20%，60~80℃，1 分钟。
- ②流动冷水洗。洗去表面残酸，时间为 1 分钟。
- ③皂化。浸入浓度为 9~12g/l 的肥皂液，温度为 60~80℃，时间一分钟。作为冲压工序的润滑。
- ④烘干。

(2) 钢质弹壳酸洗工艺

- ①酸洗。 $H_2SO_4$  150~250g/l，60~90℃，时间为 3~4 分钟。
- ②流动冷水清洗一分钟。
- ③磷化处理。

3. 影响酸洗效果的因素

(1) 酸的浓度。提高酸的浓度可以加速化学反应，缩短酸洗时间，但也并非越浓越好。对硫酸来说浓度为 25%（重量）时酸洗速度最快，高于或低于此浓度都降低酸洗速度。盐酸酸洗时浓度由 2%增至 15%时酸洗速度急剧增高，超过 15%后增速缓慢。此外，酸液浓度过高对酸洗设备的腐蚀也严重。对钢铁零件合适的硫酸浓度为 150~200g/l，盐酸为 20%左右。浓度对酸洗速度的影响见表 6-1。

表 6-1 浓度对酸洗时间的影响

| 浓 度/%       |     | 5   | 10  | 15 | 20 |
|-------------|-----|-----|-----|----|----|
| 酸 洗 时 间/min | 硫 酸 | 135 | 120 | 95 | 80 |
|             | 盐 酸 | 55  | 18  | 15 | 10 |

(2) 酸洗温度。温度升高，反应剧烈，可以降低酸洗时间。硫酸随温度升高而提高酸洗速度大于盐酸（表 6-2）。

表 6-2 温度对酸洗时间的影响

| 温 度/℃    |     |     | 18  | 40 | 60 |
|----------|-----|-----|-----|----|----|
| 酸洗时间/min | 硫 酸 | 5%  | 135 | 45 | 13 |
|          |     | 10% | 120 | 30 | 8  |
|          | 盐 酸 | 5%  | 55  | 15 | 5  |
|          |     | 10% | 18  | 6  | 2  |

(3) 铁离子 ( $Fe^{++}$ ) 含量。钢铁零件酸洗液中的铁盐主要是  $FeSO_4$ ，它含量随着反应的进行不断增加，化学反应趋向平衡，酸洗效率下降，这时必须补充新液。一般当溶液中硫酸亚铁含量超过 90g/l，就应更换新液。

枪弹、药筒制造中普遍采用硫酸酸洗，因为和盐酸相比，硫酸有以下优点：

1

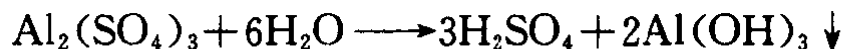
①硫酸价格比盐酸低很多。

②硫酸酸洗时放出的氢气体积比盐酸多一倍。

③可以通过提高溶液温度的方法提高酸洗速度，一般温度升高 10℃ 相当于浓度提高 25%。盐酸则温度升高酸洗速度提高不大，且易挥发，通常在室温下进行。

#### 4. 其它酸洗方法

(1) 硫酸铝酸洗法。硫酸铝  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  在高温下水解产生硫酸而进行酸洗，但其对金属的腐蚀不象单一硫酸那样强烈，故不适用于锈蚀和氧化皮较厚的工件，其水解反应式如下：



硫酸铝酸洗的原理和硫酸相同，只是因为其酸度不大， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  与硫酸的作用几乎不进行。而是靠  $\text{FeO}$  及  $\text{Fe}$  与硫酸作用而剥离氧化皮。此外，水解产生的  $\text{Al}(\text{OH})_3$  是个胶体基团，它吸附没有溶解的氧化铁微粒，起到净化溶液的作用。其配方如下：

|      |            |
|------|------------|
| 硫酸铝  | 200~300g/l |
| 硫酸   | <20g/l     |
| 若丁   | 2~3g/l     |
| pH 值 | 2~3        |
| 温度   | 80~100℃    |
| 时间   | 6~8min     |

(2) 去油酸洗二合一。在酸洗液中加入表面活性剂，使去油、酸洗同时在一个溶液中完成。这就简化了工艺，减少了设备和厂房面积，节省了水和动力的消耗。其配方如下：

|       |           |
|-------|-----------|
| 硫酸    | 60~120g/l |
| 平平加   | 8~15g/l   |
| 合成洗衣粉 | 6~12g/l   |
| 氯化钠   | 20~50g/l  |
| 若丁    | 1~2%      |
| 温度    | 60~80℃    |
| 时间    | 4~6min    |

如果只用平平加洗涤，则制品表面发暗，且成本高，去油作用的持续时间也长。如果只用合成洗衣粉，则制品表面光亮，但去油作用的持续时间短，因此同时加入这两种表面活性剂。

### 三、辊光

辊光工序仅在制造枪弹零件时用，是把零件和填料放入六角形辊筒内（总体积占桶容积的 65~75%），利用辊桶旋转时工件的撞击和摩擦达到去除毛刺、抛光表面、去除表面的油污和污物的目的。

枪弹制造中辊光工序的具体用途有：棒料下料后为去除下料毛刺而进行的辊光，覆铜钢弹壳和弹头为去除表面油污和使表面光亮而进行的辊光，特种弹的曳光管、底火去除表面的附药和油污进行的辊光。

辊光筒的转速为 30~50r/min，辊光时间取决于筒径、转速、零件量、填料等因素，由试验确定，一般为 15~30min。

填料可有稻壳、碎纸片和木屑等。稻壳和碎纸片常用于覆铜零件的辊光，而木屑多用于底火壳和火工品辊光。为增强去污效果，填料中可加入少量煤油或汽油。

## § 6.3 磷化处理

钢铁零件在磷酸盐溶液中处理一定时间，使零件表面形成一层浅灰色或深褐色的磷酸盐薄膜的表面处理称为磷化。

### 一、磷化膜的性质

#### 1. 与金属基体有很大的结合力

因为磷化膜是由基体金属上金属的置换作用而形成的。

#### 2. 有一定的抗蚀能力

磷化膜对空气、润滑油、有机酸类、甲苯、燃料以及大部分气体都有良好的抗腐性，但不能抵抗酸、碱、氨等的腐蚀。

#### 3. 有良好的吸附力

对油类、润滑剂（如润滑油、硬脂酸钠）、油漆涂料等有很好的吸附能力。

#### 4. 有良好的隔热性和耐热性

可经受  $400\sim 500^{\circ}\text{C}$  短时间烘烤。有良好的电绝缘性，可耐压  $250\sim 1200\text{V}$ 。

### 二、磷化的用途

#### 1. 钢零件挤压、冲压前的润滑

磷化膜牢固地与变形金属结合，且能随金属的塑性变形而延伸、压缩。磷化膜在冲压工具与变形金属之间形成能耐高压的隔离薄膜，避免冲压工具与变形工件间形成干摩擦而产生焊合现象，进而损坏模具。

磷化膜的导热性较差，塑性变形所产生的热量来不及传给模具就离开了模具，模具温升不高，对提高模具寿命是有益的。

作为润滑用的磷化处理，磷化膜有较多的细孔，磷化后进行皂化处理更增强了润滑效果。细孔中储存的润滑液在冲压时被挤出，更减小了冲压时的摩擦阻力。这种皂化后的磷化可以经受连续引伸（即无中间退火的两次变薄引伸，或多模引伸）。

#### 2. 涂漆的底层

磷化膜虽隔绝了空气且有一定的抗蚀能力（能经受  $3\%$  氯化钠溶液中浸泡两小时以上），但它抵抗酸、碱、海水侵入的能力尚不足，且具有细孔。因此单一的磷化膜的防腐效果不好。为加强防腐能力可以磷化后涂油（武器的防腐），对钢质弹壳（药筒）都采用磷化后涂漆作为防腐措施。

磷化膜对基体金属有很好的结合力，对油漆具有强烈的吸附力，因此是漆的很好的底层。磷化加涂漆是药筒良好的防腐层。

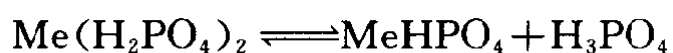
### 三、磷化原理

磷化的配方很多，根据磷化液的主要成分可以分为锌盐磷化和锰盐磷化两大类。锌盐磷化的磷化膜结晶较细，成膜速度快，加入加速剂可以有效地降低磷化温度，实现冷（室温）磷

化。枪弹制造中作为润滑用的磷化都采用锌盐磷化。锰盐磷化的磷化膜结晶细、成膜速度较慢，其耐蚀性和吸附性好。枪弹制造中作为涂漆底层的磷化是采用锌盐磷化和锰盐磷化。单纯的锰盐磷化很少采用。但这两种磷化方法的原理基本上是一样的。

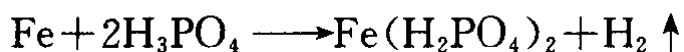
磷化溶液的主要成分为  $\text{Me}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ，其中 Me 代表  $\text{Zn}^{++}$ 、 $\text{Fe}^{++}$ 、 $\text{Mn}^{++}$ 。为加速化学过程，有时加入氧化剂（通常是硝酸锌）。Fe 和磷化液作用生成磷化膜的大致过程如下：

磷化液中  $\text{Me}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  产生水解：

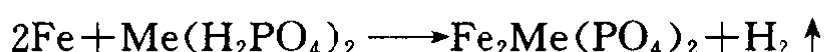
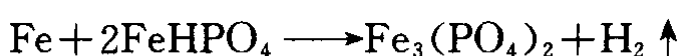


所以实际上磷化液的主要成分是  $\text{Me}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{MeHPO}_4$  和  $\text{H}_3\text{PO}_4$  的混合物。

经过净化处理的钢质零件浸入此磷化液中，铁与磷酸互相作用，发生了铁的溶解：



同时 Fe 与  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{FeHPO}_4$ 、 $\text{Me}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  也发生如下的化学反应：



所以磷化膜就是  $\text{FeHPO}_4$ 、 $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{MnHPO}_4$ 、 $\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{ZnHPO}_4$  和  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$  的混合物。

由于磷化膜的生成，金属与磷化液逐渐隔绝，化学反应逐渐减弱和停止。氢气（溶液中气泡）也逐渐减少，直到停止，磷化过程即告结束。

#### 四、磷化工艺及配方

作为防腐用的钢弹壳磷化（电泳涂漆的底层）工艺流程大致是：

- (1) 去油：在烧碱、纯碱和磷酸钠溶液中洗涤一定时间。
- (2) 流动冷水洗：去除工件附着的碱液。
- (3) 去锈：用盐酸去锈。
- (4) 水洗：去除零件表面的酸液。
- (5) 磷化：用磷酸二氢锰和硝酸锌磷化。
- (6) 水洗：用流动冷水洗去零件上的残液。
- (7) 钝化：用重铬酸钾处理，继续提高零件的防蚀能力。
- (8) 水洗、烘干。
- (9) 电泳涂漆。

对于润滑用的磷化，一般都在退火以后进行，故不需去油工序，也没有钝化工序（因不是作防腐用），但增加皂化工序，以提高润滑效果。因此其工艺流程大致为：

酸洗→水洗→磷化→水洗→皂化

磷化的种类繁多，如快速磷化、冷磷化、中温磷化、防腐用磷化、润滑用磷化等等，因此配方很多。此外仅摘录枪弹润滑和防腐用的几个配方。（表 6—3、6—4）。

表 6-3 钢弹壳润滑用的磷化配方

| 成分及工艺条件     | 配方 I  | 配方 II       | 配方 III      |
|-------------|-------|-------------|-------------|
| 磷酸二氢锌/(g/l) | 28    | 用氧化锌、硝酸、磷酸配 | 用磷酸二氢锌：硝酸锌= |
| 硝酸锌/(g/l)   | 28    | 成母液，稀释而成    | 1：2 配制和调整溶液 |
| 总酸度/点       | 31~37 | 40~60       | 20~40       |
| 游离酸度/点      | 1~2.5 | 4~7         | 0.3~1.2     |
| 温度/℃        | 常温    | 65~85       | 常温~35       |
| 时间/min      | 6     | 1~1.5       | 6~8         |

表 6-4 电泳涂漆前磷化配方

| 成分及工艺条件                              | 普通磷化 I                               | 普通磷化 II | “四合一”磷化* |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|----------|
| 磷酸二氢锰/(g/l)                          | 磷化液由氧化锌、硝酸、<br>磷酸配成的母液稀释而成           | 25~30   |          |
| 磷酸二氢锌/(g/l)                          |                                      |         | 30~40    |
| 硝酸锌/(g/l)                            |                                      | 100~120 | 80~100   |
| 酒石酸/(g/l)                            |                                      |         | 4        |
| “601”洗涤剂/(ml/l)                      |                                      |         | 15~20    |
| 磷酸二氢铬/(g/l)                          |                                      |         | 0.4~0.5  |
| 总酸度/点                                |                                      |         | 75~100   |
| 游离酸度/点                               |                                      |         | 1.8~2.5  |
| Zn <sup>++</sup> /(g/l)              |                                      |         |          |
| Mn <sup>++</sup> /(g/l)              |                                      |         |          |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /(g/l) |                                      |         |          |
| Fe <sup>++</sup> /(g/l)              |                                      |         | 2~5      |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(g/l)  |                                      |         |          |
| 温度/℃                                 | 40~60                                | 45~75   |          |
|                                      | 5~8                                  | 1.5~4.5 |          |
|                                      | 10~15                                | 16~22   |          |
|                                      |                                      | >4      |          |
|                                      | PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> 12~18 | 8~12    |          |
|                                      | 不大于 3                                |         |          |
|                                      | >12                                  |         |          |
|                                      | 70~85                                | 55~70   | 50~65    |
| 时间/min                               | 2~3                                  | 5~10    | 5~6      |

\* “四合一”磷化是指去油、酸洗、磷化、钝化合在一个溶液中完成。

## 五、影响磷化过程的因素

### 1. 游离酸度

游离酸度是指磷化溶液中游离状态磷酸的含量，习惯上用点数表示。当用甲基橙作指示剂时，中和 10ml 磷化液所消耗的浓度为 0.1 当量浓度的氢氧化钠 ml 数即为磷化液游离酸度的点数。一点大约相当于磷酸含量 1g/l 左右。

游离酸度过低，磷化膜薄，甚至磷化不上。游离酸度过高，则铁的溶解加剧，亚铁离子浓度增加，使磷化膜粗糙多孔。游离酸度一般为 5 点左右。

### 2. 总酸度

磷化液中的酸度，除了游离酸外还有磷酸盐、硝酸盐水解时产生的酸度，这些酸度的总和称为总酸度。也用点数表示。当用酚酞作指示剂时，中和 10ml 磷化工作液所消耗的 0.1 当量浓度的氢氧化钠的 ml 数称为磷化液的总酸度。

磷化液的总酸度高，说明磷化液浓度高，磷化速度即加快，磷化膜微密。反之则磷化时间长，磷化膜粗糙。总酸度一般保持 100 点以下。

生产中常用磷化液中总酸度与游离酸度的比值来表示磷化液的浓度，因为这比值随溶液成分、工作温度而变，更反映出实际生产情况。由于盐类水解随温度升高而加速，因此高温磷化时，这个比值可取小些，而低温磷化则取大些。通常高温磷化控制在 6~9，中温磷化为 10~15，低温磷化为 15~20。

### 3. 磷化液工作温度

温度升高，盐类水解作用加强，加速了铁的溶解，有利于磷化反应的加速进行，使磷化膜变细，附着力增强。但温度过高能使  $\text{Fe}^{++}$  氧化成  $\text{Fe}^{+++}$ ，产生沉淀，使溶液混浊，在磷化膜上形成白色的附着物。

硝酸锌可起加速磷化的作用，故硝酸锌含量增加，则磷化温度可降低。冷磷化就是利用硝酸锌含量的增大来实现的。

### 4. 磷化时间

在氢气泡停止析出以前，化学反应一直在进行着，因此磷化膜厚度一直在增厚。对于防腐性能要求高的磷化处理，应在氢气停止析出的一、二分钟后取出零件。而对于作为润滑用的磷化处理，则不一定等反应结束，只要磷化膜厚度能满足冲压工艺要求即可从磷化液中取出。

### 5. 锰锌离子的影响

提高锰离子的含量能增加磷化膜的强度和结合力，并提高其抗蚀能力。锌离子含量高时能加速磷化反应，使磷化膜致密，晶粒饱满有光泽；锌离子低时磷化膜发暗无光泽，疏松，一般应保持在  $\text{Zn}^{++} : \text{Mn}^{++} = 1.5 : 1 \sim 2 : 1$  的范围内。

### 6. 磷酸根的影响

磷酸根含量低时，磷化膜发暗多孔，甚至磷化不上；含量高时能加快磷化的速度，使磷化膜变得微密，晶粒饱满有光泽；过高时则膜厚，晶粒粗大多孔。

### 7. 亚铁离子的影响

$\text{Fe}^{++}$  与  $\text{HPO}_4^-$  作用生成  $\text{FeHPO}_4$ ，首先在金属表面析出作为磷化膜的晶核，所以  $\text{Fe}^{++}$  能细化晶粒。在新配制的磷化溶液中  $\text{Fe}^{++}$  含量很低，故需经一定时间的铁处理，或加入一定数量的经澄清的旧磷化液，使新液中  $\text{Fe}^{++}$  含量达到一定量后才能进行磷化处理。磷化液中的铁含量是逐渐增加的，当含  $\text{Fe}^{++}$  量过大时，磷化膜结晶粒大，磷化时间延长，抗蚀性能降低。

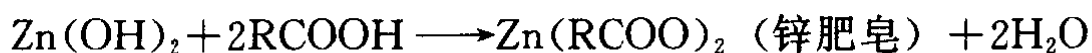
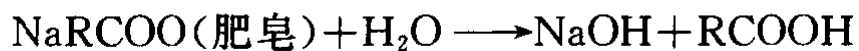
磷化膜的密实性可用下法检验。即用配制好的硫酸铜溶液滴在磷化膜上，在规定的时间内该处不应出现红色为合格。红色物是铜在铁表面的生成物，出现红色物说明磷化膜已被腐蚀掉。该测试液配方为

|      |                                           |       |
|------|-------------------------------------------|-------|
| 0.4N | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 40ml  |
| 10%  | NaCl 溶液                                   | 20ml  |
| 0.1N | HCl 溶液                                    | 0.8ml |

## 六、磷化膜的皂化

磷化后的工件在一定浓度的肥皂液中浸泡一定时间的操作称为皂化。皂化的目的是进一步提高磷化膜的润滑效果。

根据试验,在锌盐、锰盐、镉盐磷化处理中,以锌盐磷化处理的摩擦系数为最小,而锌盐磷化后再皂化处理则润滑效果更佳。其原因是磷化膜在皂化过程中部分地生成了锌肥皂,而锌肥皂的润滑效果优于普通钠肥皂。其反应式如下:



为了更好地形成锌肥皂,肥皂浓度应取大些,一般在2~7%。温度高时肥皂液流动性好,易进入磷化膜空隙中,一般不超过60℃。适当的碱度有助于锌肥皂的形成,但过高的碱度会造成磷化膜的破坏。

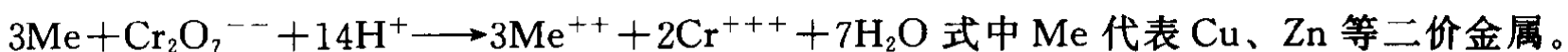
为了充分发挥肥皂的效能,应使水软化,即在配制肥皂水时加入少量纯碱,以消除钙、镁杂质的影响。

## § 6.4 钝 化

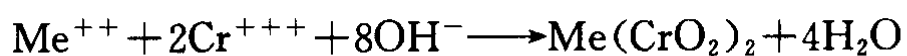
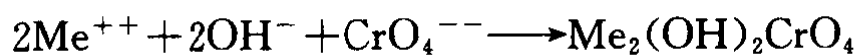
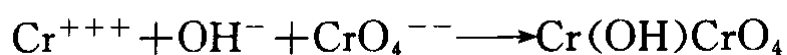
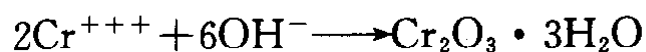
黄铜药筒、黄铜底火壳的防蚀是采用钝化方法。即通过与重铬酸钾和硫酸组成的溶液处理后使铜制品表面生成一层金黄色的钝化膜,该钝化膜可以抵制周围介质对铜的腐蚀。该法的缺点是重铬酸钾的毒性很大。

### 一、铜合金钝化原理

首先是铜合金的溶解:



随着溶解过程的进行,金属表面层溶液的 $[\text{H}^+]$ 下降, $[\text{OH}^-]$ 相应增加,pH值不断上升。这个区的 $\text{Cr}^{+++}$ 、 $\text{Me}^{++}$ 有可能与 $\text{OH}^-$ 作用,生成氧化物和碱式铬酸盐:



生成的三氧化二铬、碱式铬酸铬、碱式铬酸铜(锌)及亚铬酸铜(锌)在金属表面结晶,构成了钝化膜。

### 二、钝化工艺及配方

(1) 去油。常用配方为

|     |        |
|-----|--------|
| 烧 碱 | 1~3%   |
| 纯 碱 | 3~5%   |
| 温 度 | 70~90℃ |
| 时 间 | 1~4min |

(2) 热水洗。洗去表面附着的碱液。

(3) 流动冷水洗。进一步清洗表面。

(4) 钝化。其配方为

|      |        |
|------|--------|
| 重铬酸钾 | 7~10%  |
| 硫酸   | 3~7%   |
| 温度   | 常温     |
| 时间   | 30~60s |

(5) 水洗。洗去表面的钝化液。

(6) 甩干、烘干。

### 三、影响钝化过程的因素

#### 1. 硫酸含量

酸量过低，被钝化金属的溶解量下降，金属离子少，钝化膜不易形成；酸量过高，则钝化膜可能再溶解，使膜出现多孔、疏松和附着不牢等现象，钝化膜质量不高。故酸度要控制在一定范围内。

#### 2. 重铬酸钾含量

重铬酸钾是形成钝化膜的主要成分，其含量增加会使金属的溶解量增加，成膜速度加快。但含量过高会影响钝化膜的光泽度。

#### 3. 钝化温度

温度升高，则金属的溶解量增高。所以钝化温度不低于 30℃。

## § 6.5 电泳涂漆

钢质弹壳和药筒的防腐普遍采用磷化膜作底层，然后涂漆的方法。涂漆的方法很多，有刷漆、浸漆、静电喷漆和电泳涂漆等。其中，电泳涂漆是 60 年代发展起来的一项涂漆新工艺，由于它具有比其它涂漆方法独特的优点，已被枪弹、药筒厂普遍采用。

### 一、电泳涂漆的优点

(1) 由于电泳涂漆的漆用水作为稀释剂（称水溶性漆），消除了漆雾及溶剂的飞散，大大地改善了劳动条件。也减小了生产、贮运和使用过程中的中毒和火灾的危险性。

(2) 产品质量高，漆膜厚度均匀，附着力强，能涂敷几何形状复杂而用一般方法不易涂到或涂不好的零件，如缝隙、棱角、深孔、内层等，而且漆膜厚度均匀、平整，这就明显地提高了对产品的防腐效果。

(3) 由于是水溶性漆，因此节省了大量有机溶剂。此外该漆的施工粘度很低，涂料利用率很高，因此成本低。

(4) 涂装（上、下料）迅速，可用链条输送装置将电泳涂漆和烤漆工序联动，实行自动化生产，提高生产率，降低了劳动强度。

枪弹、药筒中的涂敷油漆方法有时也用刷漆、浸漆、喷漆、静电喷漆，和电泳涂漆相比，其特点如下（表 6—5）。

表 6—5 各种涂漆方法特点的对比

| 序号 | 比 较 内 容   | 刷漆   | 浸漆   | 喷漆   | 静电喷漆   | 电泳涂漆  |
|----|-----------|------|------|------|--------|-------|
| 1  | 漆层与表面结合性质 | 机械   | 机械   | 机械   | 电附着    | 电附着   |
| 2  | 漆膜结构      | 粗松   | 粗松   | 粗松   | 较微密    | 微密    |
| 3  | 漆膜平整性     | 刷痕   | 流痕   | 不均   | 均匀     | 均匀    |
| 4  | 针 孔       | 明显   | 较少   | 较少   | 少      | 近无    |
| 5  | 附着力 (级)   | 1~2  | 1~2  | 1~2  | 1~2    | 1~1.5 |
| 6  | 耐水、耐盐水    | 差    | 好    | 好    | 好      | 最好    |
| 7  | 零件边缘      | 不均   | 不均   | 不均   | 不均     | 各处均匀  |
| 8  | 凹处表面、内表面  | 不上漆  | 不上漆  | 不上漆  | 不上漆    | 上漆    |
| 9  | 劳动条件      | 差    | 较好   | 较好   | 较好     | 好     |
| 10 | 火灾危险性     | 易燃   | 易燃   | 易燃   | 易燃     | 不燃    |
| 11 | 材料利用率     | >90% | >90% | >75% | 90—95% | >95%  |

## 二、电泳涂漆原理

电泳涂漆的操作与电镀相似。电泳涂漆有阳极电泳和阴极电泳两种，枪弹、药筒厂都采用阳极电泳。阳极电泳的涂料为阴离子型电泳涂料，是一种含固体成分较低的水溶性涂料。将被涂零件净化后浸于电泳槽的漆液内，零件作为阳极，槽体通阴极，以电泳漆液作电解质，通直流电后，带阴离子的涂料在零件上沉积，形成漆膜，经清洗、烘干后即完成电泳涂漆操作。电泳涂漆过程比较复杂，一般认为有以下四个过程。

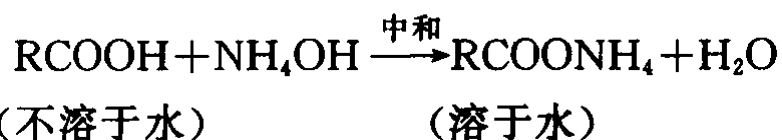
### 1. 电泳

分散在介质水中的正负离子（或称带电粒子）在直流电场作用下发生定向移动：带负电荷的粒子向阳极移动，带正电荷的粒子向阴极移动，称为电泳。电泳涂漆中除了带负电荷的树脂粒子向阳极（零件）移动外，不带电荷的颜料由于吸附在带电荷的树脂粒子上，也随粒子电泳。这就是色漆电泳的原理。

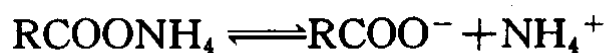
### 2. 电沉积

在电场作用下，带负电荷的高分子离子泳到阳极时放出电子，重新化合成为不溶于水并沉积于阳极的涂膜，称为电沉积。沉积首先发生在电力线密度高和电阻小的边缘、棱角和尖端部位，再逐步沉积于电阻大的部位，直至阳极表面全部获得完整、均厚的涂膜。

为使树脂成为水溶性，须在树脂结构中引入亲水性的羟基或羧基基团，再用氨或有基胺中和成为完全溶于水的盐类：



上述胺盐在水性漆液中离解：



带负电荷的  $\text{RCOO}^-$  离子泳向阳极，在阳极上失去电荷，形成不稳定的  $\text{RCOO}$ 。 $\text{RCOO}$  又

在阳极（工件）表面与不稳定状态的  $[H]$  重新结合为不溶于水的不溶性树脂  $RCOOH$ ，并进行电沉积，形成漆膜。

### 3. 电渗析

沉积在阳极上的漆膜不再移动，在电场的作用下，湿漆膜内的助溶剂和水通过漆膜孔隙被排挤在膜外，并向阴极移动，从而使漆失去水份，这一过程称为电渗析，简称电渗。

电渗的好坏直接影响漆膜的质量。例如电渗不好，则漆膜内的助溶剂和水份太多，漆膜就很粘。这样的漆膜在干燥后结构疏松，附着力下降，耐蚀性差。

### 4. 电解

在阴、阳两个电极上，除成膜反应以外的其它副反应，即为电解。例如当直流电通过电解质水溶液时发生水的电解反应，在阳极放出氧气，阴极放出氢气。电解反应随电压的升高和漆液中混入的杂质离子的增加而加剧。电泳涂漆中应适当控制这个反应，因为阳极（零件）上大量逸出气体会使漆膜产生起泡和针孔现象，降低了漆膜质量，并消耗了不必要的电能。电解是有害的但又是不可避免的。

以上四个过程是在通电后同时进行的，尤以阳极上的电沉积最为重要，这四个过程构成了电泳涂漆的基本原理。

## 三、电泳涂漆的工艺流程

各产品电泳涂漆的工艺流程基本相同，由于产品大小，工厂具体情况不同，工艺参数等略有出入，现以 7.62 步枪钢弹壳电泳涂漆的工艺流程为例说明之。

(1) 机械化装盘：弹壳口部向下插入带针杆的装料盘上，针杆与弹壳内底应有良好的接触，以便电流由装料盘的针杆导入弹壳。由于弹壳较小，故可用机械化将弹壳成批地自动插入装料盘。药筒则是单个地吊挂在电泳槽内，沿着固定的导轨边移动边涂漆。

(2) 水洗：用常温的自来水冲洗弹壳，除去弹壳表面的“浮灰”。如果磷化，水洗后不经烘干而直接电泳涂漆，则可无此工序。

(3) 水洗：用常温蒸馏水清洗。

(4) 电泳涂漆：漆液含固体分 8~14%，pH 值 8~9，电压 75~90V，温度为 25~30℃，电泳时间为 2 分钟。用泵不断地使漆液循环流动，并定时补加原漆（没有稀释的电泳漆液）。

(5) 水洗：用常温自来水冲洗弹壳表面附上的漆液。

(6) 水洗：流动冷水再次清洗。

(7) 烘干：在 250~270℃ 烘烤 28~30min，使漆膜固化。

(8) 卸下挂具：取出弹壳。

(9) 挂具除漆：用钢丝刷去除导电部分的漆层，便于再装盘时使用中能导电。

## 四、电泳涂漆的工艺参数及其对漆膜质量的影响

### 1. 漆液固体分含量

漆液的固体分含量系指漆液中不挥发部分（树脂和颜料）的含量。电泳涂漆液中固体分的含量通常为 15% 以下。固体分含量过高时漆层厚，电渗变坏，漆膜发粘，附着力下降，烘干后易产生“桔皮”、“粗糙”、“起皱”等疵病，使漆膜抗蚀性降低。固体分过低，则漆液在零件上沉积少，电渗好，但漆膜薄，泳透力（指电泳涂漆时背离阴极的地方涂上漆的能力）低，出现针孔，失去光泽，甚至露底。

## 2. pH 值

pH 值是一个对漆膜质量影响很大的重要工艺参数。一般地说，pH 值高，则漆膜细，表面平整，电渗好，漆液电阻下降，电解反应加剧，易出现针孔或露底，泳透力下降。但 pH 值过高时易形成漆膜再溶。

pH 值低时，沉积量大，漆膜较厚，泳透力好。但 pH 值过低时，树脂不能完全溶于水，影响漆膜的质量和漆液的稳定性。

pH 值一般控制在 8~9 范围内。但在电泳过程中阴极不断地聚集胺，使漆液的 pH 值不断升高。可以通过添加无胺的新漆液、胺（氨）自然蒸发法（停车时氨能自然挥发）或其它方法降低 pH 值。

## 3. 电压

电泳涂漆的电压根据涂料的品种，工件表面积大小、两极间距离、漆液温度等因素确定。

一般地说，电压高，沉积快，涂膜厚，但电解反应加剧，逸气严重，使漆膜粗糙，且易出现桔皮现象。电压低时，沉积慢，泳透力差，但漆膜薄而细密。

采用磷化作底层的电泳涂漆，其电压应升高，一般为 75~90V。

## 4. 漆液温度

在电泳涂漆的过程中温度有升高的趋势。温度升高，则漆液电阻减小，电流升高，电泳速度加快，沉积量增加，使漆膜增厚，同时电解作用加剧，容易产生桔皮、针孔。温度过高时，布朗运动加快，容易降低树脂和颜料的作用力，使漆的颜色发生变化。

温度低，则漆膜薄，附着力好，助溶剂挥发少，pH 值上升快。但温度过低，则附着力极差，甚至不能电泳。漆液温度一般控制在 18~35℃。

## 5. 电泳时间

电泳初期，电沉积速率和膜厚增加较快，随着膜厚的增厚，电阻增加，漆膜增厚速度减缓，当电阻增大到一定值后，膜厚几乎不变。电泳时间过长反而导致漆膜质量下降。电压低、固体分低、极距大、工件形状复杂时电泳时间应增加。电泳时间随产品品种、尺寸大小而不同，一般为 2~4.5min，口径大，时间长。

## 6. 助溶剂

为了改善涂料树脂的水溶性、漆液的稳定性，从而提高漆膜质量，漆液中要加入助溶剂，常用的为丁醇、乙醇。

随着漆液中助溶剂含量的增加，漆膜的外观质量改善，也便于消除气泡。含量过高时，与水互溶性变差，漆液混浊，泳透力低，涂层质量变坏。助溶剂含量过少，树脂水溶性降低，同样会造成混浊和不稳定现象，使漆膜粗糙，出现桔皮现象。

## 7. 漆膜烘干温度与时间

烘干过程中水份和溶剂蒸（挥）发，树脂聚合、固化。温度高、时间长，则涂料易老化变脆；温度低、时间短，则漆膜强度不高，耐磨性、抗蚀性均差。有时因为烘干温度过低，漆膜没有固化而发粘，摩擦系数增加，使射击时抽壳阻力增加。烘干温度一般控制在 250~270℃，时间 28~30 分钟。

## 8. 电流

电泳电流过大会使漆液温升加快和 pH 值升高，漆膜会出现发花、粗糙、无光泽。但电流过小时泳透力差，漆膜附着力低，甚至电泳不上。电泳开始时电流下降较快（因为漆膜厚度

增加快)，以后减小缓慢，甚至几乎不变。

#### 9. 颜基比

色漆中颜料与基料的重量比称为颜基比。由于颜料与基料的沉积速率上的差异，生产过程中颜基比会发生变化，使成膜颜色与性能不稳定，故需根据变化情况调整颜基比。

## 第七章 枪弹装配

枪弹装配分为两大部分，即弹头装配和成弹装配。将枪弹弹头诸元件按产品图要求装配并结合成一个整体，从而获得弹头最后尺寸、形状和质量的工艺过程的总合称为弹头装配。将枪弹的全部元件（弹头、弹壳、底火、发射药）装配成一整体，使达到枪弹最终的、符合产品图规定的形状和尺寸的工艺过程的总合称为成弹装配。

普通弹弹头的装配是在弹头元件制造车间进行的。特种弹不论其口径大小都是在单独的车间里生产的，因为特种弹弹头内有燃烧剂、曳光剂，甚至炸药等火工品，其装配作业属半火工作业性质。

成弹装配因有发射药和底火，也属半火工作业。成弹装配车间都是与产品包装，装箱等工作联在一起的。

弹头装配和成弹装配是弹头制造和枪弹制造的最后的又是关键的工艺，它直接影响到枪弹的战术技术性能和长期储存性能。即使合格的元件，如果装配不当，也会大大影响枪弹的性能；即使装配合格的枪弹，如果包装不好，也会在存放过程中报废。

枪弹装配属于半火工作业，生产中应特别注意安全。

### § 7.1 弹头装配工艺

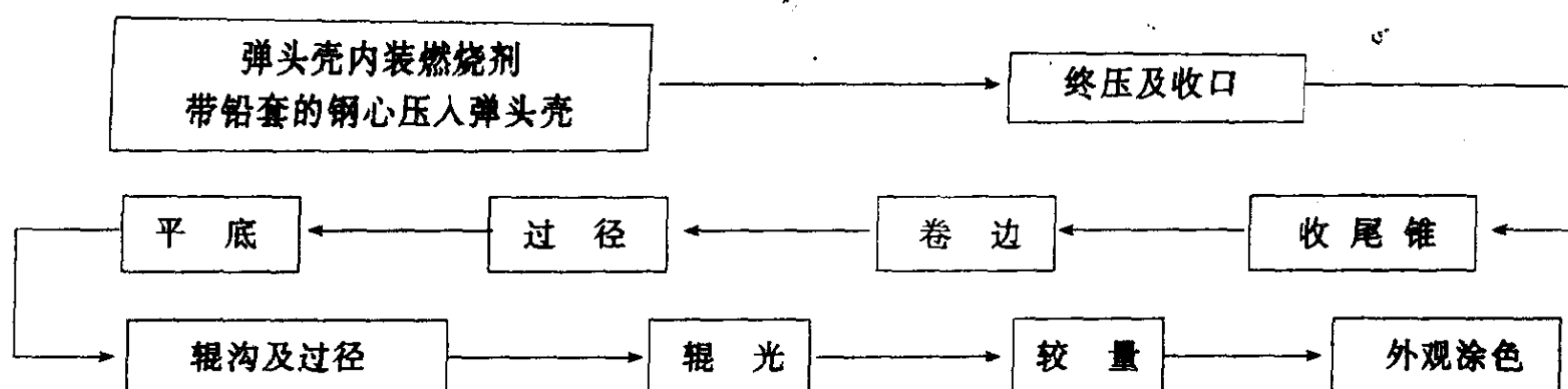
弹头装配是弹头制造最后的工序，通过装配，使弹头获得以下性质：

- (1) 弹头外形尺寸符合产品图要求，如圆柱部直径，弧形部圆弧半径及其高度，弹尖直径及其高度，尾锥尺寸，紧口沟（又称辍沟）尺寸及高度等；
- (2) 弹头质量符合产品图要求；
- (3) 确定了弹头诸元件间的相对位置，因而也最终确定了弹头的重心位置；
- (4) 确定了弹头诸元件装配的紧密度。

生产实践表明，即使弹头各元件的尺寸和质量都合格，也不一定能保证装配出的弹头都合格。因为枪弹弹头的装配和一般机械装配不同，装配时不少零件还要变形，各元件的相对位置是靠生产中的调整确定的。此外还有各元件质量与弹头总质量的匹配问题。例如合格的元件装配后弹头的弧形部、圆柱部和尾锥部中心线如果不在一条直线上，即会使弹头散布密集度扩大。合格的元件装配的紧密度不一致也会影响密集度，对特种弹还会引起飞行破裂。

#### 一、14.5mm 穿甲燃烧弹弹头装配工艺

14.5mm 穿甲燃烧弹弹头装配工艺最早多达二十六道工序，且多为手工操作，工艺非常落后，经过多年的努力，在设备和工艺方面作了许多改进，现已简化到十道工序，其工艺流程如下：



### 1. 装燃烧剂及钢心预压

先将弹头壳定向放置，使之开口端朝上，弹尖向下，然后通过计量板将燃烧剂装入弹头壳。由于产品图规定燃烧剂（铝镁合金粉）和氧化剂（硝酸钡）是分开装入的（称分层装药，详见本章第二节），而不是混合后装入的，故需进行两次装药，先装硝酸钡，后装铝镁合金粉。

然后把带铅套的钢心装入已装有燃烧剂的弹头壳内，并进行初步压紧（称为预压）。预压的目的是压紧燃烧剂药粉和使钢心不从弹头壳内脱出，因为以后的装配工序都是在卧式压力机上进行的。

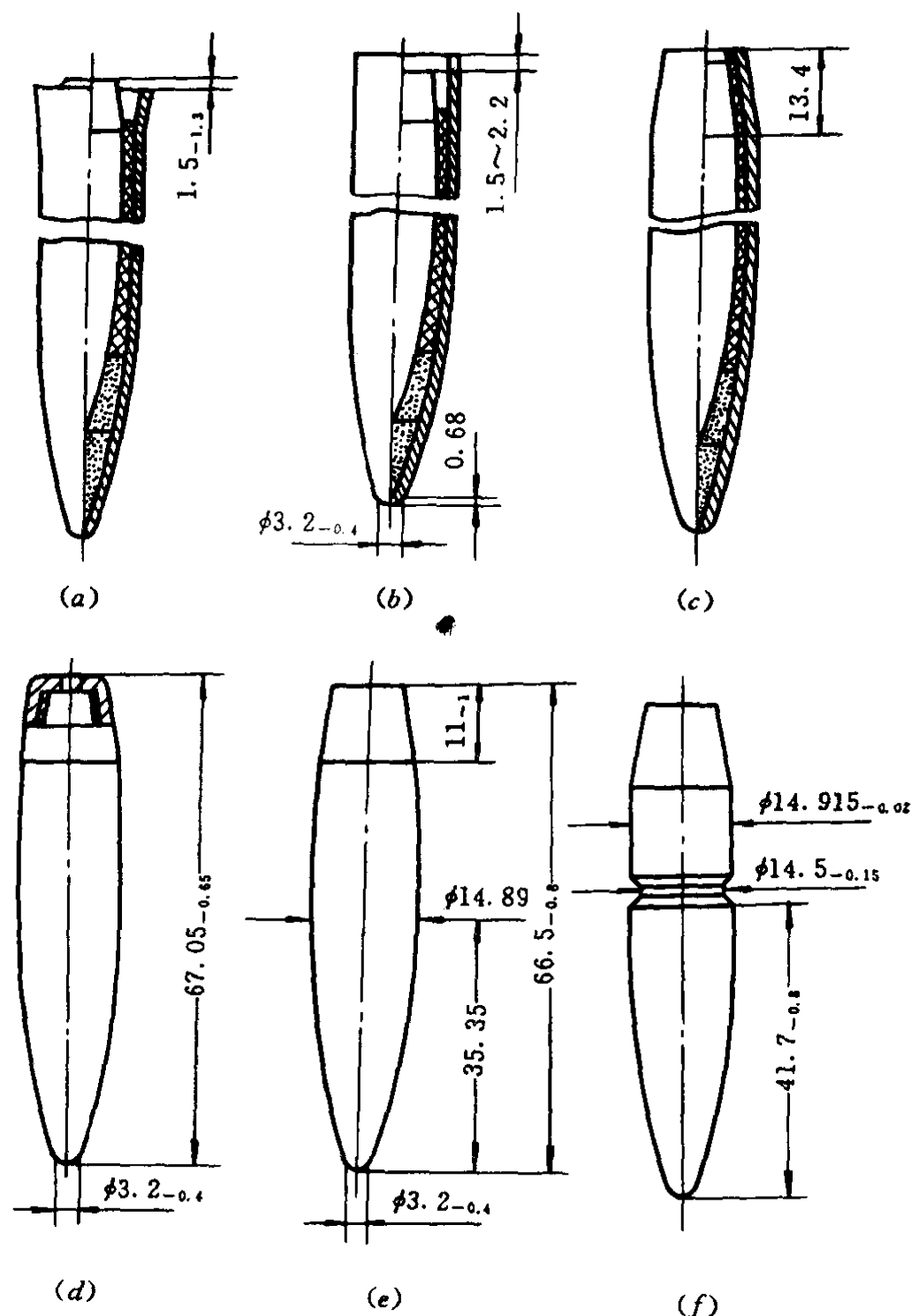


图 7-1 14.5 毫米穿燃弹弹头装配工序工件变形图

(a) 装燃烧剂及预压；(b) 终压；(c) 收尾锥；(d) 卷边；(e) 平底；(f) 辊沟

以上两步工序是在立式旋转式专用机床上进行的，分成装药、钢心插入弹头壳和预压三

个工步，每个工步可以装两个产品。这道工序需经常抽验药量，并控制预压后钢心突出弹头壳底面的高度（图 7-1a）

## 2. 终压

终压是将带铅套的钢心压入弹头壳内到达一定深度。为防止压入后钢心后退，可将弹头壳尾部略为缩径（图 b）。这道工序主要控制压入深度，即钢心底面到弹头壳底面的距离。

## 3. 收尾锥

收尾锥是将弹头柱形的尾部收成产品图要求的锥角，为下一道卷边工序作好准备。这道工序主要是控制尾锥的长度（图 c）。锥角是由模具保证的。

## 4. 卷边

卷边是将弹头壳高出钢心底面的金属卷弯成型，使它压紧钢心尾部，防止钢心轴向松动。卷边是由直边的锥形底部弯转  $90^\circ$  成为平底工序的中间变形工序，因为它不可能用一道工序完成。从变形性质来看，它与收尾锥一样均与收口变形相同。这道工序主要控制弹头全长（图 d）。

## 5. 平底（成型）

卷边变形部分的金属折弯  $90^\circ$  时不可能完全紧贴钢心底平面，且转角处有很大的圆角，为了达到产品图要求，保证弹头壳紧贴钢心底面，必须对底平面进行压制，故本工序又称终压。利用轴向加压对弹头的弧形部、圆柱部和尾锥部的形状尺寸进行全形校正使这三部分同心，终压的精度主要由模具来保证。通过平底工序后，除紧口沟尺寸和圆柱部直径外其余尺寸都应达到产品图的尺寸（图 e）。

## 6. 辊沟

是在圆柱部相应位置压出一定形状的沟槽（称紧口沟）。这道工序主要是控制紧口沟槽的直径和槽与弹尖的高度（图 f）。

## 7. 过径

收尾锥和卷边后圆柱部和尾锥部交界处会起箍（直径扩大），如图 7-2 所示。辊沟后在沟槽附近直径也会有所扩大，为了消除这些“箍”，把弹头推入一个比圆柱部直径略小的凹模，这道工序称为过径。过径后弹头圆柱部沿长度方向尺寸一致，各零件径向配合紧密。

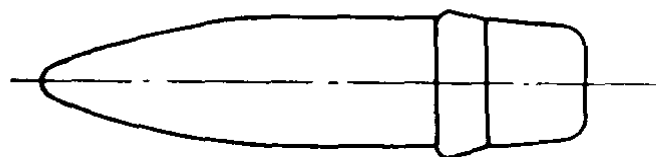


图 7-2 弹头尾锥附近起“箍”

## 8. 辊光

辊光的目的是去除弹头表面的油污，使表面清洁、光亮，便于外观检查、较量和弹尖着色，也有利于长期储存。是将一定数量的包装纸屑与弹头混合，在木质辊筒内不断滚翻实现的。如果辊光时间短，纸屑少则油污不能擦净；反之辊光时间长而纸屑又少，则易碰伤弹头。

## 9. 较量

主要是剔出弹头全长和重量不合格的产品，而对弹头直径、紧口沟直径及高度、尾锥尺寸等仅作抽验。

## 10. 弹尖着色

是在弹尖上浸涂一定颜色的漆，以区别弹种。对穿燃弹涂黑色。

## 二、7.62 毫米普通弹弹头装配工艺

与 14.5 穿燃弹相比，7.62 普通弹弹头有以下一些特点：

- (1) 无燃烧剂，即不是半火工作业。
- (2) 需要量特大，即生产批量大。
- (3) 尺寸小。

因此虽然其装配工序与 14.5 穿燃弹基本相同，但可以在一台不大的多工位冲床上完成主要装配工序。

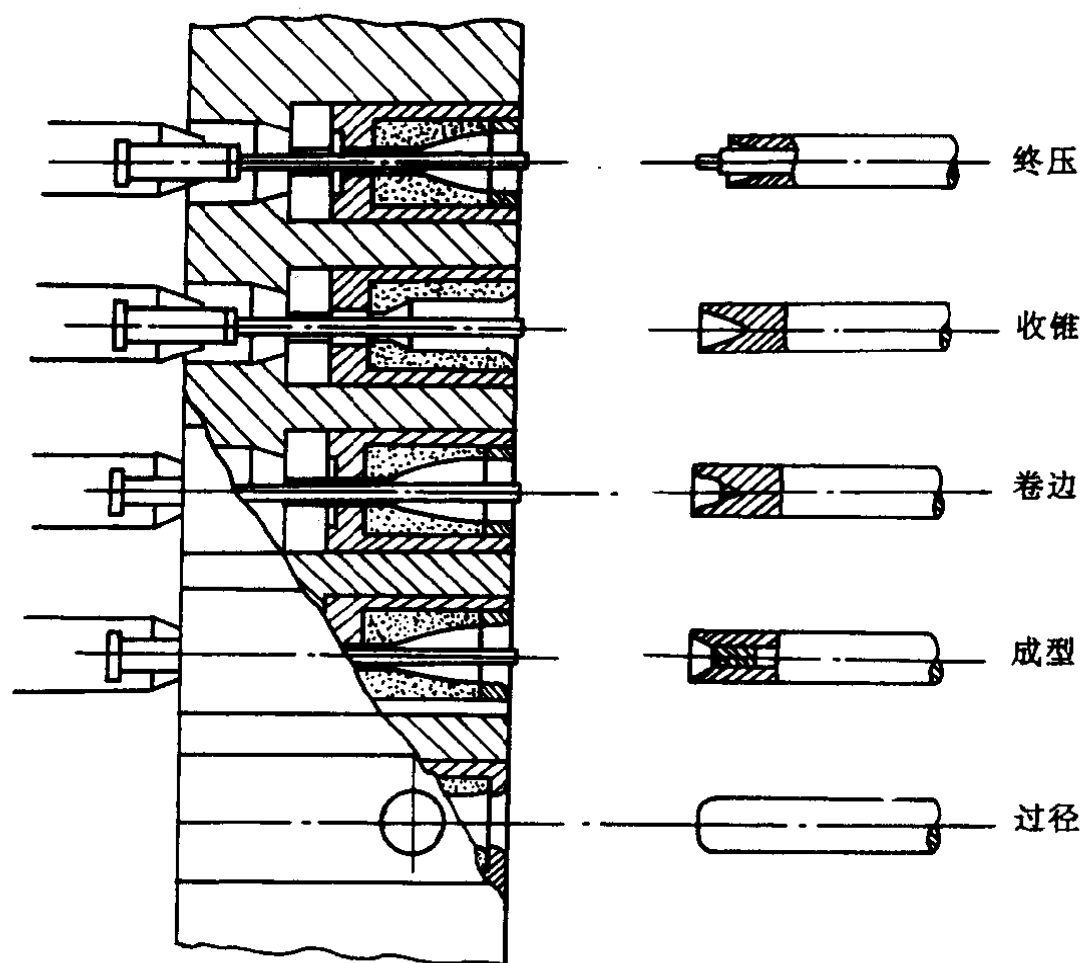


图 7-3 7.62 普通弹弹头合装模具简图

图 7-3 为 7.62 普通弹弹头合装模具在多工位自动冲床的布置。右侧为五个冲子，分别固定在冲床滑块上。左侧为固定在机架上的模座，分别装有终压、收锥、卷边、成型和过径五个凹模，并有四个退货冲。在冲子和凹模之间有自动送料装置，把工件由上一工位传送到下一工位。

弹头壳内装入带铅套的钢心后进入终压模，弹头由退货冲从终压模内推出并由送料机构的货夹夹住，传向下一工序。由于收尾锥时必须把弹尾部推入凹模，以提高尾锥与圆柱的同轴度，因此弹头必须旋转  $180^\circ$ ，这个旋转是利用货夹上的齿轮与齿条相对运动来实现的。下一道弹尾部卷边是在冲子上变形的，因此工件又要旋转  $180^\circ$ 。过径时工件直接通过过径模，由凹模的另一侧送入机床附设的辊沟机中进行辊沟。

称量、较量和外观检验可以组合为一台机床，或称量与弹头合装机组组合。总之 7.62 普通弹弹头的装配只需两台组合机床即可完成。与 14.5 穿燃弹相比，工序只少了装燃烧剂和弹尖着色（普通弹弹尖不着色）两道工序，但机床和场地节省不少。

## 三、关于提高弹头装配质量的问题

前已述及，即使弹头诸元件的尺寸、质量都是合格的，但如果装配工序掌握不当，仍然

会生产出不合格产品。对于小口径普通弹来说主要是枪弹射击密集度，而对于大口径特种弹主要是飞行破裂和密集度（飞行破裂是指弹头射出一定距离后弹头壳破裂）。

我国枪弹厂的工程技术人员在长期生产实践中总结出了一整套提高枪弹射击密集度的经验和大口径枪弹防止出现飞行破裂的弹头装配经验。提高射击密集度的经验是控制弹头的一致性、对称性和合装密实性。防止产生飞行破裂的经验是弹头合装应短而紧。

### 1. 一致性

弹头的一致性是指所生产的每一批弹头中的每一发在尺寸、质量方面的接近程度。可见要提高弹头的一致性必须减小每个元件的公差和装配后的公差，这给工具制造带来了困难，并且提高了产品的成本。有两种方法解决这个难题，一是缩小那些对产品性能影响较大的尺寸公差，例如弹头直径公差。二是分级处理，例如大口径枪弹弹头质量公差较大，对弹头质量的一致性影响较大，也影响了射击密集度，可以在弹头质量公差内分成重弹头和轻弹头两类，并对装药量也给以相应的增减，这样可以提高弹头质量的一致性，两种弹（轻弹和重弹）的弹道一致性也提高了。

标准弹是枪弹中的样板，对弹的一致性要求更高。产品图规定，影响产品性能主要尺寸公差比普通弹缩小一半，如弹头质量公差、圆柱部直径公差、弹壳内容积公差、弹壳口部内径公差、传火孔直径公差、装药量公差、拔弹力公差等等，而且在生产中还有许多具体措施，主要是在生产和管理上应保证分批管理的每一小批在质量和工艺条件方面的一致性：即专门材料（质量高、公差小）、专门的工具（公差小）、专门人员（工作态度和技术水平较高的生产人员和检验人员）、专门机床（精度较高的机床）、专门班次（只在白班生产）、同批同具（即在一批生产中不换工具）、同批弹头配同批弹壳，发射药应混筛均匀。

### 2. 对称性

弹头的对称性是对一个弹头而言的，即它的尺寸和质量分布应对称于弹轴。壁厚差、椭圆度、弧形和尾锥的歪斜等均造成了弹头的不对称性。因为弹头出膛后高速地绕弹轴旋转而飞行，因此弹头的任何不对称都会产生附加力，使弹头偏离预定的轨道，从而降低了射击密集度。

### 3. 合装密实性

合装密实性就是将弹头内的所有元件紧密组合为一个整体，达到轴向紧密。7.62 普通弹合装的经验是底窝有轻微露铅者，表示合装密实性好，其射击密集度好。

### 4. 短而紧

这是大口径特种弹为防止产生飞行破裂而总结出的弹头装配经验。具体措施是：终压深、收锥多、卷边多、底窝小（底窝是指卷边后形成的小圆孔）和平底足。目前认为飞行破裂的原因是钢心轴向松动，射击时火药气体压力使钢心轴向移动，挤压燃烧剂，使之发火而导致弹头壳破裂。短是指弹头长度要短。上述措施主要是想把卷边过来的金属紧紧压住钢心底面，消灭尾空（即钢心底面与卷边部分的金属间有空隙），防止飞行破裂的产生。

提高弹头装配的一致性、对称性和密实性及短而紧的具体措施有：

（1）适当控制弹头圆柱部直径公差 弹头圆柱部直径是外弹道的重要参数，它确定了该弹头的弹道系数，因而也影响弹头的飞行阻力，因此，提高弹头圆柱部直径的一致性（公差小，则一致性好）是提高射击密集度的重要措施。

从弹头嵌入膛线的情况看，如果弹头直径过小，尤其在枪管磨损时会影响弹头在膛内运

动的正确性,也影响弹头对枪管内火药气体的密闭性,对射击密集度是不利的。但如果弹头直径过大,则对枪管寿命(磨损)是不利的。一般控制在中限偏上为好。

(2) 控制弹头弧形部和尾锥部对圆柱部的同轴性,使三者的轴线在一直线上。主要是控制冲模的加工质量(同心度)和机床调整,使冲子和凹模同心。三者的不同轴度可用专门的量具检测。

(3) 防止在加工过程中弹头圆柱部局部鼓起(起箍)。起箍虽然可用过径来消除,但如果过径时直径收缩过多,会引起尾锥倾斜。

(4) 严格控制弹头底窝小孔不正(不在正中)和底窝单面漏铅,因为这些都说明弹头的对称性不好。

(5) 提高弹头合装的密实性,做到普通弹合装后底部有轻微露铅,特种弹不产生尾空。严格控制钢心突出铅套的高度,加大终压和收尾锥的力量,使卷边多,底窝直径小,并加强平底(成型)的力量,以消除尾空。特别要注意到钢心长度与弹头壳长度的配合,如果遇到短钢心与长弹头壳配合,或燃烧剂药量太少还会引起尾空。

## § 7.2 燃烧剂与曳光管

### 一、燃烧剂

具有燃烧作用的枪弹,燃烧剂主要用于点燃油箱等易燃物,因此常具有穿甲作用(如穿甲燃烧弹、穿甲燃烧曳光弹),以便击穿油箱或防护装甲。试射燃烧弹是利用燃烧时的火光作测距用。

#### 1. 对燃烧剂的要求

(1) 具有良好的燃烧和点燃能力,即应具有高温、高热且强烈的火焰,并产生炽热的熔渣(熔渣扩大了点燃范围);

(2) 具有一定的燃烧持续时间,因为点燃燃烧物需有一定的时间;

(3) 良好的化学安定性,能长期贮存,且不与弹头材料起化学作用;

(4) 合适的敏感度,枪弹的燃烧剂是靠击中目标时对燃烧剂的挤压而发火的。敏感度高则生产运输中不安全,射击时易产生飞行破裂。感度过低,则燃烧率低;

(5) 良好的工艺性,如制造容易,吸湿性小(吸湿性大的药粉易结块或粘附在工具上,影响装药量的准确性)。

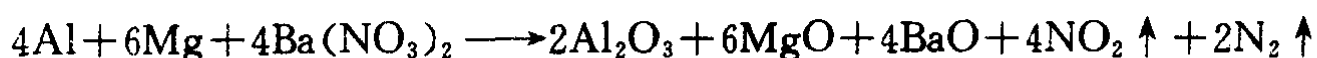
#### 2. 燃烧剂的组成

燃烧剂由可燃物和氧化剂两种药剂组成。可燃物常用铝镁合金粉,氧化剂常用硝酸钡,其分子式为  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 。

铝镁合金粉中含铝和镁各占一半,为灰白色,比重 2.15,熔点  $463^\circ\text{C}$ 。燃烧时放出大量热量,并可产生  $2000^\circ\text{C}$  的高温 and 炽热的熔渣。质脆,易磨成粉状。

硝酸钡为白色结晶,呈颗粒或粉状,熔点  $592.3^\circ\text{C}$ ,比重 3.2。化学安定性好,吸湿性小,在  $600^\circ\text{C}$  以上开始分解,放出大量氧气,供可燃物燃烧。

铝镁合金粉和硝酸钡燃烧的化学反应式为



按反应式计算，1 克铝镁合金粉完全燃烧需要硝酸钡 4.11 克，即氧化剂与燃烧物的重量比应是硝酸钡 80.4%，铝镁合金粉 19.6%。但实际上弹头内的燃烧剂不是在密闭条件下燃烧的，只要发火燃烧后弹头壳即破裂，铝镁合金粉可以靠空气供氧燃烧，因此燃烧剂中的氧化剂比例可以大大降低。但氧化剂含量降低，冲击感度也随之降低。

当前使用的燃烧剂配比见表 7—1。

表 7—1 各种燃烧剂的配比

| 种 类   | 硝酸钡/% | 铝镁合金粉/% | 使用弹种     |
|-------|-------|---------|----------|
| 混合燃烧剂 | 50    | 50      | 大、小口径特种弹 |
|       | 30    | 70      | 大、小口径特种弹 |
| 分层燃烧剂 | 40    | 60      | 14.5 特种弹 |
|       | 25    | 75      | 12.7 特种弹 |

分层燃烧剂是指氧化剂和可燃剂不混合，而是分开装入弹头壳内，这样装法的感度大为降低，因而便于机械化装药和安全生产。

3. 影响感度和燃烧的因素

(1) 氧化剂比例高，则发火感度高。

(2) 混合装药的感度比分层装药高。因为当氧化剂和可燃物混合在一起时有利于每个粒子同时点火燃烧。

(3) 可燃剂粒度小，则单位时间内燃点多、燃速快、火焰强。反之，则燃速慢、火焰弱，但燃烧时间长，对难点燃目标的引燃有利。氧化剂粒度细，则敏感度增加，但容易吸潮、结团、流散性差，影响装药计量的准确性。

不同装药对发火率、发火温度的影响的试验结果见表 7—2。

表 7—2 装药对比对发火率、发火温度的影响

| 装药配方         | 发火率/% | 发火温度/℃ | 燃烧率  |
|--------------|-------|--------|------|
| 5 : 5 混合装药   | 96.6  | 413    | —    |
| 3 : 7 混合装药   | 93.3  | 416    | 96.7 |
| 4 : 6 分层装药   | 66.6  | 421    | 97.2 |
| 25 : 75 分层装药 | 60    | 426    | 88.8 |

二、曳光管

曳光管是曳光弹的主要零件，曳光弹在飞行时曳光管内曳出火光，显示出弹头飞行的弹道。因此常用于修正射击（根据弹迹修正弹头与目标的偏差），指示目标，也可代替信号弹用。当然曳光弹也具有普通弹的杀伤作用，并具有一定的点火能力。

1. 对曳光剂的要求

(1) 火焰颜色应醒目、光亮。不论是白天或黑夜，在规定的距离内均应清晰可见。由于红色光对周围背景衬托力最好，故我国均采用显示红色的曳光剂。

(2) 点燃可靠、燃烧缓慢。开始燃烧的一段短时间内不显光，以免暴露射击位置。曳光剂是靠发射药点燃的，对曳光弹有一定的光程要求。

(3) 燃烧物的残渣多且不飞散。因为曳光弹在飞行时重量因曳光剂的燃烧而有所减轻，如残渣多而不飞散则可减少弹重变化的影响。

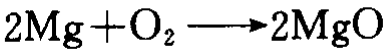
(4) 制造和压药工艺简单，如吸湿性小，流散性好，压药后有一定的强度。

2. 曳光管的构造与药剂的组成

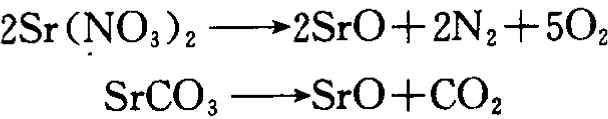
图 7-4 为某曳光弹的结构, 曳光管内的药剂有引燃剂、传火剂和曳光剂三种。发射药点着引燃剂, 由于曳光剂较难引燃, 故在引燃剂和曳光剂之间增加一个传火剂, 传火剂是按引燃剂和曳光剂的比例为 1 : 1, 1 : 3 或 3 : 7 混合而成的。引燃剂的表面制成凸凹的花纹, 以增加它与火药气体的接触面积, 引燃剂和曳光剂之间压成如图形状, 以增大传火面积。曳光剂分两次压制, 否则压不密实。

曳光剂和引燃剂都是由氧化剂、可燃剂和少量粘合剂按一定比例配制而成的。

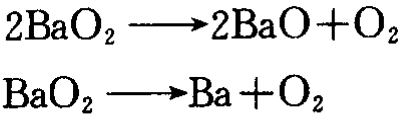
可燃剂常用镁粉或铝镁合金粉。它燃烧时产生持久的高温火焰, 不易熄灭, 且易于引燃, 燃烧时的反应式为



曳光剂中的氧化剂为硝酸锶、碳酸锶, 锶在燃烧时发出红色光, 使曳光弹显示出红色弹迹, 其分解反应式为

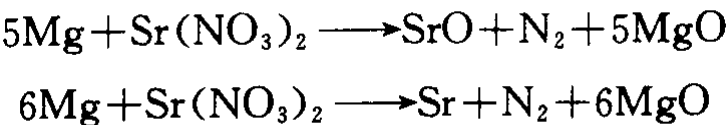


引燃剂中的氧化剂常用过氧化钡和硝酸钡, 这种强氧化剂可以提高对火焰的感度, 其分解反应为

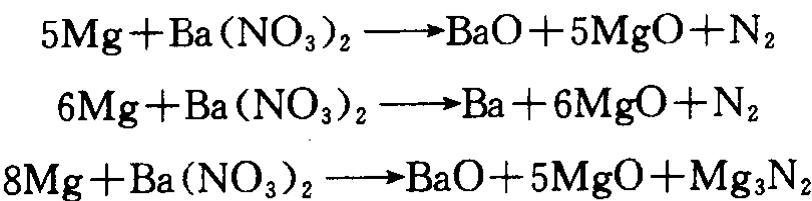


粘合剂的作用是提提高药剂的防潮能力, 增加压成的药柱的机械强度, 使燃烧时不会散落, 粘合剂还可以降低感度和燃烧速度。常用的粘合剂为酚醛树脂或松香。

镁粉与硝酸锶燃烧的化学反应式为



镁粉和硝酸钡燃烧的化学反应式为



曳光剂和引燃剂的配方见表 7-3 和 7-4。

表 7-3 曳光剂配方

| 药 剂 名 称 | 配 方 1 | 配 方 2 | 配 方 3 |
|---------|-------|-------|-------|
| 硝酸锶     | 61.5  | 54    | 54    |
| 碳酸锶     |       | 5     | 5     |
| 镁 粉     | 23    | 21    | 15    |
| 铝镁合金粉   | 6     |       | 6     |
| 聚氯乙烯    |       | 9     | 9     |
| 酚醛树脂    | 9.5   | 10    | 10    |
| 松 香     |       | 1     | 1     |

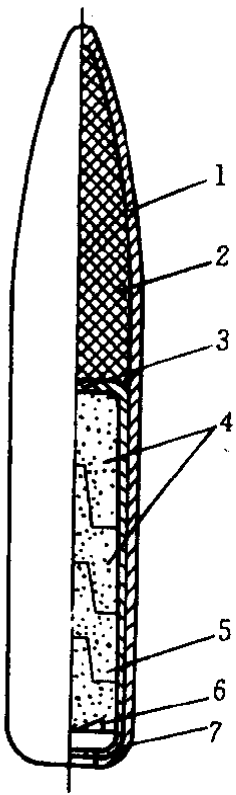


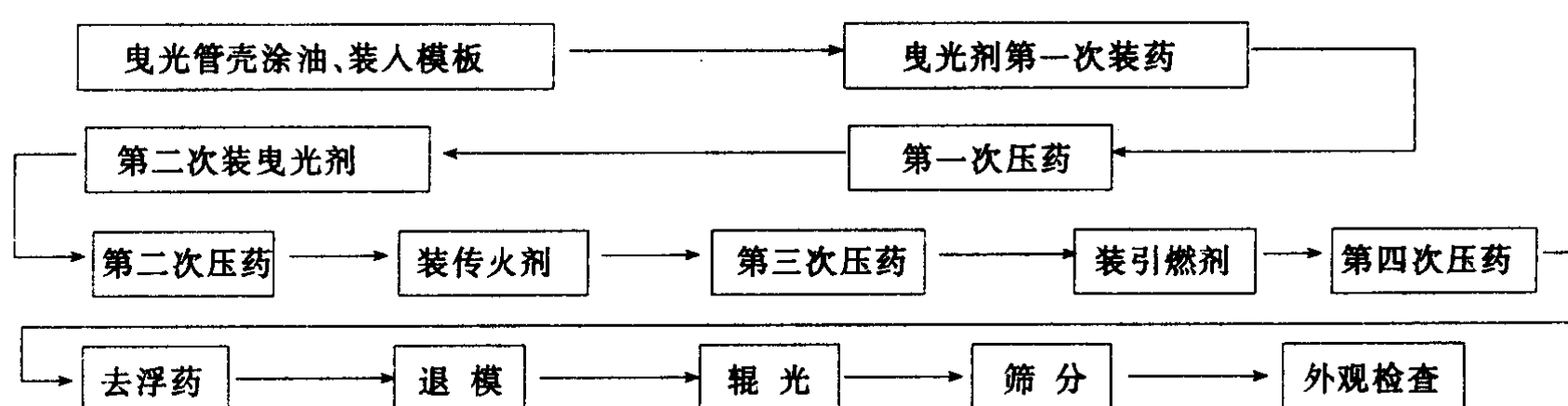
图 7-4 曳光弹结构  
1. 弹头壳; 2. 铅心;  
3. 曳光管; 4. 曳光剂;  
5. 传火剂; 6. 引燃剂;  
7. 垫环

表 7-4 引燃剂配方

| 药剂名称 | 配方 1 | 配方 2 |
|------|------|------|
| 过氧化钡 | 30   | 45   |
| 硝酸钡  | 48   | 32.5 |
| 镁粉   | 15   | 15.5 |
| 酚醛树脂 | 7    | 7    |

### 三、曳光管制造

曳光管制造属于火工作业，主要工序是装药和压药，采用组合式模具，即在一个模板上装入几十个曳光管壳，同时装药、压药，其工艺流程如下：



#### 1. 管壳涂油装板

在曳光管壳外表面涂一层薄机油，目的是便于压药后从模中退出。

#### 2. 装药

用体积定量法把各种药剂分别按规定重量同时装满在模板内每一个曳光管壳内。装药原理见下节。这是一项火工操作，为保证安全，操作间应进行隔离。

#### 3. 压药

压药主要是控制压药密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )，而压药密度主要靠压力机的总压力控制。压药密度过大，则会压“死”（点不着），过小则因药剂太松而在膛内即全部或部分燃尽，产生射击后无曳光、短光、枪口爆音或飞行破裂。

压药的单位压力至少应高于最大膛压，小口径枪弹的单位压药力一般在  $500\text{MPa}$  以上，而大口径枪弹则在  $800\text{MPa}$  以上。在精压机上压药则用压药后的高度来控制压药密度，而如用液压机压药，则用总压力控制压药密度。

#### 4. 其它工序

去浮药是指去除撒在模板上的药粉。

辊光是将曳光管装入布袋中，加入木屑或纸屑，在辊光机内隔离操作辊光 10 分钟，目的是除去粘附在管壳外的药粉和机油。

筛分是将曳光管与木屑、纸屑分离的操作。

外观检查是挑出药面过高、过低、破裂、胀底、有脏污和损伤的曳光管。

## § 7.3 弹头装配的主要工序

### 一、弹头壳内装燃烧剂

燃烧剂的装入量按质量（克）计量，但在实际生产中是以体积计量法实现装药的，因为这样易于实现自动化和高速度生产。体积定量法实现装药的原理见图 7-5。

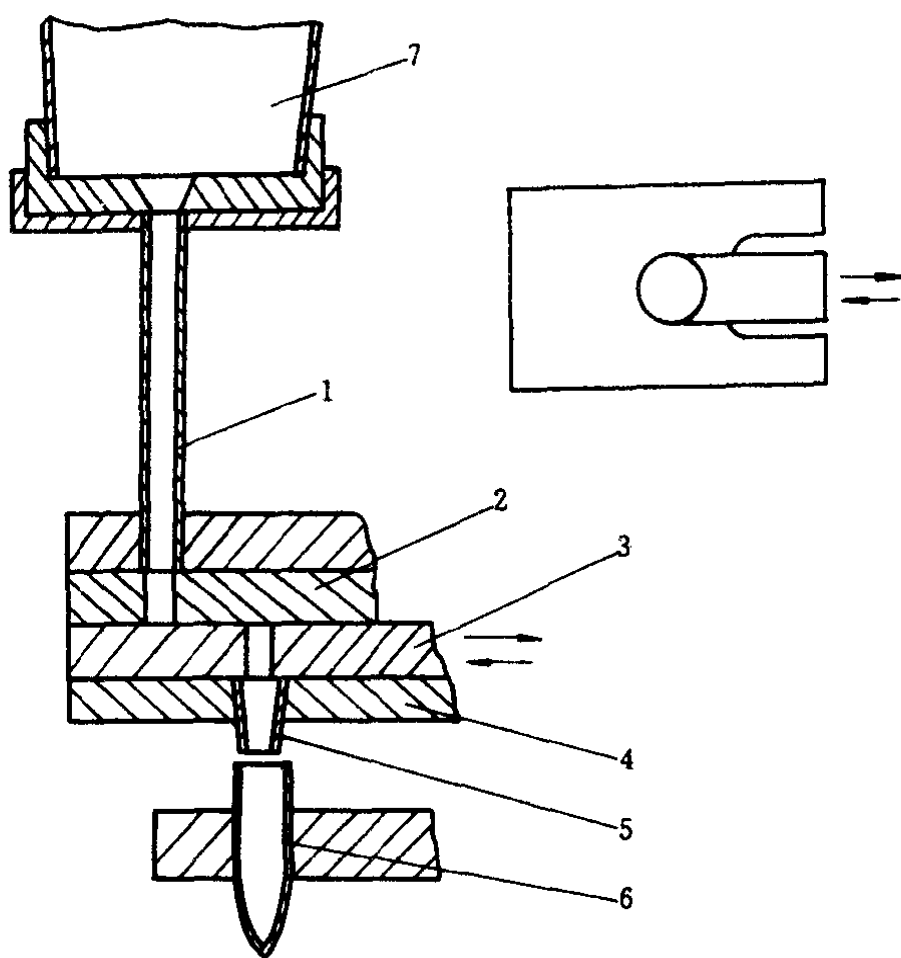


图 7-5 装药机原理

1. 下药管；2. 上盖板；3. 计量板；4. 下盖板；5. 下药咀；6. 弹头壳；7. 药罐

计量板 3 带一个定量孔，在上下盖板间移动。上盖板 2 上的孔与下药管 1 相通，下药管与盛药的罐相通，当计量板左移到孔与上盖板孔相重时，药剂即充满计量孔。计量板右移到孔与下盖板 4 的孔重合时，药剂即通过下药咀 5 落入下面的弹头壳内。改变装药量时可改变计量板的孔径或厚度。右图为微调孔面积的原理示意图。

由于是采用以体积定重量的装药法，因此药剂的假比重将是影响装药准确性的主要因素，而影响假比重的因素主要是药的粒度和药的流散性，硝酸钡易吸潮而结成团，使流散性变坏，影响计量准确性。所以装药工房规定温度不低于 16℃，相对湿度在 75% 以下。

这道工序应特别注意安全，例如经常清擦机床和计量部分，清除溢出的药剂，工具应用有色金属（导电性好）制造。

### 二、终压

终压是将弹心（带铅套的钢心）压紧在弹头壳内，使铅套的外形与弹头壳的内形相吻合，是一道控制弹头合装密实性的主要工序。对特种弹来说也是掌握燃烧剂压紧程度的工序，对燃烧率有一定的影响。

由于铅套与弹头壳的间隙极小，压入过程中会因空气未排出而在终压结束后弹心被弹出，

从而影响装配或打坏工具，为防止这种现象出现，可在终压的同时将尾锥也收成一定角度的锥形，以阻止钢心后退。

终压冲的形状如图 7-6 所示。由冲子和冲套组成，冲子用于压弹心，冲套用于收尾锥。其工作尺寸多凭经验确定：

$$d_1 = (1.3 \sim 1.4)d_z$$

$$d_2 = d_g - (0.85 \sim 0.12)$$

$$d_3 = d_z + (0.83 \sim 0.93)$$

$$h_1 > h$$

$$\alpha > 2\alpha_w \quad (\text{一般为 } 30 \sim 35^\circ)$$

式中  $d_z$ ——弹头圆柱部直径；

$d_g$ ——钢心直径；

$h$ ——弹心压入深度；

$\alpha_w$ ——弹头尾锥半角。

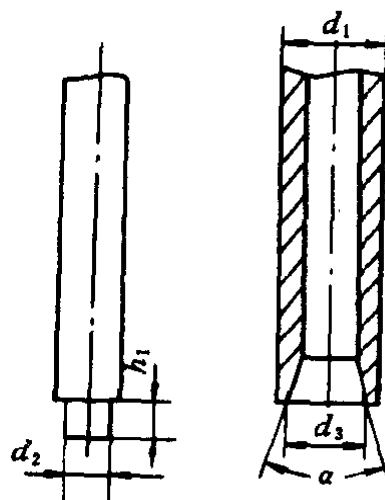


图 7-6 终压冲

弹头终压工序用的凹模的起弧点直径应比成型模大 0.02

~0.03mm，使弹头起弧点直径顺装配次序逐渐缩小，在成型模达到产品图要求的起弧点直径。为减少工具种类，终压凹模和卷边凹模可以用磨损了的成型凹模代用。

### 三、收尾锥

收尾锥应在凹模内进行，因为凹模有较长的与圆柱部直径相配合的圆柱部可作为收锥时的导向，使收出的锥形与圆柱部同心而不歪斜。

收尾锥的冲模形状见图 7-7。大口径弹头装配时收尾冲内还有退货冲，而小口径弹的收尾冲内无退货冲。

工作尺寸确定方法如下：

$$d_2 = (1.25 \sim 1.3)d_z$$

(对大口径弹)

$$d_2 \approx d_3 \approx d_z$$

(对小口径弹)

$$d_4 = d_z - (0.02 \sim 0.07)$$

$$\alpha = \alpha_w + (0 \sim 15')$$

$$h_1 = l_w$$

$$d_5 = d_4 - 2h_1 \tan \alpha$$

$$d_1 = (0.97 \sim 0.98)d_z$$

(对大口径弹)

小口径弹的  $d_1$  因  $d_2 \approx d_z$ ，故不能太大。

$h_2$  根据冲子与模子的配合和弹头全长确定。

式中  $d_z$ ——弹头圆柱部直径；

$\alpha_w$ ——弹头尾锥半角；

$l_w$ ——弹头尾锥长。

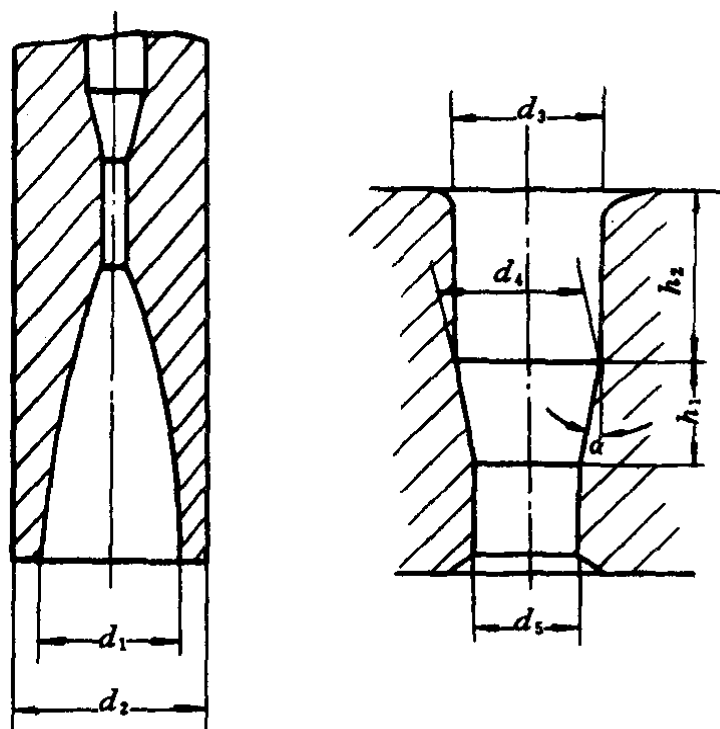


图 7-7 收尾锥冲子与凹模

#### 四、卷边

卷边变形是在冲子内进行的，其冲子形状如图 7-8 所示。小口径枪弹卷边冲内没有退货冲，因此无图中的退货冲孔。

卷边冲工作部分尺寸按下式计算：

$$\alpha = 2\alpha_w$$

$$d \approx d_z$$

$$r = (0.22 \sim 0.26)d_z$$

$$h = (1.1 \sim 1.2)l_w$$

式中符号  $d_z$ 、 $\alpha_w$ 、 $l_w$  的含意同前。

卷边模多使用磨损后的成型（平底）模。

#### 五、成型（平底）

成型工序是利用冲子把卷边部分的金属压平，并把圆角变小（故又称平底）。成型工序也是全弹头的外形校正工序，经平底后的工件，除紧口沟外，其余尺寸均应达到产品图尺寸，因此是弹头装配的重点工序。

成型工序的冲模见图 7-9，其工作尺寸按下式计算：

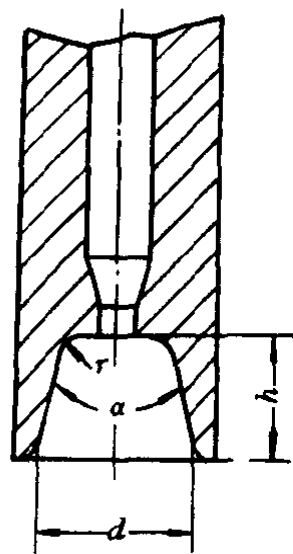


图 7-8 大口径弹卷边冲

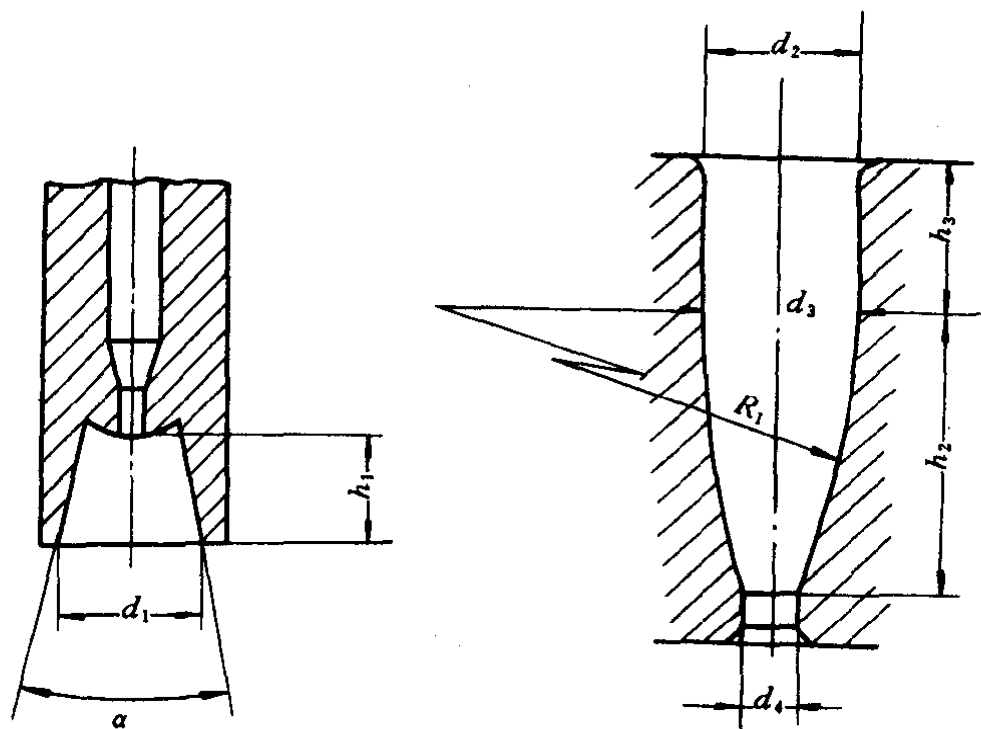


图 7-9 大口径弹成形用冲模

$$d_1 = d_z - 0.02$$

$$h_1 = l_w$$

$$\alpha = 2\alpha_w + (0 \sim 30')$$

$$d_3 = d_z - (0.01 \sim 0.02)$$

$$R_1 = R \quad (R \text{ 为弹头弧形半径})$$

$$h_3 = \frac{3}{4}l_z \quad (l_z \text{ 为圆柱部长度})$$

$$h_2 = \sqrt{R_1^2 - \left(R_1 - \frac{d_3 - d_4}{2}\right)^2} \quad (\text{当起弧点在弧形部基面上时})$$

$$h_2 = \sqrt{R_1^2 - \left( \sqrt{R_1^2 - \xi^2} - \frac{d_3 - d_4}{2} \right)^2} - \xi \quad (\xi \text{ 为起弧点向弧形部基面的下移量})$$

$$d_2 = d_z \pm (0 \sim 0.02)$$

$d_2$  过大，则成型后该处直径胀大量大，使过径时直径收缩量大，易造成尾锥弯斜。过小则退货力大，易引起缩尖。

成型冲内底面的形状根据弹头底面的形状而定，可以是弧形，也可以是平面。

小口径弹头合装的成型冲内无退货冲，成型凹模口部有套圈作冲子的导向（图 7-3），因此该套圈内径应与冲子外径相配合。

## 六、过径

过径操作是将弹头推过一个具有精确直径的凹模，使在弹头装配过程中圆柱部各部位出现的“箍”消除，弹头圆柱部直径尺寸更加精确。

图 7-10 为过径用冲模。其工作尺寸按以下方法确定：

$$D_1 = d_2 - (0.005 \sim 0.015)$$

$$H_1 = (0.5 \sim 0.8) L_2$$

$$\alpha = 40' \sim 1^\circ 20'$$

$$D_2 = d_2 + (0.05 \sim 0.08)$$

$$R_1 = 0.5$$

$$R_2 = 3 \sim 5$$

$$d_1 = D_1 - (0.05 \sim 0.07)$$

$$r = 0.3 \sim 0.5 \text{ 或 } 0.5 \times 45^\circ$$

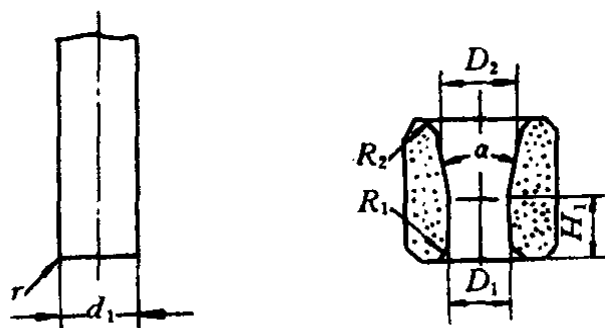


图 7-10 过径冲模

$D_1$  按 IT5~IT6 制造，并应控制其椭圆度。

## 七、辊沟

辊沟是制造紧口沟的工序。弹头上设计有紧口沟的目的是通过紧口工序（把弹壳口部金属压入紧口沟内）来提高拔弹力。

紧口沟的类型有图 7-11 所示的三种，其中带滚花的沟槽在弹道性能上无意义，只是在辊沟时辊沟刀易于带动弹头旋转。

紧口沟的位置都以弹尖到沟的距离表示，而不是以弹底面到沟的距离表示。因为这样可以保证在弹头压入弹壳时紧口沟与弹壳口部端面重合。如以弹底为基准则弹头长度公差将影响紧口沟与弹壳口部端面的距离。

辊沟是一种辊压加工，断面形状制成紧口沟形状的辊沟圆盘（又称辊沟刀）边自转边压向弹头，弹头即被压出沟槽，实现这种辊压可以有多种方式：

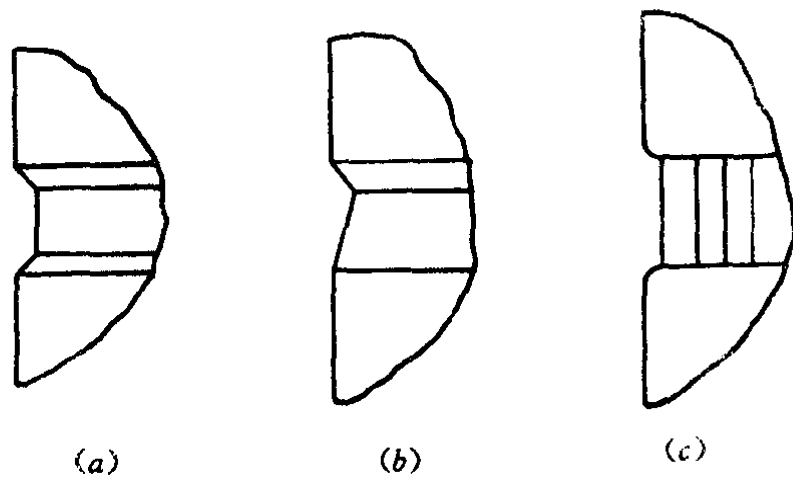


图 7-11 紧口沟的类型

(a) 梯形紧口沟；(b) 三角形紧口沟，  
(c) 带滚花的梯形紧口沟

(1) 利用辊沟圆盘和两个支撑辊轮进行单独辊沟：弹头圆柱部靠在两支撑辊间，辊沟圆盘自转并压向弹头，辊压成沟。支撑辊轮是通过弹头旋转的摩擦力转动的。这种辊沟方法的优点是辊沟精度好，缺点是机床传动系统复杂，支撑辊受力大，磨损大，生产率低（现在辊沟机已与弹头合装机联动，就不存在生产率低的缺点了）。

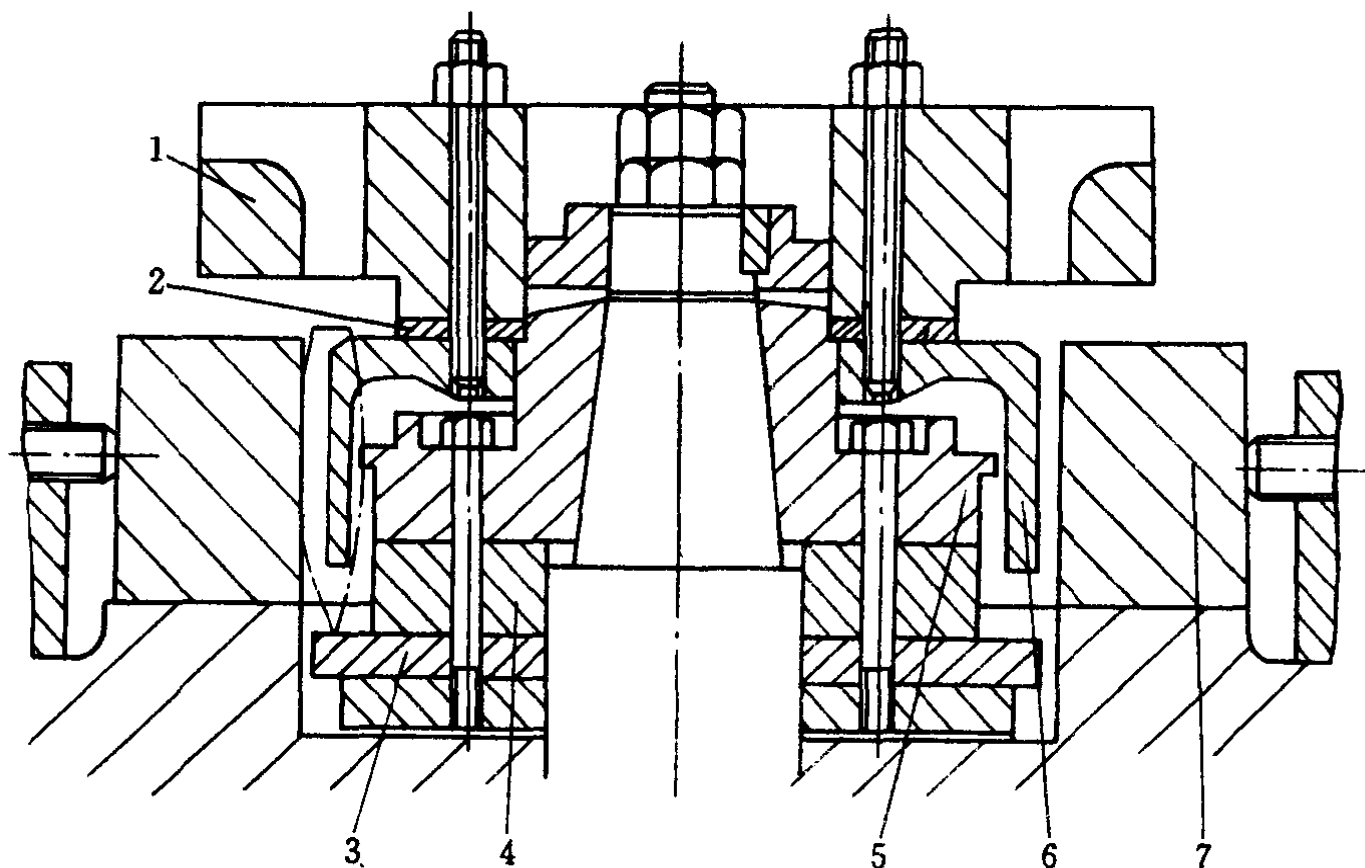


图 7-12 双排连续辊沟机原理

1. 下货盘；2. 垫圈；3. 定位盘；4. 垫板；5. 辊沟刀；6. 带动盘；7. 弯板

(2) 双排连续辊沟机（图 7-12）：弹头尖部朝下，通过下货盘 1 上的孔落在定位盘 3 上。带动盘 6 又称隔离盘，盘子有一周可容纳弹头的缺口，弹头落入隔离盘的孔内，支持并分隔开每个弹头，盘子转动时带动弹头绕带动盘轴旋转，辊沟刀 5 与弯板 7 之间的间隙逐渐缩小（可用螺钉调节），使辊沟刀一边旋转，一边压入弹头，弹头也因摩擦而产生自转。调节出口处间隙可以调节沟槽深度，调节（改变）垫片 4 厚度可改变沟槽至弹尖距离。该机是在对称位置处同时辊沟。该机的优点是：生产率高，因为是双排同时辊沟；机床传动装置简单，受力均匀，易磨损部分很小。

## 八、称量

弹头制造的一个特点就是不但要有尺寸要求，而且还要有质量要求，弹头质量是枪弹外弹道的一个重要指标。因此在生产中应称量每个弹头，称量的目的是：

(1) 剔出产品图规定的质量范围以外的不合格弹头（大质量弹头或小质量弹头）。

(2) 对质量合格的弹头进行质量分级处理。例如某大口径弹头，质量为 63~64.8g，公差较大，为进一步提高射击密集度，把弹头质量分为两极：63~64g 为小质量弹头，63.8~64.8g 为大质量弹头，并相应地增减发射药量。这样做固然提高了弹头射击密集度，但增加了生产管理上的难度。由于这种分级处理对密集度的提高是有限的，有的工厂把弹重控制在 63.2~64.8g，不分级，实践证明并不影响性能。

弹头称量是在专用的称量机上进行的，见图 7-13。

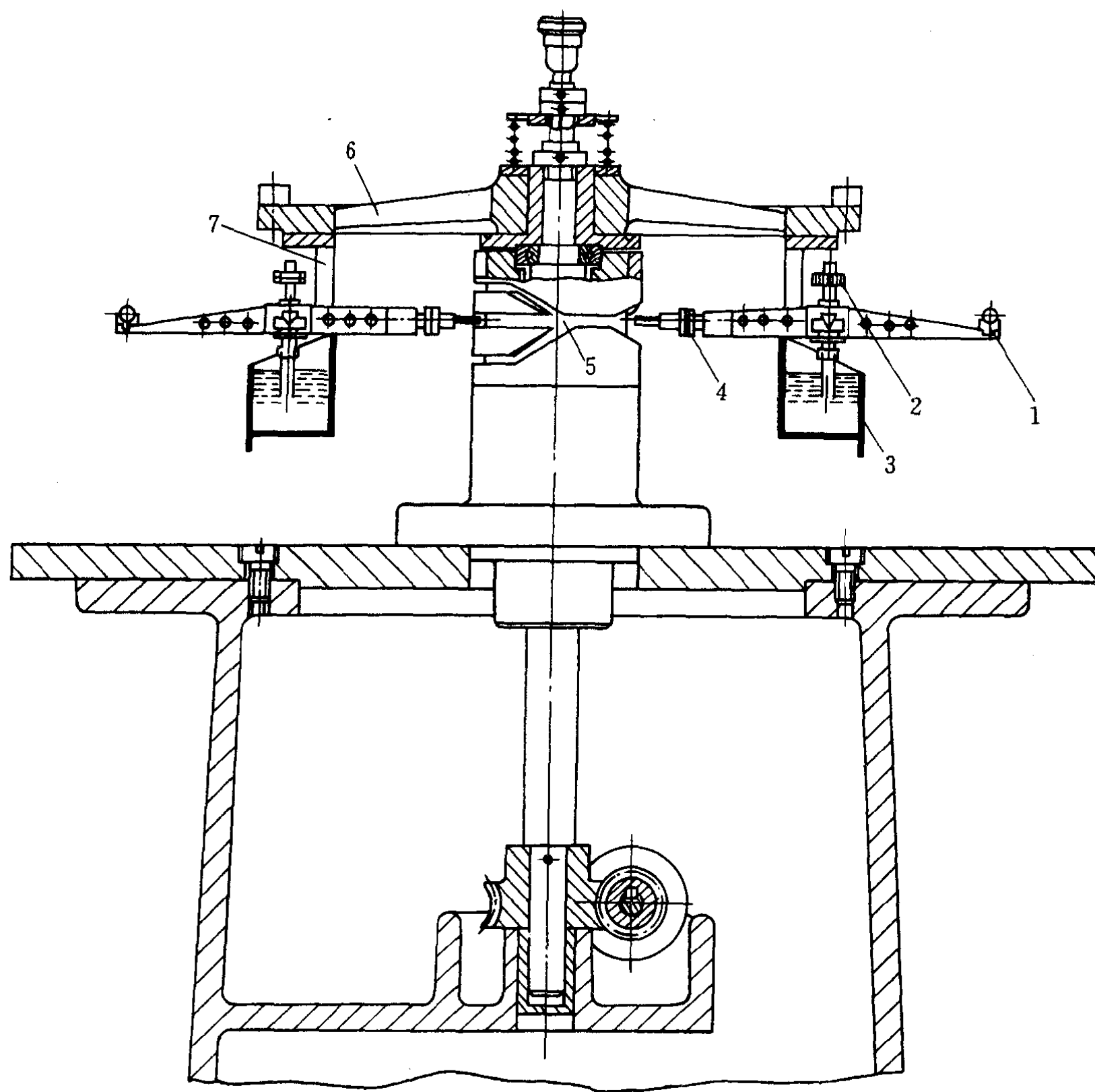


图 7-13 称量机工作原理

1. 容弹槽；2. 平衡重；3. 阻尼器；4. 平衡重；5. 凸轮槽；6. 转盘；7. 支架

转盘 6 上带有 8~24 个支架 7，8~24 个称杆以三棱刀支承在支架上，天平称杆的外端有容弹槽 1，内端有平衡重 4，借螺旋调节，使其与所规定的弹重相平衡。称杆的下面有阻尼器 3 固定在支架上，阻尼器内装油，阻尼片与称杆中心相联，当装弹和卸弹时由于有阻尼，使天平杆不至引起猛烈的摆动。阻尼器上的平衡重 2 可借螺纹调节，使其在垂直方向的重心也在称杆的中心，这时天平的灵敏度最高。

由于弹头重量不同，称杆的内端必定会出现高、中、低三个位置，即重弹、合格弹、轻弹三个位置，这三个位置通过凸轮槽 5 放大和固定。在外端的三个相应高度位置设置刮料器，高、中、低位置分别为轻弹头、合格弹头、重弹头。

天平的准确度检验是用标准弹重的样品在天秤杆上检验的。

## § 7.4 枪弹底火制造

枪弹底火的作用是点燃发射药，把弹头从膛内发射出去。枪弹对底火的引燃是通过击针对底火的撞击实现的。因此枪弹的底火实际上是起扩大能量的作用，使不大的冲击能量扩大为较大的点火能量，再扩大为巨大的发射能量。

### 一、对底火的要求

(1) 作用可靠。不允许瞎火，更不允许迟发火和早发火。前者会贻误战机。验收时只允许有万分之五的发生率，而后者则会伤害射手或损坏枪件，列为不允许疵病。

(2) 具有合适的感度。感度太小则在同样的冲击能量下发火可靠性差（称为钝感），感度太大则对冲击过于敏感，不安全。

(3) 具有良好的点火能力。要求底火燃烧时产生高温和一定压力的气体。火焰长，持续时间长，否则会产生迟发火。

(4) 使用安全，制造简便，长期储存性能稳定。

### 二、枪弹底火的构造

图 7-14 为我国常用的底火的构造。底火壳（通常用黄铜片冲压而成）内压入击发药，然后在击发药表面盖以锡箔，并在表面点以虫胶漆，以防击发药受潮。为使击发药装得牢固和防止击发药与底火壳、锡箔发生化学反应，在压药前底火壳内表面涂以虫胶漆，在盖锡箔前锡箔与击发药接触的一面也涂以虫胶漆。

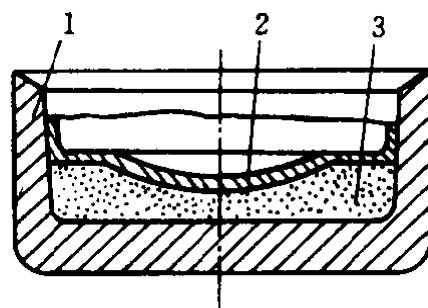


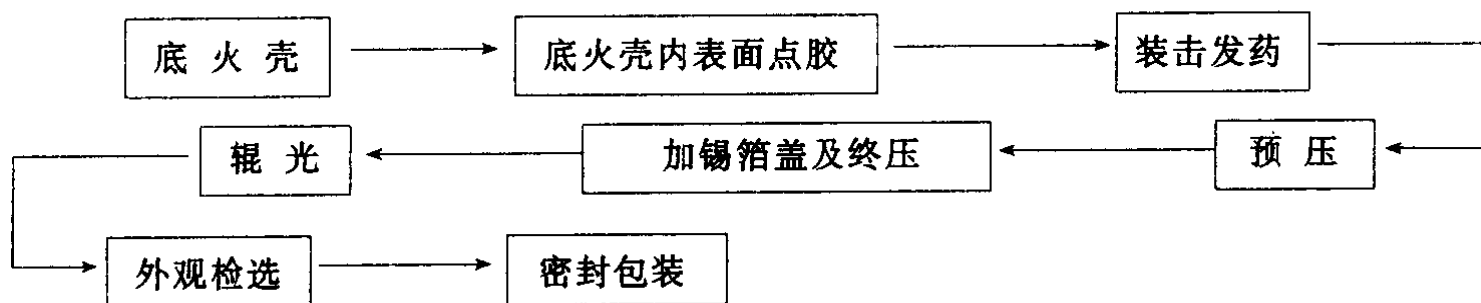
图 7-14 常用的底火构造

1. 底火壳；2. 锡箔盖；3. 击发药

击发药由起爆药、氧化剂和燃烧剂混合而成。传统的击发药以雷汞为起爆药，氯酸钾为氧化剂，硫化锑为燃烧剂。由于雷汞制造时对环境的污染以及这种击发药燃烧后对枪管产生锈蚀，故已逐步被新的无锈蚀击发药所替代。

### 三、底火制造过程

底火制造的工艺流程如下：



底火的制造是在多孔的模板内进行，一个模板可装 200 多个底火壳。

装击发药的原理与装燃烧剂相同，即采用体积定量法。因为击发药的危险性更大，故这些操作都是在专门设计的小房间内用机械手完成的，装药速度不宜太快。

装好击发药后应先进行预压。预压的目的是将药粉略加压紧，避免终压时粉末飞扬到周围，同时排除部分空气，防止终压后锡箔盖鼓起。预压前应使药面基本平整。预压可用手搬

压力机或其它低速压力机。

终压前必须把锡箔盖加在预压过的药粉上。用手工放入显然是不适宜的。锡箔片在清洗后一面刷上虫胶漆，烘干后放在与压药模板相同的下料模板上，刷漆的一面向下，利用橡皮下料方法把锡箔圆盖切入模板的每个模孔内（图 7-15）。压药时将此模板盖在压药板上，终压时压药冲将锡箔盖推下并压在药剂上。

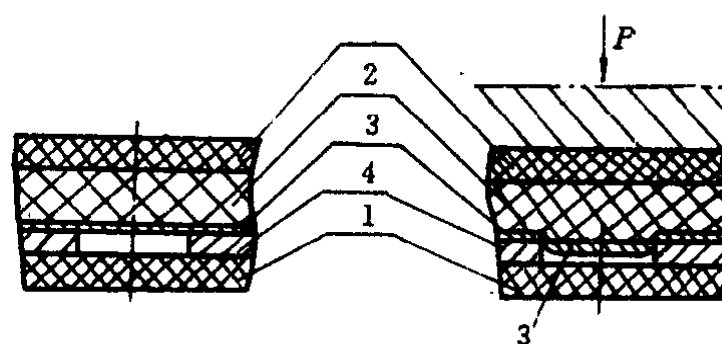


图 7-15 锡箔盖橡皮下料原理

1. 厚纸板；2. 橡皮板；3. 锡箔片；4. 下料模板

辊光的作用主要是去除底火壳表面的击发药粉末，这些粉末对底火壳会产生腐蚀或使之氧化变色。另外遇到摩擦和撞击也会发火。其次通过辊光也可剔除那些压力不足、锡箔盖不牢的底火。

底火的辊光用木屑作填料，它具有良好的吸附和摩擦作用。

#### 四、底火的检验

底火必须经过外观检验、尺寸检验、感度试验、受潮试验、震动试验（考验运输过程中的安全性）和射击试验（考核底火的撞击感度、点燃发射药的能力和底火壳强度）。其中感度试验又称落锤试验，是用一定重量的落锤顺导轨落下（获得一定的动能）通过击针打在上底火的弹壳底火上，改变落锤高度即可改变撞击动能，按技术条件规定，某一个高度（动能）时应 100% 不发火，某一高度时应 100% 发火。

### § 7.5 成弹装配工艺

成弹装配是将枪弹的全部零件（弹壳、发射药、底火）和部件（装配好的弹头）组合成一个整体，达到枪弹产品图所规定的最终尺寸和形状的工艺综合。

成弹装配直接影响产品的使用性能和长期储存性能，是枪弹制造中最后而又重要的工艺环节。成弹装配决定了枪弹的以下性能和数据。

（1）各零部件的相对位置：如底火压入弹壳底火室的深度（它直接影响枪弹的发火性能），弹头压入弹壳深度（它直接影响药室容积这个内弹道指标，也影响枪弹的全长）。

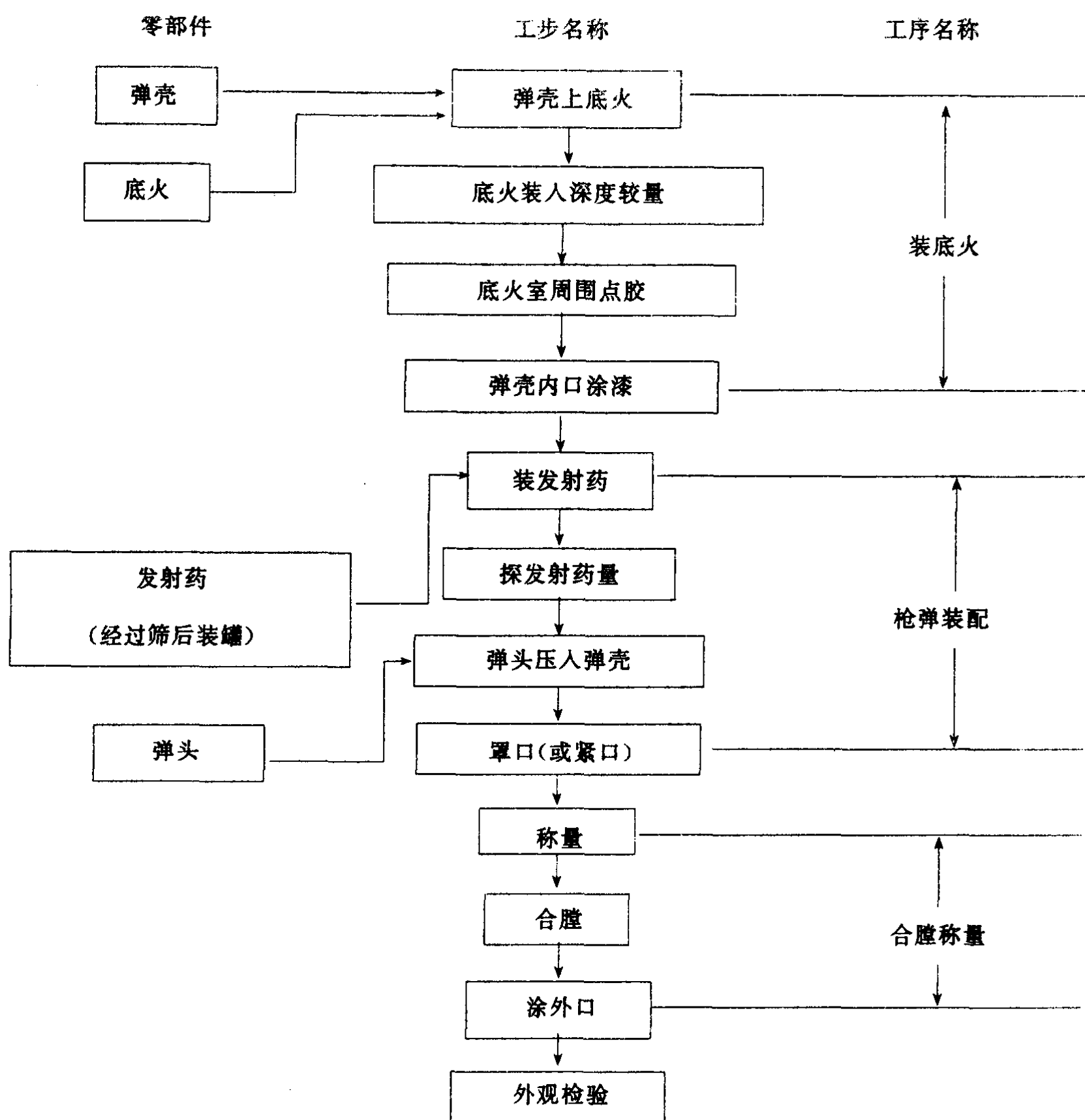
（2）确定了枪弹的合膛性能。

（3）装药量：这是影响初速和膛压的主要因素。

（4）拔弹力：整口、涂内口、紧口（罩口）都是影响拔弹力的工序。

（5）枪弹的密封性：涂内口、涂外口、底火周围点胶等工序都是提高枪弹本身（主要是对发射药和击发药）的密封性能的工序。

各种枪弹的成弹装配工艺各有不同，但要完成的工步都大致相同。现以小口径普通弹为例，以下列图表说明之。



## § 7.6 成弹装配的主要工序

成弹装配原来大多是一个机床上完成一个工序，因此工序数很多。由于工艺较稳定，故障率低，已将机床组合或联动，成为一个工序，组合情况略有不同。一般可分为装底火、枪弹装配和合膛、称量三个工序。

### 一、上底火

将底火压入弹壳底火室的工序（步）称为弹壳上底火。上底火和底火装入深度较量是上底火机的全部内容。合并工序后，把底火周围点胶和弹壳内口部涂漆（称涂内口，或内涂口）两道密封性工序组合在一起，总称为弹壳上底火。

底火压入底火室时在径向和轴向均有配合关系。轴向是以弹壳底平面为基准，底火壳外底面到弹壳底平面的距离即为底火压入深度。这个深度决定了弹壳底火台到底火药面表面的

间隙, 由于两者的均有公差, 因此这个间隙是在一范围内变动的。例如 7.62 步枪弹的底火压入深度为  $0.1 \sim 0.25\text{mm}$ , 弹壳的火台深度 (弹壳底平面到火台端面的距离) 为  $1.45^{+0.1}\text{mm}$ , 底火药面高度 (锡箔到底火壳外底面的距离) 为  $1.25_{-0.1}\text{mm}$ , 因此该间隙为  $0.05 \sim 0.3\text{mm}$ 。间隙小, 则感度增加, 间隙过小则药面被挤压变形, 有可能造成早发火或膛外炸等疵病。间隙过大则底火撞击感度变钝。

弹壳底火室与底火在径向是过盈配合, 一般过盈量为  $0.02 \sim 0.14\text{mm}$ 。例如 7.62 步枪弹底火室直径为  $5.41^{+0.05}\text{mm}$ , 底火外直径为  $5.55_{-0.05}\text{mm}$ , 其过盈量为  $0.04 \sim 0.14\text{mm}$ 。过盈量过小, 则在运输过程中会造成底火脱落, 或射击时底火漏烟和底火脱落; 过大的过盈量使底火压入困难, 甚至引起底火中药面破碎, 从而引起膛炸或瞎火等严重疵病。

上底火前应对底火进行外观检查, 剔除那些锡箔盖脱落、无击发药和严重擦伤的底火。

上底火工序的关键是合理选择定位基准。上底火机的动作一般是, 上底火凹模的一侧由送货冲把弹壳送到凹模的一侧, 弹壳与送货冲的支撑面即为定位面, 上底火冲从凹模的另一侧把底火压入弹壳底火室。由于两冲子的行程是固定的。因此定位部分的长度公差就直接构成底火压入深度公差。为了提高装配精度, 必须选择长度公差小的位置作定位面, 或者在工艺装置中设法抵偿由于定位误差引起的底火装入误差。

弹壳上可以作支撑的面都可以作定位面, 因此上底火可用口部端面、内底面、底缘平面和弹壳底平面作为定位面, 现介绍几种常用的弹壳上底火装置。

#### 1. 以弹壳底缘 (底槽切面) 定位装底火

如图 7-16 所示, 由送货冲 1 顶住弹壳的内底面将弹壳送到装底火模 3 左侧, 专门的挡板 2 卡在弹壳底槽切面内定位, 上底火冲 4 直接刚性地与机床滑块 5 联接, 底火由导管落入上底火模的开口槽中, 由上底火冲把底火推入底火室。

这种装置的定位基准是底缘, 因此底缘厚度公差直接决定着装入深度公差。所以这种方法适用于底火装入深度公差大于底缘厚度公差的弹壳。

#### 2. 以弹壳底平面定位装底火

如图 7-17 所示, 送货冲 1 将弹壳送至装底火模 2 的左侧 (弹壳定位部), 上底火冲 3 是通过弹簧 5 与机床滑块作弹性联接。上底火冲的两侧有两个对称的支耳 4 (详见图 7-19), 冲子工作端面至支耳端面的距离即为底火装入深度, 上底火时, 支耳端面压紧弹壳底面, 底厚公差引起的定位误差完全可以由弹簧来补偿。这时定位基准即为底面, 定位基准与测量基准重合, 底火压入的精度取决于底火冲制造精度。

这种方法精度高, 使用广, 用于 7.62 步枪弹。其缺点是工具形状复杂, 加工困难。

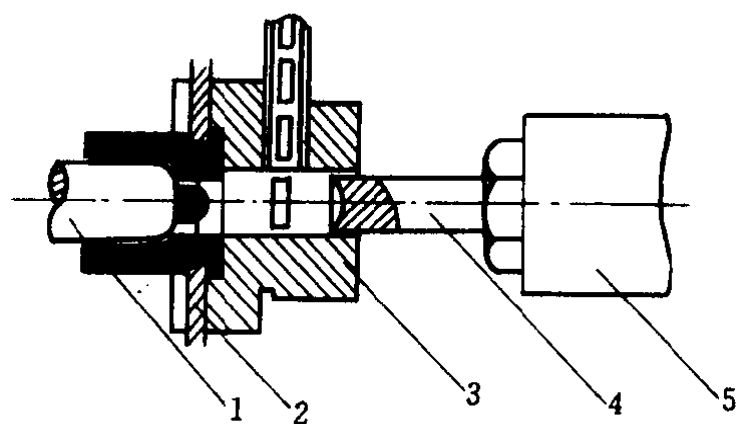


图 7-16 以底缘定位上底火

1. 送货冲; 2. 挡板; 3. 装底火模;  
4. 装底火冲; 5. 机床滑块

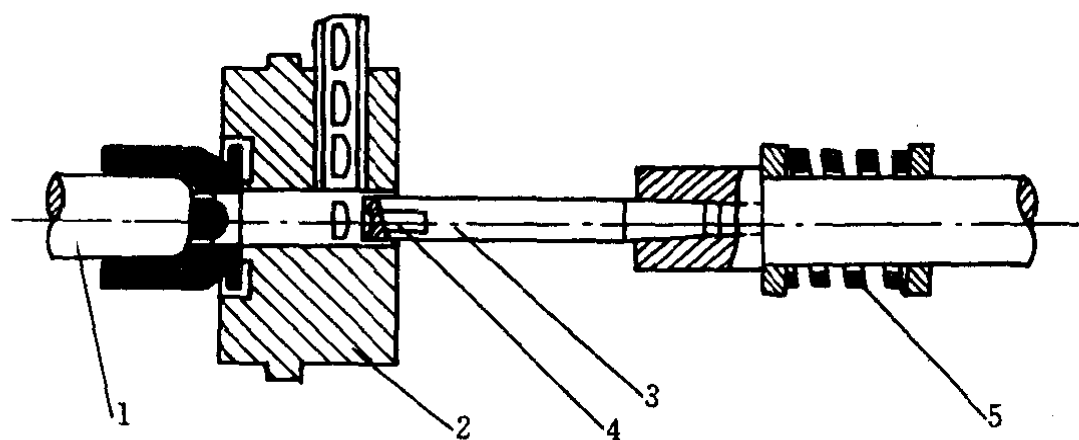


图 7-17 以弹壳底平面定位装底火

1. 送货冲; 2. 装底火模; 3. 装底火冲; 4. 上底火冲支耳; 5. 弹簧

### 3. 用套筒在弹壳底平面定位上底火

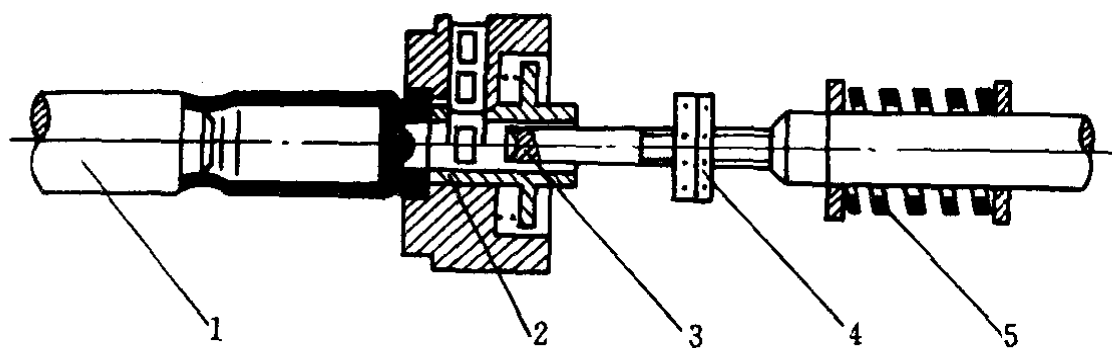


图 7-18 用套筒在弹壳底面定位上底火

1. 送货冲; 2. 套筒; 3. 上底火冲; 4. 调整螺母; 5. 弹簧

如图 7-18 所示, 送货冲 1 顶住弹壳的口部端面或内底面, 将弹壳送至上底火模内定中心, 上底火冲子 3 和套筒 2 一起左右移动 (有小弹簧复位), 调整两者的位置, 使调整螺母 4 和套筒端面靠紧时冲子伸出套筒另一端的长度正好是底火压入深度。冲子通过弹簧 5 与机床滑块成弹性联接。弹壳长度 (或底厚) 公差由弹簧 5 来补偿。

这种方法的精度较高, 且工具形状简单, 因此使用广。手枪弹和大口径枪弹采用此法上底火。

上底火冲结构如图 7-19 所示。工作端面为一球形凹面, 因为底火在压入后由于径向缩小 (过盈配合), 底面为球形, 底火冲的形状也应与底火吻合。一般  $R=15\sim40\text{mm}$ 。 $h$  即为底火压入深度。

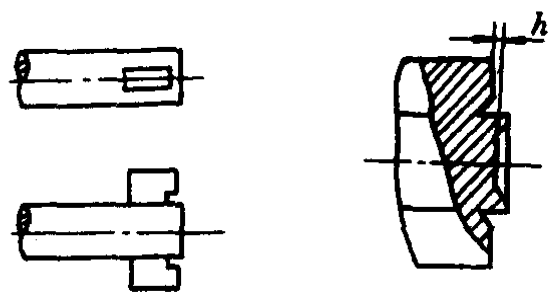


图 7-19 带支耳的装底火冲

上底火模的结构见图 7-20。其形状较为复杂, 1 为弹壳定位部, 弹壳在此凹槽内定位、定中心, 2 为底火进入槽, 底火由该槽内进入, 为了使底火有节奏地下落, 设有挡料块 3, 它上面的小短轴插入小孔 4 中, 当弹壳进入定位部 1 时, 挡块后退, 使一个底火落入上底火冲导引孔 5 的中心, 上底火时挡块向前, 阻止底火下落。

底火压入深度是个很重要的尺寸, 因此必须 100% 地进行检验, 剔出装入深度过大、过小

或未装底火的弹壳。有机械较量和电较量两种方法。机械较量原理与弹壳相同，电较量也是利用杠杆放大原理，杠杆上有触头，合格品时触头在中间位置，过深、过浅时触头即与左、右两侧的触点相碰，接通过深、过浅的电磁铁线路，把不合格品剔除。

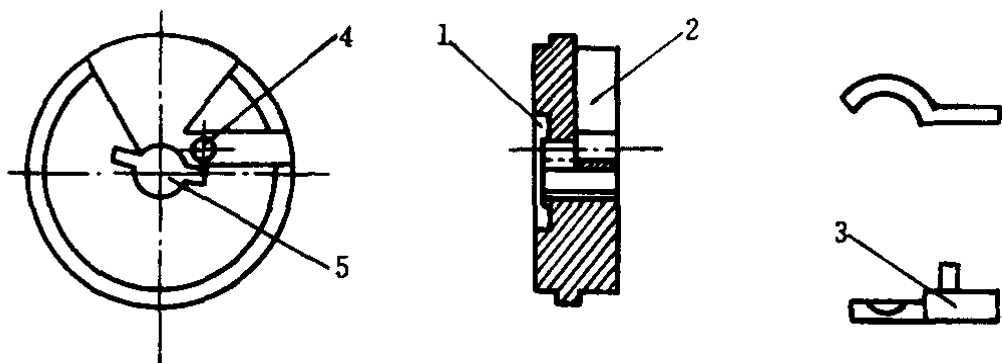


图 7-20 装底火模

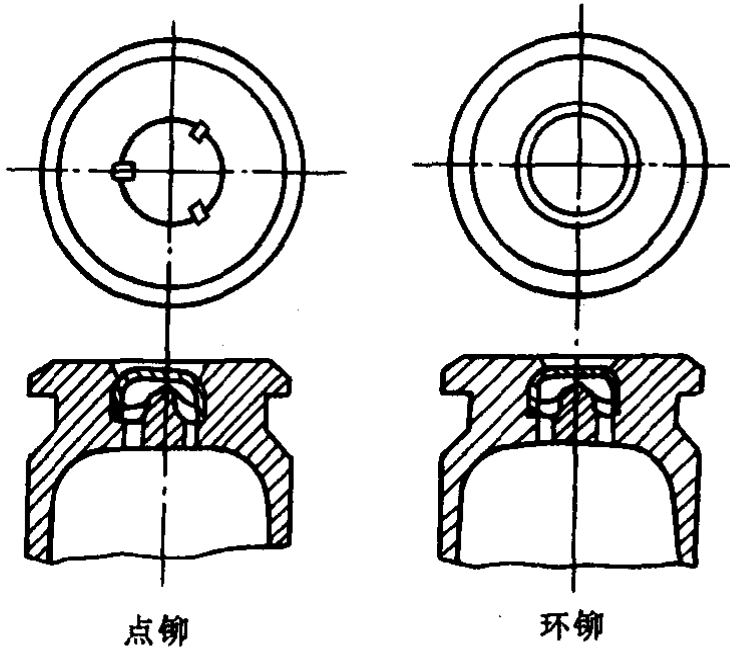


图 7-21 铆底火  
(a) 点铆；(b) 环铆

弹壳和底火配合的紧密度主要靠过盈量，当不允许用增加过盈量的方法来提高装配紧密度时，可用铆底火的方法。即将底火室周围的金属加以挤压，使它向中心流动。如果整个圆周都挤压，称为环铆，如果只挤压几个点（一般是 3~4 点），则称点铆，见图 7-21。

## 二、提高枪弹密封性能的工序

提高枪弹密封性的目的是防止在长期储存过程中发射药和底火吸湿（受潮）变质。其主要工序有弹头插入前在弹壳口内部涂密封漆，底火压入后在底火周围点胶和弹头压入弹壳后在弹壳口端面涂漆等三道工序。

### 1. 涂内口（又称内涂口）

涂内口是在弹壳口内壁涂一圈一定宽度的密封漆，在弹头插入后该漆充填在弹头与弹壳之间，起密封作用。漆圈宽为 2~4mm（对小口径枪弹）和 5~8mm（对大口径枪弹）。

对这种密封漆的要求是中性，无氯化物，对铜铁无腐蚀，具有良好的充填性、韧性和粘附力，在长期储存中不变质，此外还要射击后剩余物少。

我国采用沥青漆，以天然沥青为主要原料，配以蜂蜡和机油以起湿润和稳定拔弹力作用，机油是不易挥发的油脂，它和沥青混合后使沥青变得软而粘稠，在一般温度下不会凝成硬质固体。机油和蜂蜡的含量增加时漆变稀，拔弹力会下降，涂层表面干燥时间增加。二甲苯和

甲苯作为稀释剂加入，使油漆变稀，便于涂覆，但这些溶剂均有一定毒性，对操作工人健康有害，也可用 70 号航空汽油代替。

涂内口后必须停留一段时间，使漆层表面自然干燥，干燥时间以不粘附药粒为度，否则装药时漆层粘附药粒，影响装配。沥青漆的特点是温度越高挂流性越好，因此用烘干的方法来缩短干燥时间是行不通的，只有降低工房的湿度，加强通风，采取自然干燥方法。也正因为此原因，涂内口工序不能和枪弹装配工序联成一个机床。

最早的成弹装配工艺中没有涂内口工序，自从增加了此工序后，产生了一些现象：

(1) 拔弹力、初速、膛压有所下降：以 56 式 7.62 普通弹为例，采用涂内口后拔弹力下降约 6~7kg，初速下降 3~5m/s，膛压降低 10~20MPa，因此还应相应地调整装药量。

(2) 拔弹力变化较大：拔弹力首先受漆层干燥程度变化，如果以自然干燥时间表示干燥程度，则 56 式 7.62 覆铜钢弹壳的干燥时间与拔弹力的关系如表 7-5 所示。

表 7-5 干燥时间对拔弹力的影响 (kg)

| 干燥时间/h |    | 0.5   | 4    | 24   | 48   | 144  | 388 | 816  |
|--------|----|-------|------|------|------|------|-----|------|
| 拔弹力/kg | 最高 | 74    | 70   | 73   | 78   | 78   | 82  | 86   |
|        | 最低 | 45    | 54   | 48   | 64   | 65   | 66  | 70   |
|        | 平均 | 57.85 | 61.5 | 65.5 | 68.5 | 71.5 | 74  | 78.5 |

此外，随着温度升高拔弹力也有所下降。

(3) 由于密封性好，弹头压入弹壳后，药室内空气受压缩，在存放一段时间后弹头会向外伸出，据实测对 7.62 枪弹为 0.05~0.2mm，在弹头压入时应考虑到这个因素。

(4) 弹壳口部外径相应地增加二倍漆层厚度，影响合膛。

涂内口机的工作原理是这样的：大圆盘的外圈有许多孔，弹壳倒置在孔内，弹壳正下方设有涂内口冲，其内径比弹壳口部小 0.1~0.25mm，它可以自转，并能上下运动，涂内口冲通过密封圈直接埋在盛漆罐内轴向移动，冲子向上时带着漆插入弹壳内口壁部，进行涂漆，冲子向下时放置弹壳的大转盘旋转一个节距，新弹壳进入工作位置，而涂漆冲埋入漆罐。

2. 底火周围涂漆（简称底部点胶）

底火压入弹壳后在底火室与弹壳配合处涂漆的目的是对弹壳底部进一步密封，对特种弹也可利用漆的颜色作为弹种的识别标志。

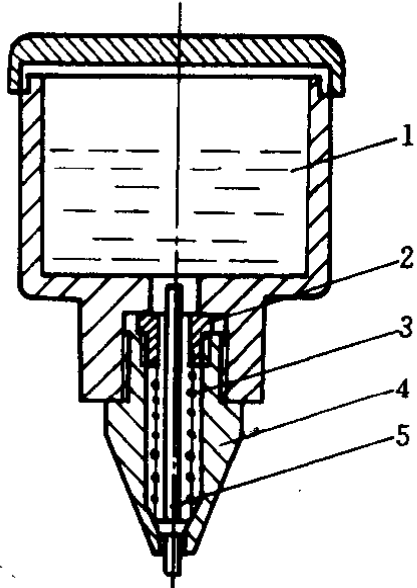


图 7-22 点胶壶

1. 胶液；2. 点胶壶盖；3. 弹簧；4. 点胶咀；5. 点胶冲

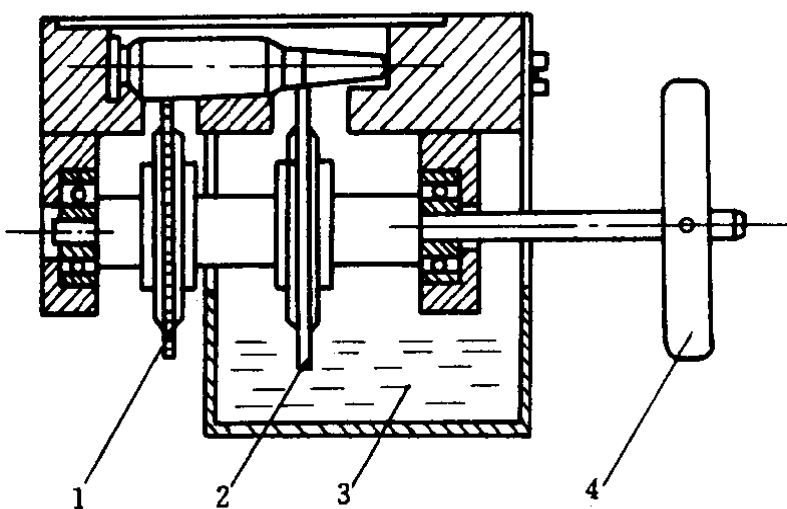


图 7-23 涂外口机工作原理

1. 转动轮；2. 涂口轮；3. 漆液；4. 皮带轮

底部点胶的漆应有强烈的粘附力，不变脆，射击后不产生残渣。常用硝棉漆，漆层的粘度不能太大，否则漆膜太厚，射击时漆膜末可能堵塞击针。

点胶有两种形式，即底火全部点胶和底火与底火室接触的周围点胶。图 7-22 用点胶壶点胶即为底火全部点胶。

点胶时点胶冲轻压底火，点胶冲 5 与点胶咀 4 间产生缝隙，胶液从缝隙流出，经冲子到底火。点胶冲离开底火时弹簧 3 使间隙封闭。

### 3. 涂外口（又称外涂口）

在弹头压入并紧（罩）口后在弹壳口端面附近涂上一层漆膜，此工序称为涂外口（又称外涂口）。

涂外口的目的是进一步密封弹头与弹壳的结合处，防止在涂内口不完整时形成密封性不足，与此同时，涂外口对覆铜钢弹壳口部端面的露钢也是一种防腐处理。

涂外口机的工作原理见图 7-23。枪弹支承在转动轮 1 和涂口轮 2 上，皮带轮 4 旋转带动转动轮和涂口轮旋转，枪弹也因摩擦而转动，涂口轮的下部浸在漆液 3 中，枪弹的口端面支承在涂口轮上，因此该处即涂上漆层。然后掉在旋转的丝杠上自然干燥（约 40~60s）。

涂外口用的漆与点胶相同。

## 三、枪弹装配

枪弹装配工序包括以下内容：发射药过筛和装罐、发射药装入带底火的弹壳内（简称装药）、装药量检查（简称探药量）、弹头压入弹壳、紧口（或罩口）等。以前还有弹壳整口（把冲子插入弹壳口部，使整形成圆，并使尺寸一致），由于有涂内口工序而取消了。装药、探药量、装弹头和罩口是在一台组合机床上完成的。

这道工序确定了装药量、药室容积和拔弹力等影响弹道性能的重要数据，并且还影响枪弹合膛性能，因此是重要工序。

### 1. 发射药过筛

由库房进入车间的成箱的发射药应严格地分清批号，并在去掉外包装箱的条件下，在规定温度下（16~34℃）保温 24h 以上，然后才能开箱，先检查发射药是否受潮变色，再用一定规格的铜筛进行过筛，过筛的目的是筛出混入药粒中的金属屑、砂粒、漆皮、橡皮、棉纱等杂质，过筛的过程也是发射药再次均匀混合的过程，要求每一批枪弹的装药性能均匀一致，所以发射药应尽量混合均匀。最后装入药罐中密闭，送至机床上装药用。

### 2. 装药

每批发射药都应该确定该批药对该弹种的装药量。装药量是按该批发射药的合格证所提供的数据由枪弹厂靶场根据产品图中的初速的中间值来配置的。

发射药重量的定量，都是用体积定量法，其原理与弹头壳内装燃烧剂相同。计量孔的孔径与高度之比为 1:3~1:4。结构上，计量孔应设计成径向可以微调的，以调节药量。并有凸轮振动装置，让药粒全部落下。

大口径枪弹的药粒大，采用体积定量法的误差较大，曾有过体积—重量法配重，即先用体积法量取比规定重量略少的发射药放在天平的称盘上，然后开动微量药添料盘，此盘能一粒粒地加入药粒直至到达规定重量为止。

### 3. 探药量

为了检验每发枪弹的装药量，在装药后有探药工步。探药是利用探药冲插入已装发射药的弹壳内，药量的多少由冲子下降的高低来反映，根据较量机的原理可以剔出装药量超过规定值的装药弹壳。在实际操作中要定时用标准重量的药量倒入弹壳来检验探药装置的准确性。

#### 4. 弹头压入弹壳

药装工步时弹壳已进入枪弹装配模。枪弹装配模的形状见图 7-24。

口部 1 是弹头和发射药进入弹壳的部位，因此做成大的弧形或锥形。

弹头导引部 2 是导引弹头进入弹壳的，其直径应比弹头最大直径大  $0.01\sim 0.05\text{mm}$ 。

罩口部 3 是导引部和弹壳部的过渡部分，它设计成  $15\sim 26^\circ$  的锥角，当枪弹被向上顶时，该锥面即将弹壳口部的金属压向紧口沟，完成罩口工步。罩口和压弹头是在两个工位上完成的。弹壳部 4 是容纳弹壳的，其直径比弹壳大  $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 。

弹头落入枪弹装配模的导引部，由压弹头冲把弹头压入弹壳。这道工序应特别注意全弹长度，如果压入过深，则枪弹全长变短，且药室容积变小，影响弹道性能。

弹壳在模内应有正确的定位。大部分枪弹是以斜肩定位的，由于斜肩高度（斜肩到底面的距离）存在公差，弹壳斜肩与模具斜肩处存在间隙，影响弹头正确装入。为此模子是弹性地固定在模座上，利用弹簧的伸缩补偿弹壳斜肩公差引起的间隙，使弹壳在模内自动定中心。

压弹头冲的内形应符合弹头产品图的上限尺寸，为防止冲子带货，内腔深度应为弧形部高度的  $1/3\sim 1/2$ 。冲子工作部外径应比枪弹装配模的弹头导引部直径小  $0.1\sim 0.25\text{mm}$ 。

弹头装配工序和发射药库的工房温度应在  $16\sim 34^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 75%，药库和装药工房的温度差不应大于  $5^\circ\text{C}$ 。

#### 四、紧口与罩口

对于拔弹力要求大，或利用弹头和弹壳的过盈配合还达不到所要求的拔弹力的枪弹，可以用紧口（或罩口）来进一步提高拔弹力。

紧口是将弹头紧口沟附近的弹壳口部金属直径缩小，卷向紧口沟内，抱住弹头，从而进一步提高拔弹力的操作（图 7-25）。

紧口是利用四把弧形的紧口刀 3 的径向移动来实现的。紧口刀 3 象冲床滑块一样在机座的滑槽内滑动，通过销子与连杆 2 相连，连杆的另一端与可旋转的松紧轮 1 相连，松紧轮由齿条 4 的左右移动实现正反转，使紧口刀往复径向移动，达到紧口的目的。

从弹头压入弹壳以后枪弹已是成弹，因此操作中应特别注意安全，尤其是送料机构，应防止前一发弹尚未退出而下一发弹又送进而导致枪弹被打响。送料冲的端面与底火相应的位置应开设凹槽，防止该处粘上杂物而顶响底火。

紧口力不宜过大，否则弹头变形，影响射击密集度。

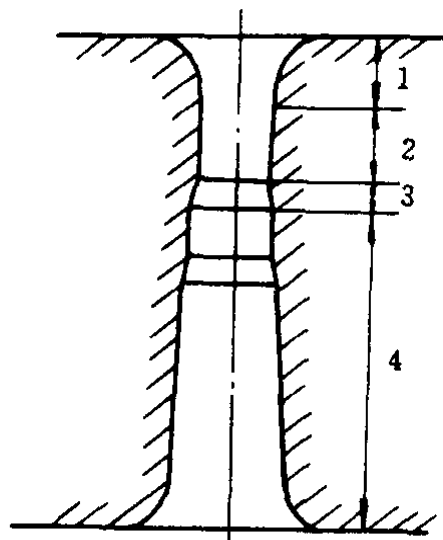


图 7-24 枪弹装配模

1. 口部；2. 弹头导引部；  
3. 罩口部；4. 弹壳部

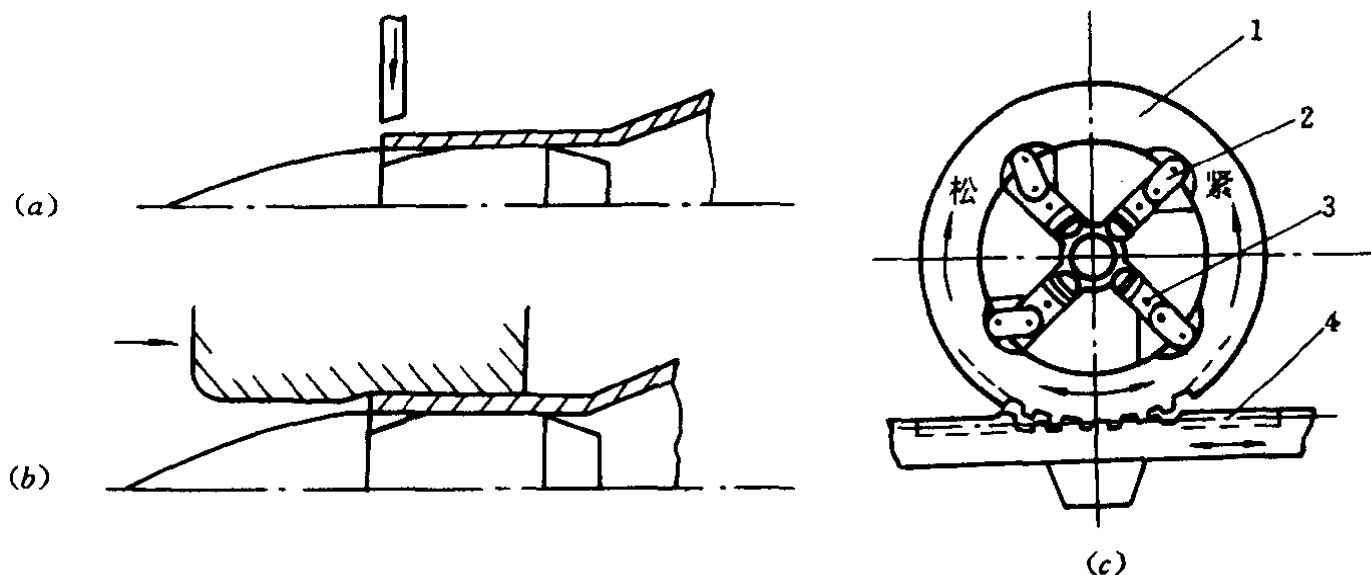


图 7-25 紧口与罩口

(a) 紧口; (b) 罩口; (c) 紧口机原理

1. 松紧轮; 2. 连杆; 3. 紧口刀; 4. 齿条

手枪弹由于拔弹力要求不高，弹头上也没有设计紧口沟，提高拔弹力是用点铆法，即在弹壳口部均匀的向中心铆三点（即压三个小坑）。

罩口是对紧口工序的改进，利用枪弹装配模上相应位置上的斜锥（图 7-24 中的 3），当枪弹转到罩口工位时，凸轮将枪弹向上顶，口部收小直径，实现罩口。罩口是在枪弹装配机上完成的，和紧口相比省去一道工序和设备。大口径枪弹的罩口是单独进行的。

## 五、称量与合膛

成弹装配完毕的枪弹还需 100% 地进行称量，其目的是剔出不符合规定质量的枪弹，如未装发射药或装药过少的枪弹，药中混有铁屑、棉纱等杂物的枪弹，弹头零件不全而造成过轻的枪弹。

称量机的原理同前。由于这些弹的弹重变化不大，为确保上述可疑的枪弹能被剔出，生产中将产品中规定的质量公差缩小 20% 来调整称量机。为保证称量机的精度，规定枪弹在称杆上旋转的线速度不大于 3m/s。工作地的温度不应低于 15℃，否则因温度降低，阻尼油的粘度增大，称杆灵敏度降低。

成弹装配完毕的枪弹也必须 100% 地进行合膛检验，其目的是检查枪弹全长的长、短和全形过大（径向尺寸过大），检查枪弹各部分的同心度，保证枪弹能顺利地进入弹膛并可可靠的闭锁。

枪弹合膛的工作原理和较量机原理相同，也有机械法和电测法两种。

为使枪弹合膛情况与实际枪中进膛条件更符合，较量全形的送货冲与滑块之间通过弹簧呈弹性联接，工作时送货冲对枪弹的推力不大于 5 公斤（对 7.62 枪弹）。合膛模应做得较厚，头部封闭，以免一旦打响时伤人。

## 六、安全问题

成弹装配车间有药库和底火库，又有火工作业，因此安全问题不容忽视。可以列举以下一些具体规定。

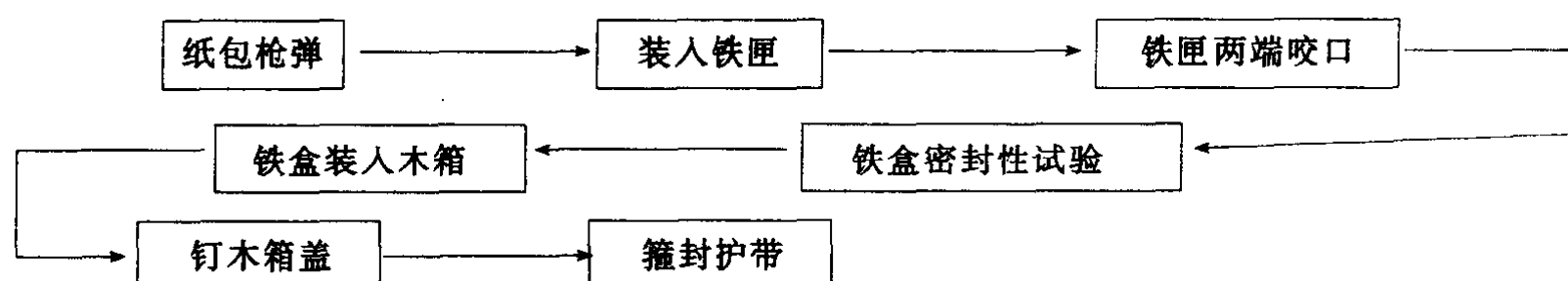
进入工房的人员不准穿带钉子的鞋，不准携带易燃易爆物品。工作台和机床应保持整洁，经常用软毛刷将散落的击发药粉、发射药粒扫入水中，并用毛巾蘸酒精或水擦拭。底火库的

底火最大存放量应有限制。下班时应将机床上未用完的底火收回库房存放。机床上和检选中挑出的底火要集中存放，定期销毁。工房应按火工品生产要求设计，天棚、地板和墙壁均有规定。

## 七、枪弹包装简介

枪弹包装是枪弹生产的最后环节，通常都是与装配车间连在一起的，枪弹包装虽然不直接对枪弹性能产生影响，但它对储存、运输和使用的影响很大。例如，木箱手把断裂会给搬运和仓库中的堆垛造成困难；铁匣防腐性不好会影响枪弹的长期存放；标记不清或数量不准会给使用和管理造成混乱。

枪弹的包装顺序是，先用纸包装枪弹，若干个纸包装满一只铁盒，铁盒再装入木箱，因此小口径枪弹的包装工艺过程大致是：



纸包枪弹是按用户要求而定，有直接纸包的，如 7.62 步枪弹为 25 发一个纸包，7.62 手枪弹则 70 发弹装入一个纸盒，也有上弹夹后再纸包（弹夹是提高枪械上弹速度的一个步枪弹专用附件）。由于纸直接与枪弹接触，因此要求纸是中性的，其氯化物含量不大于 0.003%。水分不大于 9%，因此要求纸烘干后包装。

铁盒用 0.5mm 厚的镀锌铁皮以双层咬合工艺制成（图 7-26），盒体用焊缝结合，盒盖用咬合。应使用中性焊剂，盒内要求中性，氯化物含量同包装纸。

铁盒应具有良好的密封性，密封性试验是在上盖扎一小孔，注入盒内一定气压（一般内外压力差不小于 0.25 大气压），铁盒置于水中或结合部位涂肥皂液，观察是否有冒气泡（漏气）情况。然后擦干盒子，把孔焊死。

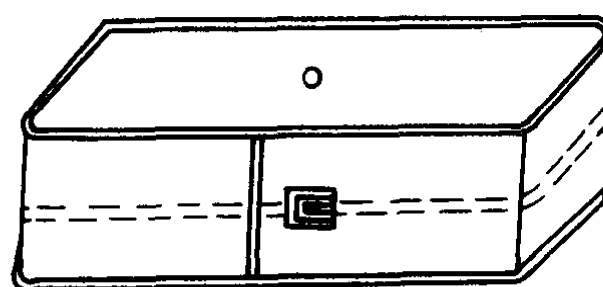


图 7-26 枪弹包装铁盒

纸包装在铁盒内不得晃动。

木箱是外包装，保护内包装不受机械损伤，便于搬用和便于堆垛。要求铁盒装入木箱后不得晃动。

护带是对钉箱后的木箱进行加固，封扣是起签封作用。

枪弹的铁盒和木箱均应刷上标志，这个标志应保密而又便于识别，美观而不退色，不被雨水洗掉。其作用是，便于按批使用，便于对枪弹出现质量问题时查找原因，按同一批枪弹性能相同的原则处理，也便于找生产工厂修复。

枪弹在生产中弹壳底面压上了生产年月和生产厂代号，在弹尖着色标记着枪弹弹种。而在铁盒和木箱上还应刷上标记，包括枪弹名称，弹壳类别（覆铜弹壳、涂漆弹壳），包装数量和重量，发射药规格，制造厂标和批号，弹种等。

# 第八章 枪弹药筒验收与主要质量问题分析

## § 8.1 枪弹的验收

### 一、枪弹编批

枪弹生产的批量大，流水性强，为了及时发现生产中的质量问题，防止质量事故产生，也便于组织生产、修复、检验、运输和库房管理；对装配完的枪弹必须按发射药的品号和批号，按生产的顺序进行分批管理。

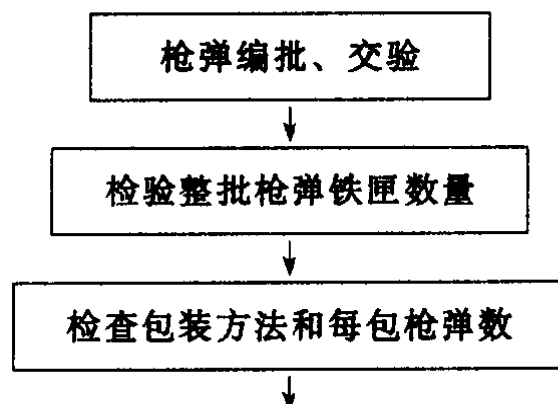
每批枪弹的数量与枪弹的口径，弹种有关。每批枪弹的数量太少，会增多试弹的消耗，造成不必要的浪费；如果数量太大，则不容易反映该批枪弹的质量情况。每批枪弹的数量均应固定，可根据生产中质量稳定的情况和上级的规定来确定。每批枪弹的装箱数应为整百数或整十数。

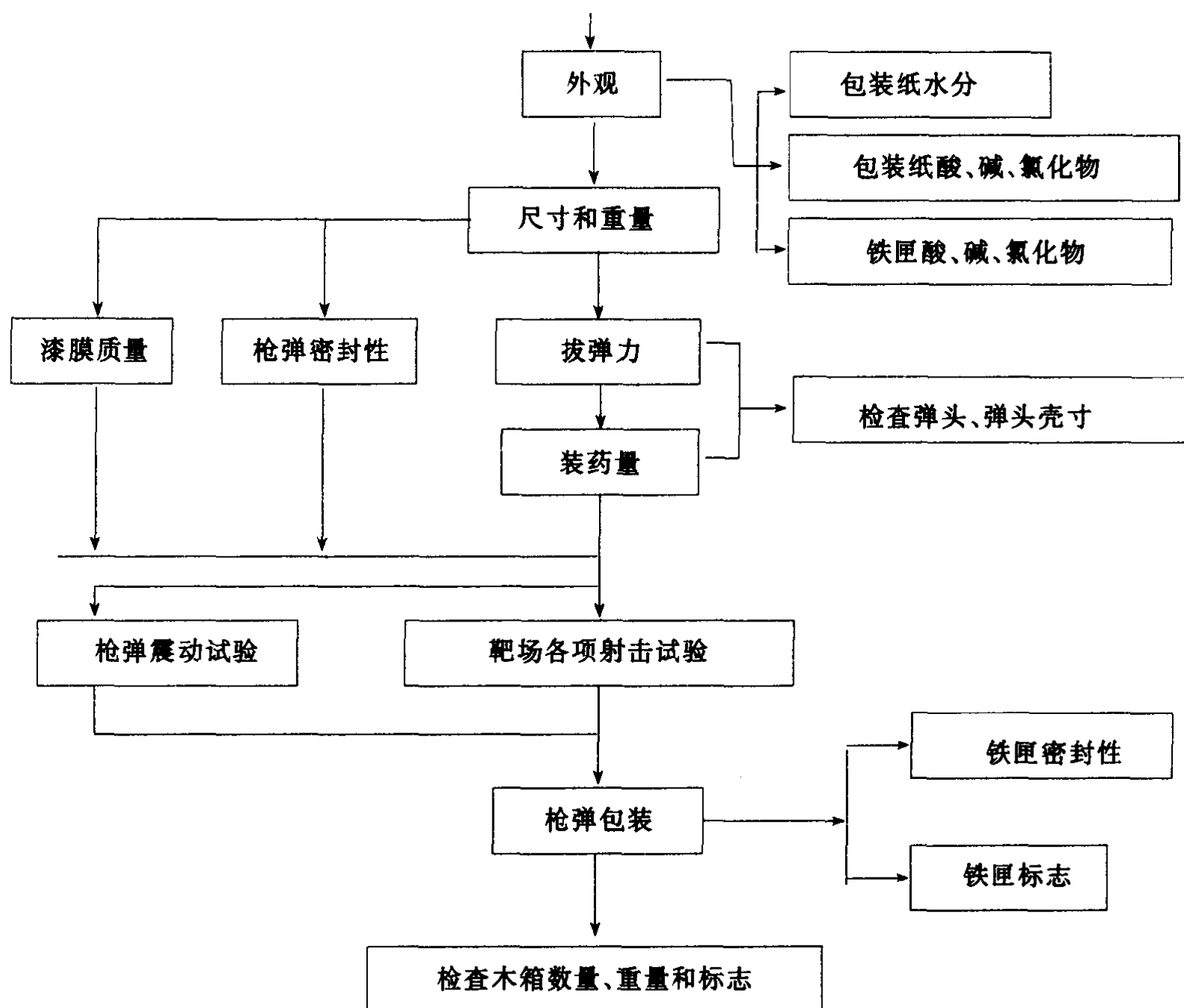
每批枪弹应装以同一品号和批号的发射药。当换用另一批发射药时，允许一批弹同时装有换用前后的两批发射药，但必须明显分清，并集中存放，对各批发射药所装配的枪弹要分批检验装药量和各项射击试验。为了减少试验消耗，如果按发射药批号所装配的枪弹不足固定批量的三分之一时，可先并入同批发射药所装配的前一批（或后一批）枪弹中验收，合格后再编入本批枪弹内。如果在生产中需改变装药量（不改变发射药批号）也参照此规定办理，但射击项目只分别作弹道性能试验。

### 二、枪弹验收过程

枪弹验收时要进行各种检验，每批枪弹的检验项目很多，但可以分为两大类，即枪弹本身质量的检验和包装质量的检验。枪弹本身质量检验包括枪弹的外观、尺寸、拔弹力、装药量、密封性、漆膜质量和靶场的各项射击试验等。是在枪弹装入包装铁匣但尚未封盖的状态下抽取试验枪弹的。包装质量包括包装数量、标志及铁匣密封性等。

枪弹验收过程大致如下：





### 三、枪弹检验

#### 1. 枪弹外观检验

根据批量大小，抽取数量的 0.5~1% 用目测法进行外观检验。枪弹的外观疵病分为四类，即不允许的疵病、严重疵病、一般疵病和轻微疵病。

(1) 不允许的疵病：凡是严重影响枪弹战术技术性能和长期贮存的各种外观疵病均作为“不允许的疵病”。例如未装底火，底火反装，底火脱落、松动、损坏和有裂缝，弹壳穿孔或裂缝（但口部允许有裂缝），发射药中有油脂物或过重的杂质，涂漆弹壳外表面无漆，枪弹中混有各种非战斗用弹（如高压弹、强装药弹、空包弹、教练弹等）等等。在检验中如发现这类不允许的疵病的枪弹，则该批枪弹必须重新进行外观检选。

(2) 严重疵病：凡外观不符合产品图，局部带有影响枪弹长期贮存的外观疵病，枪弹的基层金属虽有疵病但不致影响枪弹使用的安全的外观疵病均列为“严重疵病”。例如枪弹中混有同类型的其它种类的战斗用弹（如生产曳光弹时混有同型号的普通弹），枪弹局部未涂防腐漆或密封漆（底槽、弹壳口部与弹头联结处、弹壳底火室周围与底火联结处），传火孔数量不正确（多孔或少孔），局部有锈迹，装药中有杂质，深线痕，深皱折，较大的夹灰，小的裂纹和裂缝等等。对于这些疵病应分别按其影响程度确定一个允许的百分比，在验收的检验中如发现某种严重疵病超出允许的百分比，则应取加倍数量的枪弹进行复验。两次合计，各种疵病均不应超过允许的百分比。

(3) 一般疵病：凡由于材料、操作或运输等原因引起的加工过程中发生的一些外观疵病，

经实践证明，不影响枪弹的基本性能者均列为“一般疵病”。例如弹头底窝部和弹壳口部的裂缝、夹灰、缺口、皱折、线痕、压痕、凹痕、麻点、露钢、油渍、水渍、汗渍、斑点、变色（但金属表面上的锈蚀，如钢层上的红锈，铜层表面的绿锈应列为严重疵病），涂漆时弹壳外表面无漆或漆层不良等等。对于这些疵病，应建立疵病标本，疵病严重程度不超过标本者为合格。否则即为不合格。

（4）轻微疵病：对于既不影响产品图又不影响产品性能，又是加工过程中不能控制的外观现象均列入轻微疵病。如在枪弹全长合格和拔弹力合格条件下弹头的紧口槽全部露出或全部不露出，拔弹后弹头底部粘有个别药粒，但其余装药能全部倒出并不结团。轻微疵病在验收时可以作为合格品，且无比例限制。

在外观检验中如一发枪弹上同时具有几种不同的外观疵病时，应按疵病的项目分别统计。如果有某种疵病超出了允许的标本，则可根据其数量多少，超出的程度，对使用的影响等具体情况决定是复验、加倍数量复验还是返工后重新检验。

## 2. 枪弹的尺寸与质量检验

这里的尺寸主要是指枪弹的全长、全形、弹壳体部高度和底火装入深度。这些尺寸对枪弹的使用影响较大。例如过长的枪弹会影响正常供弹，全形过大会影响枪弹进膛，弹壳体部过短会产生射击时弹壳横向断裂，底火装入深度会影响枪弹发火性能。根据需要还可以增加弹壳底槽直径，底缘厚度和直径，弹头弧形部高度等检验项目。

尺寸是用专门的量具逐个检验的，质量是用精确度为千分之一克的工业天平逐个称量。检验数量为0.2~1%，随批量的大小而定。

考虑到制造过程中可能产生的偏差，尺寸和质量均规定了一个允许的偏差范围和在这个范围内允许的百分率。这个允许偏差是根据枪械条件，使用性能及制造中可能产生的偏差，通过试验而决定的。

检验枪弹质量时如果出现不合格，则可进行拔弹后分别检查弹头、带底火弹壳和发射药的质量，若三者均在合格范围内，则枪弹质量算是合格的。如果某项尺寸偏差超过了允许的百分率，则对该项尺寸进行加倍复验，两次合计不应该超过允许值。

## 3. 拔弹力检验

拔弹力是指弹头从弹壳内拔出所需的力，是衡量弹头与弹壳结合牢固程度的指标。过低的拔弹力会在运输中引起弹头松动或脱落，在机枪输弹过程中引起弹头脱落。拔弹力也是影响枪弹的初速、膛压的一个因素。

拔弹力是在专用的拔弹机上测定的。拔弹机根据杠杆原理设计（图8-1）。杠杆的一头挂有已知质量为 $W$ 的重砣9，枪弹弹头通过专用夹具7夹紧，夹具7与挂钩3相联，挂钩3即为杠杆的另一端，弹壳的底槽嵌入卡座8中，卡座8与升降螺4相连，摇动手轮6使升降螺杆向下，杠杆逆时针旋转，重砣的力臂加大，直到弹头与弹壳脱开为止，这时指针上的刻度值即为拔弹力。

手轮转速要均匀，不可有冲击或中途停顿，否则会影响测试结果的准确性。并注意防止弹壳拔出后发射药撒出。

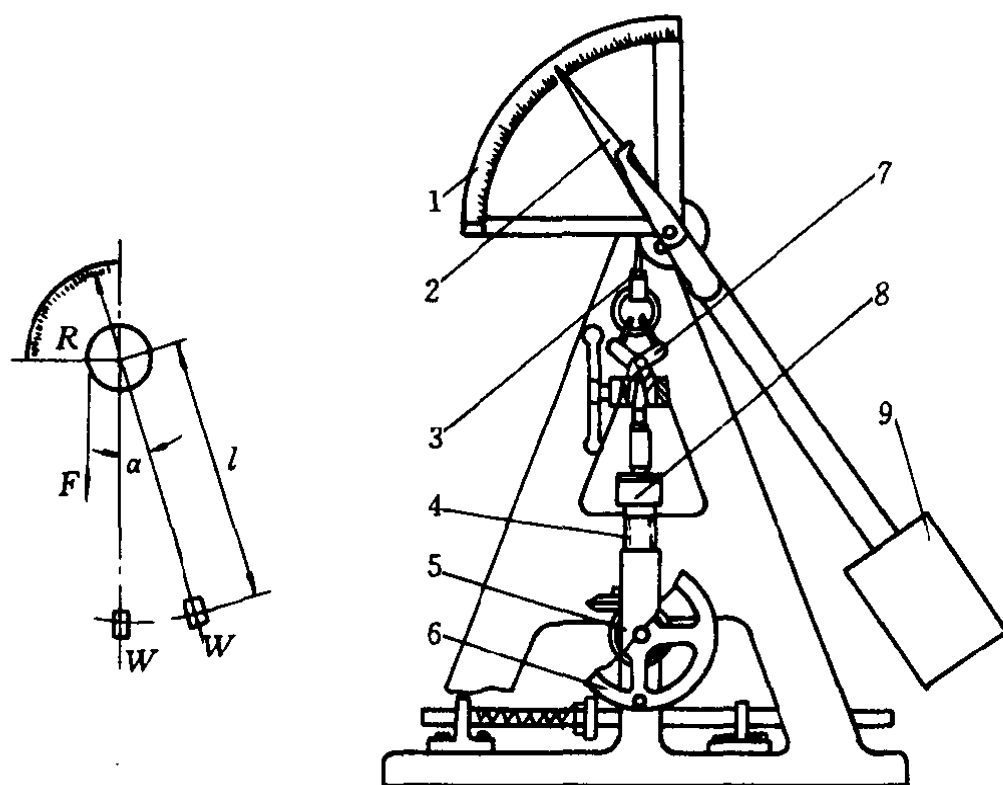


图 8-1 拔弹机

1. 刻度盘；2. 指针；3. 挂钩；4. 升降螺杆；5. 蜗轮；  
6. 手轮；7. 拔弹专用卡具；8. 卡座；9. 重砣

大口径枪弹因拔弹力较大，故由电动机带动手轮旋转。

设拔弹力为  $F$ ，挂钩转轴半径为  $R$ ，重砣质量为  $W$ ，负重杆长  $l$  ( $l$  为  $W$  的重心到转轴中心的距离)，杠杆摆角为  $\alpha$ ，根据杠杆原理有

$$R \cdot F = Wgl \sin \alpha$$

则

$$F = \frac{Wgl \sin \alpha}{R} \quad (8-1)$$

根据上式，在确定  $R$ 、 $W$ 、 $l$  后即可划出刻度。

每批枪弹作拔弹力试验的数量是：

|              |       |
|--------------|-------|
| 手枪弹          | 50 发  |
| 7.62mm 步、机枪弹 | 100 发 |
| 大口径机枪弹       | 20 发  |

拔弹时记录每发弹的拔弹力，最后列出该批枪弹拔弹力的最大值、最小值与平均值和在拔弹力允许偏差范围内所占的百分率。如超差的枪弹数超过允许值，则规定补做一定数量的拔弹力检验，补做的检验结果不应再超过规定值。

#### 4. 装药量检验

拔弹后将弹壳中的发射药倒入专门的器皿中，用精度为千分之一克的天平称量，其结果应精确到 0.005g。统计出其最大值，最小值和平均值。

#### 5. 枪弹密封性试验

将枪弹浸入比弹温（一般以室温代表弹温）高 25~30℃ 的热水中，水深应超过枪弹 50mm 左右，保持一定时间（对大口径弹为 2min，其余弹为 5min），在此时间内仔细观察弹壳口部和底火室周围，如产生连续或间断的气泡，且气泡逸出水面者为该枪弹密封性不合格。如果弹壳口部和底火室周围虽产生气泡，但气泡未逸出水面，或者在枪弹放入热水中时产生一、二个气泡逸出水面，但以后再也不产生逸出水面的气泡，这些均不能算作密封性不良。在试验时不能拨抹在弹壳口部和底火室周围集结的气泡。

试验中如密封性不合格的枪弹超过允许的百分比，则取加倍数量复试，两次检验总计的密封性不合格枪弹数量不应超过规定的百分比。

每批枪弹均须作封密性试验，试验弹数为

|                 |      |
|-----------------|------|
| 手枪弹及 7.62 步、机枪弹 | 20 发 |
| 大口径枪弹           | 10 发 |

#### 6. 涂漆钢弹壳漆膜质量检验

涂漆钢弹壳漆膜质量检验包括漆膜耐蚀性、完整性、耐磨性、结合力和附着力等项试验，这些检验项目有的在检验弹壳半成品质量时进行，有的在成品验收时进行。

(1) 耐蚀性检验：将弹壳用 3% 氯化钠溶液间浸，间浸是把弹壳交替地浸入溶液中或暴露在空气中。间浸的腐蚀速度要比全浸的快，因为试样留在空气中时氧气更易穿过水膜到达金属或保护层表面，氧的去极化作用更容易进行。间浸的规范各有不同，现行的 7.62mm 钢弹壳为浸入盐水 2min，空气中暴露 28min 为一个间浸周期，十个周期后漆膜应符合技术条件要求。大口径涂漆钢弹壳则在盐水中浸 7h，空气中暴露 17h 后检查漆层应符合技术条件的要求。

(2) 漆膜完整性检验：弹壳在 1%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液和 3%  $\text{CuSO}_4$  溶液中各浸 1min 取出，弹壳上如有红色，表明完整性不良。红色沉积物为铜，说明铜与铁产生了置换。

(3) 漆膜耐磨性检验：取一定数量的弹壳，在转速为 8~10r/min 的自动料斗中滚磨 20~30min。后取出弹壳，再测定其漆膜的完整性，其铜的面积不应超过技术文件的规定。

(4) 漆膜结合力检验：将涂漆弹壳在手搬压力机或老虎钳上压扁，弹壳不应有块状掉漆或起层现象。但底金属造成的断裂例外。

(5) 附着力检验：用刀片在漆层上划数条纵线和横线，线距间隔 1~2mm，纵横线所围成的正方形尖角处不应有掉漆现象。

并不是每种弹壳都必须进行以上五种检验，如 7.62 步枪弹不检验结合力和附着力，大口径弹壳不检验耐磨性。

#### 7. 枪弹的震动试验

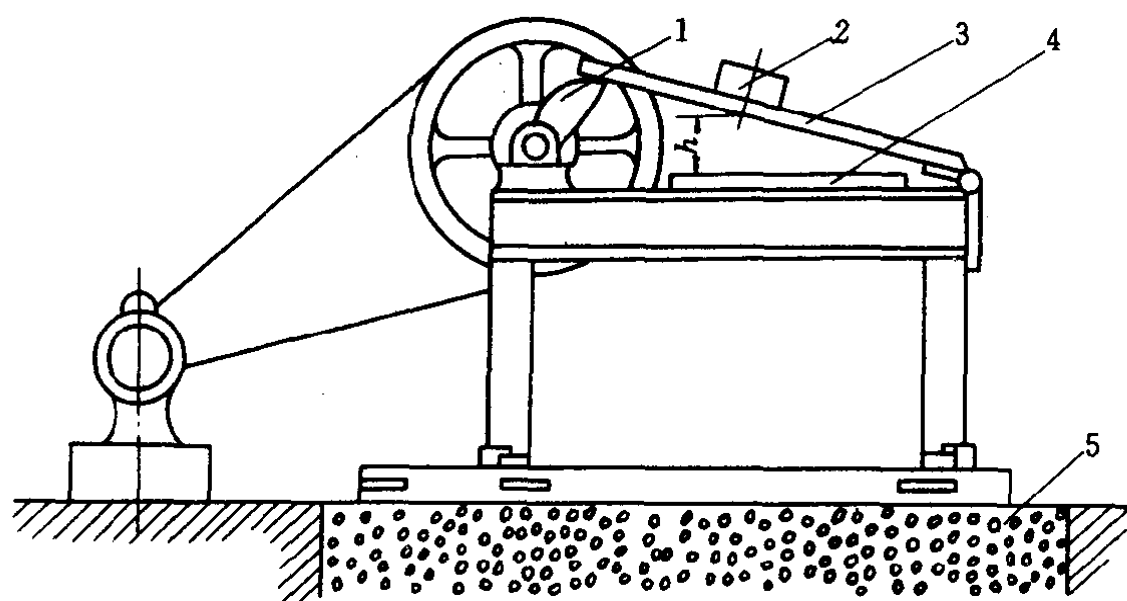


图 8-2 震动试验机

1. 凸轮；2. 装弹木盒；3. 上板；4. 下板；5. 焦炭

枪弹震动试验是为了考核各部件间结合的牢固程度及运输中的安全性。手枪弹和步、机枪弹需定期或每隔几批试验一次。

震动试验是在震动试验机上进行的。枪弹按试验规定的方法放在木盒2内，凸轮1的旋转使上板3升起后迅速落下，完成一次震动，规定落高 $h$ 为 $80\pm 1\text{mm}$ ，震动频率为每分钟 $60\pm 1$ 次，震动时间为90min，其中手枪弹在震动45min后将枪弹翻转 $180^\circ$ 再震动45min。

手枪弹每次试验40发，包成1~2包，或装入纸盒中，使枪弹轴线与木板平面垂直。7.62步机枪弹每次试验100发，分成4~5包，分为两层平放在木盒内。

试验前先对枪弹进行外观检查，并用量具检验枪弹全长和底火深度，然后把试验弹装入木盒，空隙处用纸填塞紧。

试验后检查枪弹，不应有自行发火，弹头脱落和松动，底火脱落和松动。枪弹全长和底火深度仍应符合震动前的量具要求。如果发现震后全长和底火深度不符所用量具要求，则可以取加倍数量的枪弹进行复试，此时不应再有不合格情况产生。

#### 8. 枪弹射击试验

枪弹射击试验是对枪弹质量作最后的全面严格的性能检验。通过这些试验，一方面可以决定该批枪弹是否满足战术技术要求，另一方面也可以及时发现产品性能方面的疵病，以便迅速采取有效措施，予以纠正。

枪弹射击试验项目包括：弹道性能（弹头的初速、最大膛压、弹头射击密集度），弹头及弹壳强度，自动武器射击时作用的可靠性（如连发性能）以及特种弹的性能试验（如穿甲性能、燃烧性能、曳光性能……等等）。这些将于本章第二节中阐述。

在射击试验中会出现一些其它的射击疵病，这些疵病分为不允许产生的疵病和允许有一定百分率的疵病。前者有早发火、迟发火、枪弹炸裂、弹头留膛、弹壳底缘拉脱、弹壳横断、不退壳和其它影响连发的疵病。其余疵病可根据其对安全、使用、长期贮存和对枪械的影响程度制定一个允许的百分率。

同一发枪弹射击时出现不同的疵病时应分别统计疵病，同一原因引起的疵病按最严重的一种统计。如果各项射击疵病中的疵病数超过了允许的百分率，则按规定的允许百分率的数量进行补射，射击时用原枪、原射击条件。但精度枪和弹道枪上产生的疵病可用其它枪补射，在补射中产生的疵病也应统计，但由于枪械原因产生的疵病不应计算。

#### 9. 枪弹包装质量检验

成批的枪弹经过外观检验、尺寸和质量、拔弹力、装药量、枪弹密封性及靶场射击试验合格后即可进行包装。在包装过程中还需对包装的方法、包装件的质量、包装铁盒的密封性和包装标志进行全面的检验，这些总称为包装质量的检验。

##### (1) 包装方法

①在检验枪弹外观时所抽取的装满枪弹的铁匣百分之百地检查包装方法的正确性和每包枪弹的数量（大口径枪弹因无纸包，故检查每个铁匣内的枪弹数）。每包（或对手枪弹为每盒）枪弹数量的检查采用称量法，当发现问题时再拆开检查。如果发现所取的纸包中只有一包枪弹的数量多一发或少一发时，可加倍数量复试，此时不应再发生数量不符。

②在对整批枪弹开始外观检查前，先检查整批枪弹的匣数与所装发射药的批号，如发现匣数与所装发射药的批号不正确时，则拒绝对该批枪弹进检验。

③整批枪弹加箍护带后，检查整批枪弹的木箱数量，并抽查整箱的重量，发现有疑问时可以拆开木箱（必要时可拆开铁匣）检查。

(2) 包装件的质量：包装件的质量检查包括纸和纸板的水份，纸的酸性、碱性和氯化物，

铁匣内部的酸性、碱性和氯化物。

包装件的质量检查在铁匣封盖前进行。包装用纸和纸板的水分含量不应超过 9%，测定结果不合时，该批纸和纸板需进行烘干。包装纸和铁匣应清洁，并呈中性，氯化物含量不应超过 0.003%。检查结果不合格时，该批纸和纸板不能用，铁匣和匣盖可以通过清洗、烘干或擦拭后重新交验。

(3) 铁匣密封性：每批枪弹抽取 40 个封盖后的铁匣作密封性检验。铁匣不允许有严重漏气，有轻微漏气的铁匣可以有一个允许的百分率，如果轻微漏气的铁匣数量超过规定的允许百分率，则以相同的数量进行复验，两次合计不应超过允许的百分率。

铁匣密封性检验的方法可有抽气法和充气法两种，其原理是相同的，即使铁匣内外保持一个压力差，一定时间内水银柱少量下降，则铁匣是密封的；如水银柱有少量下降，则为轻微漏气；如水银柱大幅度下降或 3~4 秒钟仍达不到规定的压力差，则为严重漏气。

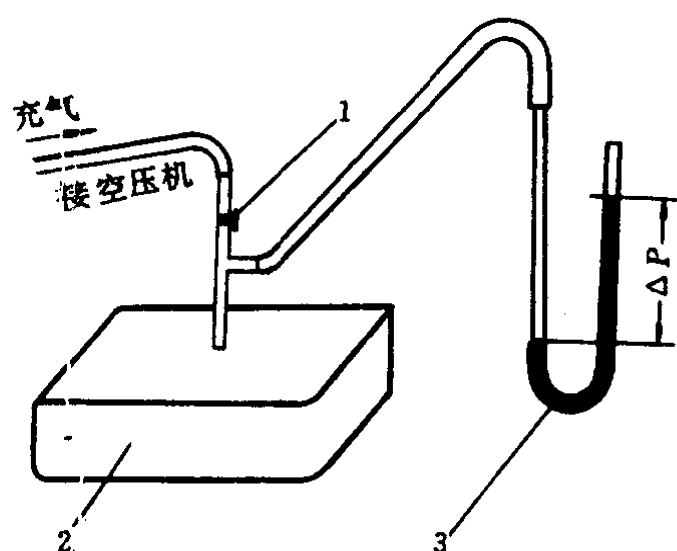


图 8-3 充气法检验铁匣密封性  
1. 旋转开关；2. 铁匣；3. 玻璃管

图 8-3 为充气法检验铁匣密封性示意图。为便于观察，可将充气后的铁匣浸入水中，或在铁匣的结合部位涂肥皂液，观察有无气泡出现，有气泡则为密封性不良。

(4) 包装标志检验：铁匣上的标志在木箱钉盖前抽查，包装木箱的标志在包装木箱加箍护带后抽查，发现标志不清或不正确时必须及时纠正。

在检查包装标志的同时要检查铁匣和木箱的外观，发现有锈迹、损坏严重的情况时也应及时予以纠正。

## § 8.2 靶场射击试验

射击试验是通过实际射击来检验枪弹的性能。试验用的枪是主要试验工具，为此，要求所使用的枪械必须有合格证。否则一旦出现射击疵病，很难分清是弹的原因还是枪的原因。例如底火击穿可以是枪（主要是击针）也可能是弹（底火）的问题，如果枪的击针突出量是合格的，则即可排除枪的因素。

### 一、弹头初速的测定

弹道学上的初速是指弹头出枪口瞬间的速度，常用  $v_0$  表示。实际上由于测试条件的限制，目前还无法测到出枪口时的弹头速度，而只能测到距枪口某一距离处的速度。 $v_0$  只能根据该点速度换算而得。

测定弹头速度，实际上是测定弹头飞经某一段距离的时间，距离被时间除即得速度，而这个速度是这段距离内的平均速度，如果认为这段距离内速度的衰减是线性的，则这个速度是这段距离中点的平均速度。例如在距枪口 2m 和 4m 处设置两个测速靶（传感器），则测得的速度是距枪口 3m 处的速度，习惯上用  $v_3$  来表示。

当前测速的仪器有两种，即电磁测速仪和电子测时仪。

电磁测速仪又名布朗节测速仪，它是利用自由落体公式  $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$  ( $H$  为距离,  $g$  为重力加速度), 测出  $H$  后换算成时间。枪口设一细铜丝, 与电磁铁成通路, 电磁铁上吸住套有黄铜管的测时杆, 弹头飞出时铜丝断开, 测时杆下落。另一端设有钢板, 钢板上有断路器, 当弹头打击钢板时断路器因振动而断开电源, 与它相通的电磁铁断电, 吸在其上的重锤落下, 并在测时杆上打一个印痕。根据印痕的位置 (即  $H$ ) 即可换算出飞行时间。电磁测时仪的操作麻烦、测试时间长 (辅助时间多) 要求靶道长 (一般为 50m, 即测  $v_{25}$ ) 所以已逐步被电子测时仪替代。

电子测时仪实际上是一个记录脉冲个数的计数器, 可测出  $1\mu s$ 。它附有两个通电的线圈靶, 当弹头通过第一个线圈时, 由于磁通量的变化, 产生一个讯号, 启动电子开关, 开始计数, 当通过第二个线圈时电子开关关闭, 停止计数, 计数器上记忆的脉冲数即为被测时间的微秒数, 并可直接从数码管上读出。电子测时仪的精度高, 测试速度快 (效率高), 靶道短。但靶距精度要求高, 靶距为 1m 时 (也可为 2m) 误差不超过  $\pm 0.2\text{mm}$ 。

测速是用专用的测速枪进行射击, 并与标准弹交叉射击, 即一发试验弹射击后再射一发标准弹, 然后又射试验弹。

试验弹和标准弹必须在散装状态下保温到  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 因为枪弹温度 (主要是发射药温度) 对弹头速度有影响。保温时间视枪弹温度 (即室温) 而定。要求射击室温度为  $15 \sim 30^\circ\text{C}$ , 相对湿度不大于 80%。

每次试验取试验弹和标准弹各 20 发, (大口径枪弹为 10 发)。为节省标准弹, 可以一组标准弹带六组试验弹。

测试出的速度还不是最后的速度, 必须进行一些修正, 这些修正是:

(1) 气象修正。即把射击室的温度和气压换算到标准的弹道气象条件 ( $20^\circ\text{C}$ , 760mm 汞柱)。

(2) 枪械初速修正。枪械对弹速是有影响的, 一般是新枪速度高, 旧枪速度低, 所以必须修正枪对弹的影响。这个修正值是根据当天用标准弹射击所得的平均速度 (经气象修正后) 与该批标准弹规定的标准值的差数确定。平均速度小于标准值, 则修正值取正, 反之取负。此修正值对 7.62 枪弹不应超过  $\pm 12\text{m/s}$ , 对大口径枪弹不应超过  $\pm 16\text{m/s}$ , 否则该枪作废, 试验结果不算, 换枪重射。

(3) 药温修正。如果枪弹不保温, 则应根据药温修正系数把速度换算到  $20^\circ\text{C}$ 。室温高于  $20^\circ\text{C}$  时修正值取负, 低于  $20^\circ\text{C}$  时取正。

因此最后得到的速度为

$$v = v' + \Delta v_t + \Delta v_p + \Delta v_f \quad (8-2)$$

式中  $v$ ——经修正后的速度;

$v'$ ——射击测出的速度;

$\Delta v_t$ ——药温修正值;

$\Delta v_p$ ——气象修正值;

$\Delta v_f$ ——枪械初速修正值。

## 二、最大膛压测定

最大膛压是枪弹重要的内弹道参数。当前有两种测压方法，即铜柱测压法和电子测压法。铜柱测压法如图 8-4 所示。

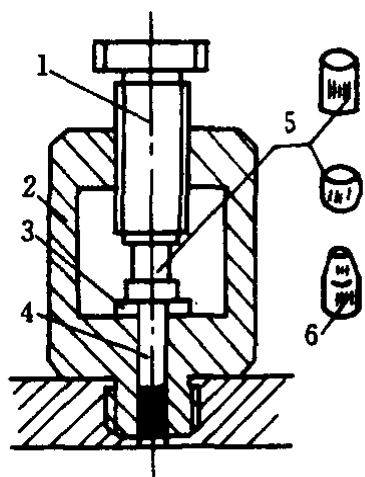


图 8-4 铜柱测压器

1. 调整螺杆；2. 测压器本体；  
3. 垫片；4. 活塞杆；  
5. 柱形铜柱；6. 锥形铜柱

在测压枪枪管的规定位置上钻一螺孔，拧入测压器，为保证密封火药气体，在测压器本体 2 与枪管接触的锥面上涂以铰子油，并在测压器孔中涂满测压油，铜柱 5、活塞杆 4 及调整螺杆的端面都不涂油。射击时火药气体压力作用在活塞杆上，压缩铜柱，根据压缩后铜柱的高度，即可换算出火药气体的最大压力（最大膛压）。图 8-4 中 5 为圆柱形铜柱测压前后的形状，6 为用于测低膛压（如手枪弹）用的锥形铜柱。

电子测压器是将铜柱换成传感器，例如压电传感器。这样测出的是膛压变化的全过程，即整个射击过程中膛压的变化曲线。由于使用的仪器较复杂，此法仅在研究、设计单位应用，产品验收时尚未有应用。电子测压法的另一大优点是它测得的压力与真实的膛压接近，习惯上称为“动压”，而铜柱测压得到的压力称为“静压”，其数值比动压要低，原因如下。

从塑性变形力学角度分析，铜柱测压是一个圆柱形铜柱高速塑性镦粗问题，对于已知材料和初始尺寸的柱体，给出柱体的压后高（压缩后的柱体高度），即可推算出镦粗力或柱体变形的单位压力。但目前压后高与单位压力关系的标定是用静压法。即一个大砝码通过杠杆把力放大后轻轻地加压在铜柱上。

实际上火药气体对活塞作用的速度极快，作用时间极短（以微秒计）。一般地说高速塑性变形时金属变形抗力要比“静态”变形时大。因此静态标定就产生不少误差。但是动态标定目前还无法实现。

为了减小这个误差，可将铜柱进行预压，即用作测量的铜柱不是退火状态的，而是经一定压缩变形后的铜柱，铜柱的预压值一般比要测试的压力低 294~392MPa (300~400kg/cm<sup>2</sup>)，使测试时塑性变形量减小。

尽管铜柱测压法有这些不足，但工厂在生产验收时还都采用此法。我国铜柱尺寸都已标准化。490MPa (500kg/cm<sup>2</sup>) 膛压以下的采用圆锥形铜柱。

测压前先将试验弹和标准弹各 10 发进行保温。然后一发试验弹和一发标准弹交叉射击。为节省标准弹，可以用一组标准弹带三组试验弹。射击室温度应为 15~30℃。

测出的膛压还应经过修正，主要是枪械膛压修正，对不保温的弹还要进行药温修正（考虑药温对膛压的影响），即

$$p_m = p'_m + \Delta p_f + \Delta p_t \quad (8-3)$$

式中  $p_m$ ——经修正后的最大膛压；

$p'_m$ ——射击测出的膛压；

$\Delta p_f$ ——枪械膛压修正值，是标准弹在该测压枪上的测试值与该批标准弹所规定的标准值的差数。此值不应超过 117.6MPa (120kg/cm<sup>2</sup>)，否则该枪报废，试验结果不算，换枪重

射。

$\Delta p_t$ ——药温修正值。修正到标准温度（20℃）。

在长期测定最大膛压结果稳定的情况下，可以每隔几批测定一次。

在测定膛压和初速时应检查射击后的每发弹壳，如发现有底火周围漏烟、底火击穿、击窝冲脱、底火脱落、弹头破裂等射击疵病时，该发枪弹测试结果不算，补射一发。如测试结果不合格可取加倍数量复试。

### 三、弹头射击密集度测定

弹头的射击密集度是指一定距离上弹着点密集的程度。如果把枪固定，向一定距离的靶纸射击一批枪弹，弹着点不可能都重合，必然有一个散布范围。此范围越小，说明射击密集度越大，枪弹的精度越高。

密集度测定方法是把专门用于测精度的精度枪紧固在枪架上，对不同距离上的纸质靶板进行射击，根据靶上弹着孔的分布测出其散布半径，此半径不大于产品图规定的值即为合格。

射击前先将枪夹紧在枪架上，取一组校枪弹射击，如果校枪弹的散布半径符合该弹的规定值时，说明试验枪和卡枪的稳定性均符合要求，可以开始测试。校枪弹由正常交验合格的枪弹中选取或专门制造，它有一个经反复试验确定的散布半径值。

每靶射击后，先要检查靶纸上的弹孔数是否够（一般每靶 20 发），防止出现不上靶的枪弹，然后取下靶纸，先确定平均弹着点。在纸上划一根水平线，一根垂直线，使每道线的两边都有相等的弹孔数，并且都从其最邻近的两弹孔的中间通过，这两条直线的交点即为这组枪弹的平均弹着点。然后以平均弹着点为圆心划一个圆，使圆内有一半弹孔数，并且从其内外最邻近的两个弹孔的中间通过（如果一组为 20 发，则圆不是和第 10 个或第 11 个弹孔相切，而是在两孔的中间通过），此圆的半径即为该靶枪弹的半数命中半径，用  $R_{50}$  表示。以平均弹着点为圆心，通过最远一个弹孔的外边缘划圆，此圆的半径称为该靶的全数命中半径，以  $R_{100}$  表示， $R_{100}$  仅作参考。 $R_{50}$  的计算精度应达到 1mm。

测定弹头的射击密集度，手枪弹测 40 发，分为两组；7.62 步、机枪弹测 60 发，分为三组，大口径枪弹为 10 发或 20 发。测定时射击频率不能过高，手枪弹和 7.62 步、机枪为每分钟 5~10 发，大口径枪弹为每分钟 2 发。

如果射击试验结果密集度不合格，则取一组校枪弹以原枪、原射击条件进行鉴定射击。如果鉴定射击结果大于校枪弹规定的数值，则原试验结果不算，换枪或重新固紧枪后再测试。如果鉴定射击结果合格，则用原枪、原射击条件加倍数量复试（分两个试验组），并以两组复试结果的平均值来作出是否合格的结论。

在射击过程中由于某种射击疵病（例如弹头破裂、瞎火…等）影响该靶结果正确性时应及时补射，或者该靶结果不算。但发生的疵病应予统计。

### 四、弹头飞行破裂检验

弹头飞行破裂包括飞行过程中弹头壳破裂、钢心（弹心）脱落和横弹（弹尖不朝前的飞行）等。特种弹发生飞行破裂者较多。

检验飞行破裂的方法是在弹头飞行方向的一定距离内设置若干个偏差板，即普通靶板上开一个孔，正常飞行的弹头可以通过此孔，而有飞行破裂的弹头则因其飞行远离正常弹道，故

在靶板上会出现非圆的不规则的孔形，甚至弹头碎片，以此来判断是否弹头破裂。

弹头飞行破裂检验对 7.62 步、机枪弹是单独专门检验的，手枪弹和大口径枪弹则是在测定弹头初速、精度、穿甲、曳光、弹壳强度等项目时安置偏差板来检验。

测定飞行破裂的枪有专门的技术条件，一般地说，是选择容易产生飞行破裂和横弹的枪械，即使用时间较长（射击次数多的）、枪管口径已超过允许公差上限的枪。射击一组后检查靶纸，特别是听到不正常声音时。若终点靶纸上的弹孔总数少于总射弹数，而且缺少的弹孔数在偏差板上也找不到时，则所缺之弹数即认为是飞行破裂数。偏差板和终点靶板上有非圆形弹孔（如椭圆形或横弹孔）、不规则弹孔（由弹头碎片造成的）或过小的圆形孔（由钢心或弹心造成的）均为飞行破裂。

### 五、弹壳强度及枪械工作灵活性检验

弹壳强度检验主要包括单发、连发、点射、高温、低温和常温等射击试验。为了考核枪弹对枪械工作的灵活性，还规定用各种枪支进行射击试验。例如 56 式 7.62 枪弹需分别用半自动步枪、冲锋枪和轻机枪射击，但由于测定枪弹射击密集度和弹头破裂均用半自动步枪射击，所以进行此项检验时就不需用半自动步枪射击了。

枪弹高低温试验是从实战出发考核弹壳强度。试验方法是将已装好弹夹、弹匣、弹链（已装在弹盒内）的枪弹装入保温箱或降温设备中，分别在  $+50\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $-50\pm 5^{\circ}\text{C}$  的情况下保持 2 小时，取出后立即射击或放在保温盒中拿到射击室射击。

射击完毕后收集全部弹壳，进行外观检查，以判断射击后弹壳与底火的疵病。

### 六、穿甲性能试验

具有穿甲作用的枪弹（如穿甲燃烧弹、穿甲燃烧曳光弹等）是用来射击有装甲防护目标的，例如坦克、飞机、船只、机枪掩护体、汽车、油车等。根据各种弹种的特点，在产品图和技术条件中分别规定了穿甲性能的要求和试验方法。穿甲性能一般是指在多大距离内射击一定厚度的钢板（钢板可有一定倾角），其穿甲率不低于百分之几十。穿甲率是指钢板上的通孔数占有效命中钢板的弹数的比。一般要求不低于 80%。

穿甲试验用枪应保证枪弹具有产品图规定的初速，因为初速对穿甲性能影响很大，所以都用测速枪来作穿甲试验。试验钢板一般都采用专门的均质合金钢板，钢板应牢固地固定，否则会消耗部分弹头动能。

射击时以 5 发为一组对钢板进行单发射击，然后检查有效命中数和有效穿透数，直到有效命中数达到技术条件所规定的数量（一般为 10 发）为止。射击过程中可不断调整弹着点位置，防止因弹孔过分靠近或重合而产生无效命中。

属于下列情况之一者为有效穿甲：

（1）钢板上有钢心击中的通孔。

（2）钢板被穿透，但孔内卡有弹头壳、铅套、铅垫或局部钢心碎片。在执行过程中，7.62 枪弹规定虽卡有钢心碎片，但不超过半个孔的面积者为有效穿甲，而大口径则以钢心的弧形部穿过钢板者为有效穿甲。

（3）射中钢板的支架且钢板被击穿者。

属下列情况之一者为无效，应予补射：

（1）相邻弹孔距离小于 8mm 者。

- (2) 弹孔距钢板边缘小于 10mm 者。
- (3) 命中固定支架或夹头，但钢板未击穿。
- (4) 命中钢板的厚度公差超过规定的部分，或有疵病的部分，但击穿厚度超过上限公差者算有效。
- (5) 从靶板后面看，穿孔边缘彼此相割者。
- (6) 靶板固定不牢固，或翘曲度超过规定者，但已击穿者为有效。

同次射击中钢板上发现有两个或两个以上的孔（或痕迹），但具有上述（1）或（5）的情况，则只算一发命中。若同时具有穿孔和不穿孔时，则同时作为命中无效。

若穿甲试验不合格，则用正常生产中检验合格的枪弹或专门鉴定合格的枪弹以原枪、原射击条件作鉴定射击。鉴定后确认是枪弹原因造成的，则以加倍数量复试，并以复试结果作出结论。鉴定射击前用标准弹在原枪上测定弹头速度。

## 七、燃烧性能试验

具有燃烧作用的枪弹（穿甲燃烧弹、穿甲燃烧曳光弹、试射燃烧弹等）都必须进行燃烧性能的试验。其试验方法和对燃烧性能的要求在产品图和技术条件中有很明确的说明。带穿甲作用的燃烧弹用于射击有防护的易燃物，如油箱。因此试验是在规定的距离上对一定厚度的钢板后的汽油箱（或刷有汽油的油纸）射击，穿透钢板后点燃油箱者为有效。点燃数占有效命中数的百分率称为燃烧率。一般不应低于 80%。由于是考核穿燃性能，因此钢板厚度应保证在此射击距离上 100% 被穿透。

射击用枪与穿甲试验同，每射击一发后评定一次有效命中数。燃烧试验的有效命中数一般为 10 发，燃烧试验用 70 号航空气油，试验方法分为油箱和油纸两种，油纸是为节省汽油而改进的一种燃烧试验方法。

(1) 油箱试验方法：将上部有开口的枪弹包装铁匣内装满汽油，竖放在钢板背后，铁匣与钢板的距离由技术条件规定。当击中油箱时，汽油燃烧，油箱倒下，汽油流出，经油槽回收，并立即灭火，以回收汽油。射击 5 发后应将钢板冷却。

油箱燃烧试验的有效命中的评定，先按穿甲试验的要求评定穿透钢板的有效命中，如有有效命中钢板后再评定燃烧的有效命中。除命中距油箱开口 10mm 以内部位不算命中外，其余的只要击中油箱的前后两面者均算有效命中。

(2) 油纸试验法：利用浸透汽油的白报纸（大口径枪弹允许用普通瓦楞纸）铺在铁皮上代替装满汽油的油箱可以节省大量汽油和铁匣。试验方法与油箱相同，只是规定从油纸浸刷汽油至射击的间隔时间：白报纸应不超过 30s（大口径枪弹为 60s），瓦楞纸应不超过 3min，主要是防止汽油挥发，影响点燃。若超过规定时间，应重新涂刷。当然超过时间仍被击燃者为有效。

有效命中的评定方法是首先评定穿甲是否为有效命中，然后再评定燃烧有效命中，凡是在油纸和钢板上都有弹头或钢心穿孔者，均为燃烧的有效命中。

穿甲后燃烧试验不合格，则按穿甲试验的有关规定作鉴定试验，经鉴定确认是枪弹原因造成，则以加倍数量复试。以复试结果作结论。

## 八、曳光性能试验

具有曳光作用的枪弹都必须作曳光试验，鉴定曳光管燃烧质量。曳光管燃烧的质量有亮度和曳光距离（时间）两个指标，在鉴定中主要检验曳光管燃烧距离（时间）。产品图上规定

了曳光弹的最短曳光距离和在此距离上的曳光率。例如某曳光弹在距离枪口 800m 处的曳光率不应小于 85%。曳光率是指在规定距离上曳光弹的曳光数与实际射击数之比。

曳光试验是在有良好能见度的夜间进行的。靶道一般设在野外，靶道长度应等于或大于产品图规定的最短曳光距离。在规定距离的地面上设观察所，观察飞过顶上的曳光弹是否有光迹，并作记录。靶道周围不应有建筑物，射击时对居民不应构成危险。

试验不合格时可用原枪、原射击条件用加倍数量的枪弹复试，复试结果的平均值应达到产品图的规定。

曳光弹光程不足的疵病较少出现，在曳光性能长期稳定的情况下可以每隔几个批作一次曳光性能试验。

有的曳光弹，技术条件还规定须定期作升温 and 降温后的曳光试验。升温为  $+50 \pm 5^\circ\text{C}$ ，降温为  $-50 \pm 5^\circ\text{C}$ ，保温均为 4 小时。

### 九、靶场试验中的安全问题

靶场射击试验必须十分重视技安问题，稍有大意，即会出现人身伤亡事故，这方面的教训是深刻的<sup>[24]</sup>。例如验靶员与射手没有联系好射手即射击而造成伤亡的；在射手排除故障间歇，因人员横穿靶道而造成伤亡的；因验靶人员过多，未清点人数即发射击命令，而此时还有人员蹲在穿甲钢板的背面观察弹孔（射手看不到有人），以致造成伤亡的。

防止技安事故产生，除了经常给予安全教育和严格按操作规程试验外，在靶道设计、设施和联络方面还应注意以下事项。

(1) 尽量采用隐蔽式靶道，如是露天靶道，则必须将靶道周围用铁丝网封闭，并树立鲜明的危险信号。防止外人进入靶道。

(2) 靶道终点应有弹头收集装置，一般是 2 米以上的砂堆，并在终点上方加覆混凝土盖或以钢板覆盖，防止跳弹伤人。

(3) 靶道应有良好的照明，这不仅有利于射手对目标的瞄准，更主要的是让射手在射击前能看清射击方向是否有人。

(4) 在需要看靶的靶道（如密集度、穿甲、燃烧试验）的终点附近，应在侧面建立避弹室。避弹室的窥视孔应与靶道射击方向呈锐角。

(5) 工作前必须清理靶道，绝对不准有人留在靶道中，并锁上安全门。工作中更不许有人进入靶道，如必须进入靶道时必须由本人（进入者）取下试验枪的枪机（随身携带），并通知有关人员。

(6) 建立可靠的通讯联络系统，使射手与验靶员间能及时得到清楚而可靠的信息。因为靶场噪音大，射手们多带有耳塞，且易患重听的职业病。除对讲机或报话机外还应有红绿灯指示和电铃等双重讯号。对于穿甲、燃烧试验的靶道因经常要观看射击结果，应装有枪械的电击发器，其中击发器的一个串联的开关应设在避弹室内，由验靶员控制。

## § 8.3 枪弹射击试验中出现的弹壳质量问题及其原因分析

枪弹在各种射击试验中会出现各种质量问题，如弹壳横断、弹头精度不合格、底火漏烟等等。在研制阶段，则有可能是产品设计的问题，也可能是工艺方面的问题；在设计定型后

出现质量问题则较多的是工艺问题，也不排除有设计中的问题；对于定型已久，且已正常生产的枪弹，如果出现质量问题，则多半是由于工艺原因引起的。由于产量大，因此稍有疏忽，报废数量是很可观的。所以每个工艺上的改动应很慎重，并应进行多次试验后才能改动。

本节中所述的弹壳质量问题，对药筒也有参考价值。

## 一、弹壳纵裂

### 1. 概况

在射击后弹壳体部沿纵向破裂，严重者一直裂到弹壳体下部，致使高温高压的火药气体从弹壳裂纹处喷射出来，烧蚀弹膛，损坏枪械，影响射手安全。这种疵病主要发生在用钢棒冷挤法生产的 7.62 钢弹壳。发生该疵病的弹壳在射击前在裂缝部位的内表面有一个内折叠，折叠在口部以下，距离 10mm 以上尤为显著。内折叠的两侧有明显的两条棱线，在弹壳外表面与内折叠相对应处有一条线状线痕。射击后纵裂的弹壳，其裂缝呈 45° 开裂，但方位不一，形状比较整齐。裂缝多从斜肩开始，裂至距离 4~5mm 处（该弹壳底厚为 4mm）。

### 2. 原因分析

产生弹壳纵裂的原因初步分析有：

(1) 弹壳退火硬度过高，即没有完全消除加工硬化，以致塑性降低，引起破裂。

(2) 引伸件壁厚差过大。

(3) 制品表面拉丝引起，拉丝是由于模具工作表面拉毛或嵌有硬物，使引伸件表面有深度不大的纵向线痕。

为了解决弹壳纵裂问题，曾试验用表面质量良好的钢棒生产弹壳，挤压后孟子退火硬度人为地由原来的 HV<sub>5</sub> 105~130 提高到 HV<sub>5</sub> 130~175，个别的达 188。人为地加大引伸件壁厚差，由原来的规定 0.18mm 不超过 10% 提高到 0.18~0.24mm。还人为地在挤孟、一引和末引半制品上造成不同形状和深度的表面拉丝痕迹。这三种放大的单因素和多因素综合射击试验共射击近 3000 发，未发生纵裂。这说明在工艺规范内，以上三种工艺参数的波动，不是造成弹壳纵裂的根本原因。

通过大量试验发现，原材料的折叠、结疤、裂纹、夹灰是造成弹壳纵裂的主要原因。

为了证实弹壳纵裂主要是由原材料折叠等材料表面缺陷造成的。曾挑选 4 种不同程度折叠的圆钢，按正常工艺加工弹壳，其中圆柱退火的硬度有意地控制在工艺规定的下限，与正常弹壳进行对比，其结果如表 8-1 所示。

表 8-1 圆钢折叠对弹壳纵裂的影响

| 序号 | 材料质量 | 弹壳加工条件 | 下料数量 | 工序废料/% | 轻机械大闭锁升温射击 |      |
|----|------|--------|------|--------|------------|------|
|    |      |        |      |        | 射击数量       | 纵裂/% |
| 1  | 良好   | 正常工艺   | 6200 | —      | 1100       | 0    |
|    |      | 硬度上限   | 1280 | —      | 936        | 0    |
| 2  | 严重折叠 | 正常工艺   | 1376 | 13     | 723        | 0.41 |
|    |      | 硬度下限   | 1200 | 8.78   | 500        | 0.20 |
| 3  | 一般折叠 | 正常工艺   | 834  | 13.46  | 295        | 0.34 |
|    |      | 硬度下限   | 834  | 15.56  | 814        | 0.25 |
| 4  | 轻微折叠 | 正常工艺   | 640  | 14.13  | 529        | 0.38 |
|    |      | 硬度下限   | 640  | 5.9    | 496        | 0    |

续表

| 序号 | 材料质量           | 弹壳加工<br>条 件 | 下料数量 | 工序废料/% | 轻机械大闭锁升温射击 |      |
|----|----------------|-------------|------|--------|------------|------|
|    |                |             |      |        | 射击数量       | 纵裂/% |
| 5  | 生产中剔出的<br>严重折叠 | 正常工艺        | 586  | 50.63  | 100        | 3.0  |

由表中可以看出，圆钢的折叠是造成弹壳纵裂的主要原因，而退火后的硬度值低，则可以减少纵裂数，但不能彻底解决纵裂毛病。

圆钢折叠是轧钢过程中在孔型转换时产生的毛病，是被氧化了的一片金属重叠到基体上造成的，一般均有一定长度。

弹壳制造过程中，镦压工序可以使折叠张开，经外观检选，可以剔除带折叠的料饼。但由于是采用冷拔钢棒，在加工硬化状态下剪切的，切面质量较好，故镦粗量较小，小的折叠不易暴露。挤孟变形是径向压缩、轴向伸长、故折叠闭合，且沿高度方向延伸，但在口部端面较为明显。各次引伸是径向压缩、轴向延伸，故折叠变得细长，到末引时明显的折叠大都破裂、拉断，较小的折叠则在壁部留下不明显的线痕。收口变形是切向压缩，折叠部位产生皱折。折叠是两层金属的重迭，它破坏了弹壳壁厚方向的整体性，射击时就可能在该处产生纵裂。

### 3. 防止产生纵裂的措施

(1) 提高和改善圆钢表面质量。

(2) 加强外观检选。可以采取圆钢检选，镦压后检选，切口后检选，车底前检选和成品弹壳内外观检选等，可以取得一定效果。但外观检选毕竟是一项繁重的手工作业，多次检选增加了工序，降低了劳动生产率。

(3) 冷拔圆钢前将热轧圆钢车外皮，车去表面毛病后再拔制，这是彻底解决的办法，但这浪费不少金属，当前尚不可行。

(4) 增加镦压工序的压下量，使有表面毛病的段料充分暴露。

## 二、弹壳横断

### 1. 现象

枪弹在射击完毕抽壳时，弹壳下斜肩与体部交接处附近或其它部位（如体部）产生环形拉薄、局部断痕或横向断裂，总称为弹壳横断（图 8-5）。

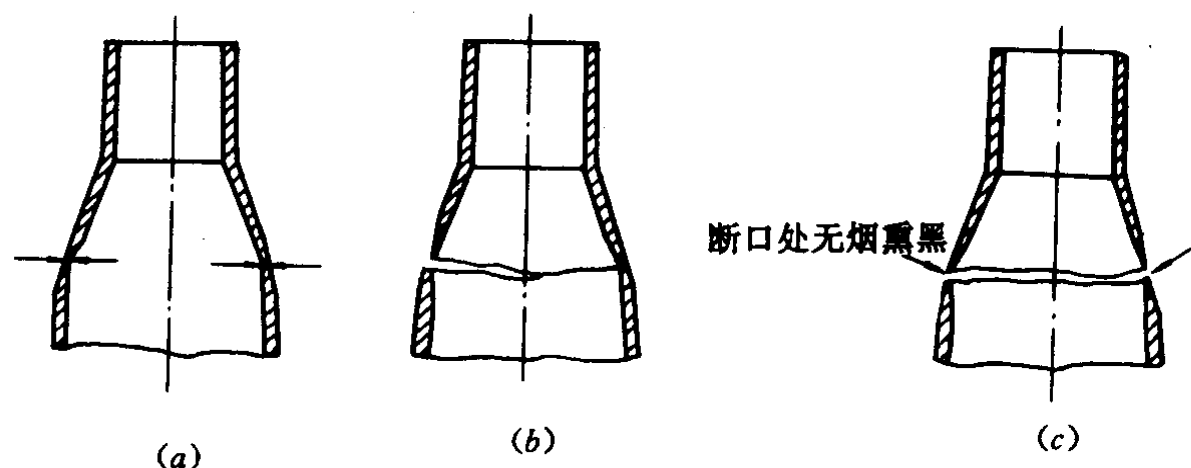


图 8-5 弹壳的横断

(a) 环形拉薄；(b) 局部断痕；(c) 横断

弹壳横断是射击中不允许的毛病，它会使枪械立即停发，失去战斗力。排除留在膛内的

弹壳需要特制的工具，且很费时间。

弹壳的横断在大口径、小口径枪弹，钢弹壳、黄铜弹壳、底缘定位弹壳和斜肩定位的弹壳等不少枪弹中都发生过，只是数量不同，有的偶然有过1~2次，有的每年遇到1~2个，有的可多达4~5%。但12.7机枪上未曾出现过横断。

断痕和横断位置都在弹壳的下斜肩附近。拉断的断面上无烟熏。旧枪比新枪易产生横断。

### 2. 原因分析

从断口情况分析，为拉应力所致，三种破坏形式只是拉应变大小不同而已。环形拉薄相当于产生缩颈，局部断痕相当于部分拉断。问题是弹壳是封闭在弹膛内的，轴向拉应力是如何产生的？这要从射击过程中弹壳的运动说起。

弹壳与弹膛的配合关系如图8-6所示。为使弹壳能顺利进入弹膛，应有一定的径向间隙 $u_0$ ，为使弹壳在发射时不后退，轴向应闭锁，因此必定存在闭锁间隙 $\Delta$ 。对于以弹壳斜肩在膛内轴向定位的弹壳，在定位点上径向间隙为零。

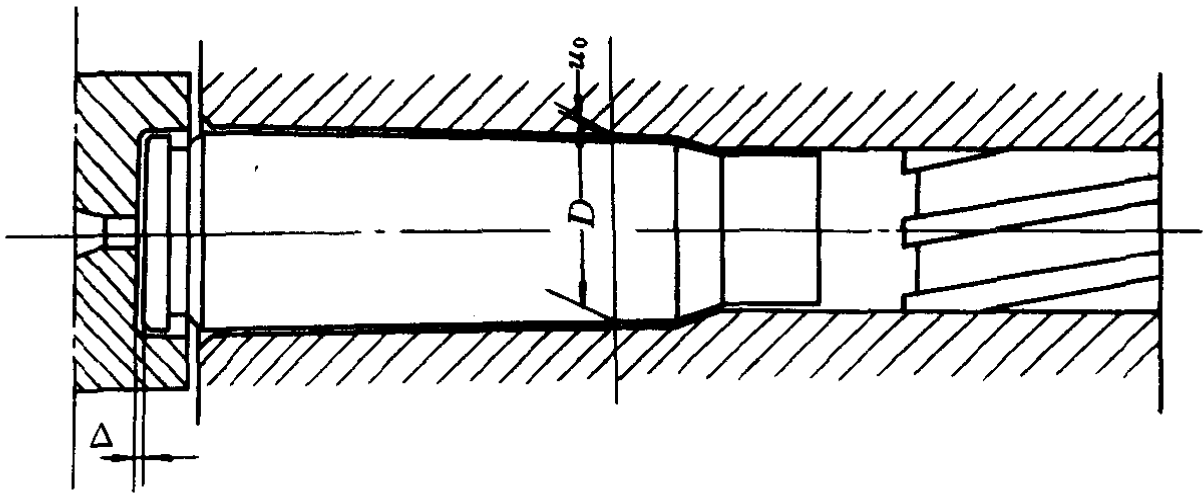


图 8-6 径向间隙与闭锁间隙

发射时弹壳内火药气体压力逐渐升高，弹壳壁在火药气体压力作用下径向膨胀。变形首先在弹壳承载能力最弱的部位开始，弹壳各部位受压膨胀的变形程度取决于各部位的壁厚、机械性能和直径。壁薄、强度低的口部和肩部首先膨胀，贴紧弹膛，也阻止火药气体从径向间隙处逸出，即起了闭气作用。压力不大时变形仅限于斜肩周围（图8-7）。由于存在着闭锁间隙，作用在轴向的火药气体（如作用在弹壳内底面和斜肩的火药气体）将使弹壳轴向伸长，直到弹壳外底面紧贴枪机的弹底窝平面（即闭锁间隙为零）。如果斜肩附近弹壳紧贴弹膛产生的摩擦力与火药气体对斜肩作用力的水平分力之和大于火药气体对弹底的轴向作用力，则弹壳斜肩部就受到轴向拉应力，此应力如超过屈服极限，则产生环形拉薄，如超过抗拉强度则产生斜肩横断。

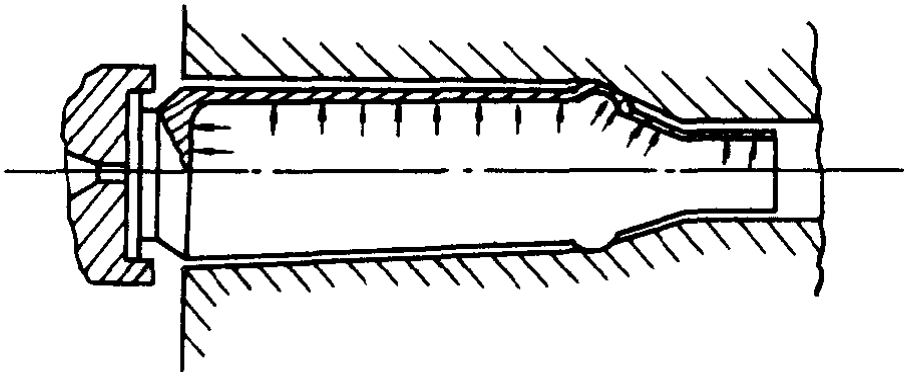


图 8-7 肩部紧贴弹壳、轴向间隙为零

可见枪械的闭锁间隙对弹壳横断起着极重要的影响，为此用不同的闭锁间隙的枪械进行对比射击试验，结果证明闭锁间隙越大，弹壳横断率越高。（表 8—2）

旧枪的横断率高是因为旧枪的闭锁间隙大。12.7 机枪不发生横断是因为枪机在闭锁时弹壳斜肩反向压缩 0.3~0.5mm，即不存在闭锁间隙，弹壳也不存在拉应力。

表 8—2 闭锁间隙对弹壳横断的影响

| 闭锁间隙/mm   |      | 射击数量 | 横 裂 |      | 横 · 断 |      |
|-----------|------|------|-----|------|-------|------|
| 规定值       | 实测   |      | 数 量 | %    | 数 量   | %    |
| 0.05~0.15 |      | 360  | 1   | 0.28 | 0     | 0    |
| 0.16~0.45 | 0.43 | 360  | 6   | 1.66 | 1     | 0.28 |
| 0.46~0.55 | 0.52 | 360  | 14  | 3.88 | 2     | 0.56 |

三、改进措施

弹壳横断是由于轴向拉应变所致，因此防止横断可以从减小轴向变形和提高横断部位承载能力两个方面着手。前者主要是减小闭锁间隙，而这涉及枪械问题，是无法实现的。故只有从提高斜肩部强度角度着手改进。

1. 增加弹壳斜肩部位的壁厚

弹壳壁厚增加，使该处产生塑性变形小或无。7.62 弹壳在斜肩处壁厚增加 0.03~0.05mm 后再也没有出现过横断。

14.5 钢弹壳试制过程中常发生下斜肩以下 2 毫米处发生横断。曾专门对壁厚与横断的关系作过试验（表 8—3'）。

表 8—3' 14.5 钢弹壳斜肩壁厚对横断的影响

| 弹壳斜肩壁厚      |           | 下斜肩 2mm 以下的射击疵病 |      |      |        |
|-------------|-----------|-----------------|------|------|--------|
| 加厚情况        | 斜肩壁厚/mm   | 射击数/发           | 横断/发 | 断痕/发 | 环形拉薄/发 |
| 未加厚         | 0.57~0.61 | 846             | 35   | 18   | 220    |
| 加厚 0.05/mm  | 0.64~0.70 | 358             | 3    | 4    | 42     |
| 加厚 0.075/mm | 0.65~0.73 | 1471            | 0    | 0    | 194    |

2. 增加钢弹壳的含碳量

这也是增加横断部位强度的方法。14.5 钢弹壳规定的含碳量为 0.16~0.22%，试验证明，含碳量在下限时就容易出现横断。在上限时可以基本避免。（表 8—3''）。

表 8—3'' 含碳量对横断的影响

| 含碳量/% | 下斜肩下 2mm 处的射击疵病/发 |    |    |      |
|-------|-------------------|----|----|------|
|       | 射击数               | 横断 | 断痕 | 环形拉薄 |
| 0.21  | 218               | 0  | 0  | 13   |
| 0.16  | 846               | 35 | 18 | 220  |

3. 调整烧口过渡区的位置

末引后为了能进行收口，必须在斜肩以上的部分进行再结晶退火（称烧口）。退火后强度高则对防止横断有利，但会降低斜肩部的闭气性。产生喷烟疵病。由于是局部退火，即只对

收口部分（下斜肩以上部分）退火，因此存在再结晶和不再结晶的分界区（称为烧口过渡区）。一般把烧口过渡区设计在下斜肩以下不远处，如 14.5 钢弹壳在下斜肩以下 2~4.5 毫米处，此处以上为再结晶开始区。

出现横断时可以调整烧口过渡区位置，至于上移还是下移，要视具体情况而定，实践中上移和下移避免横断的成功例子都有。

#### 四、弹后喷烟

##### 1. 现象

射击时在枪尾喷出一小股微热的气体，严重时可喷出枪外 100~200 毫米。一般情况下不致伤害射手，但对射手精神上会有一定的威胁。

低温射击时易出现喷烟。喷烟的弹壳外表面局部熏黑，严重时全部熏黑。局部熏黑者有一个部位一直熏黑到底缘，火药气体就是从这个位置喷出的。

检查射击后喷烟弹壳的尺寸，发现弹壳没有胀大，特别是口部，其内径仍然小于弹头中径，几乎与未装配成弹以前一样。

##### 2. 影响喷烟的因素

产生弹后喷烟的原因是很明确的，是弹壳的闭气性不良。即在射击的开始阶段（膛压不高时）弹壳的肩部或口部没有紧贴弹膛，致使一部分火药气体从弹壳和弹膛的间隙中逸出。

枪弹击发后膛压逐渐升高，当升高到起动压力时（起动压力即弹头开始向前移动时的压力）弹头与弹壳脱开，火药气体开始从弹壳逸出，理想的情况是这时斜肩或口部应紧贴弹膛，如果封闭迟，则火药气体即由口部向后逸出，把弹壳熏黑。所以观察弹壳外表熏烟长度即可知道弹壳闭气程度，熏烟长度越大，闭气性越差。

要使弹壳在低膛压时贴膛，应从以下几方面入手：

（1）降低肩部和口部的强度，即降低烧口后的硬度。但这又会引出弹壳横断的疵病，因为斜肩强度降低了。如果烧口位置过分降低（即降低上部硬度）还会引出胀膛（卡壳）的疵病，所以调整硬度应兼顾双方。

（2）提高拔弹力。提高拔弹力就是提高起动压力，对提高闭气性是有好处的。提高拔弹力的方法之一是提高弹壳口部的硬度，这又和闭气性相悖。故可以从增大弹头和弹壳的过盈量和加强紧口力方面着手。

（3）选用初期燃速快的发射药。根据对不同批号的合格的发射药的  $P-t$  曲线测定，虽然最大膛压和到达最大膛压的时间都相同，但有的发射药的壓力先急速升高，后缓慢升高，有的则反之，而后一种发射药对防止喷烟是有利的。当然，对发射药的这种要求，在生产中是不易实现的。

#### 五、弹壳底缘拉脱

##### 1. 现象

弹壳射击后，弹壳没有被抽出（留在膛内），承受抽壳力的弹壳底缘被拉壳钩拉弯，称为底缘拉脱。如果底缘被拉壳钩剪切掉一个缺口，则称为底缘拉缺（图 8-8）。这种疵病在大口径弹壳由铜改为钢的过程中曾多次产生过。

底缘拉脱是不许可的疵病，发生这种疵病时弹壳胀在膛内不能抽出，使机枪停发，失去战斗力，贻误战机。由于胀得很紧，这种故障不能很快排除。

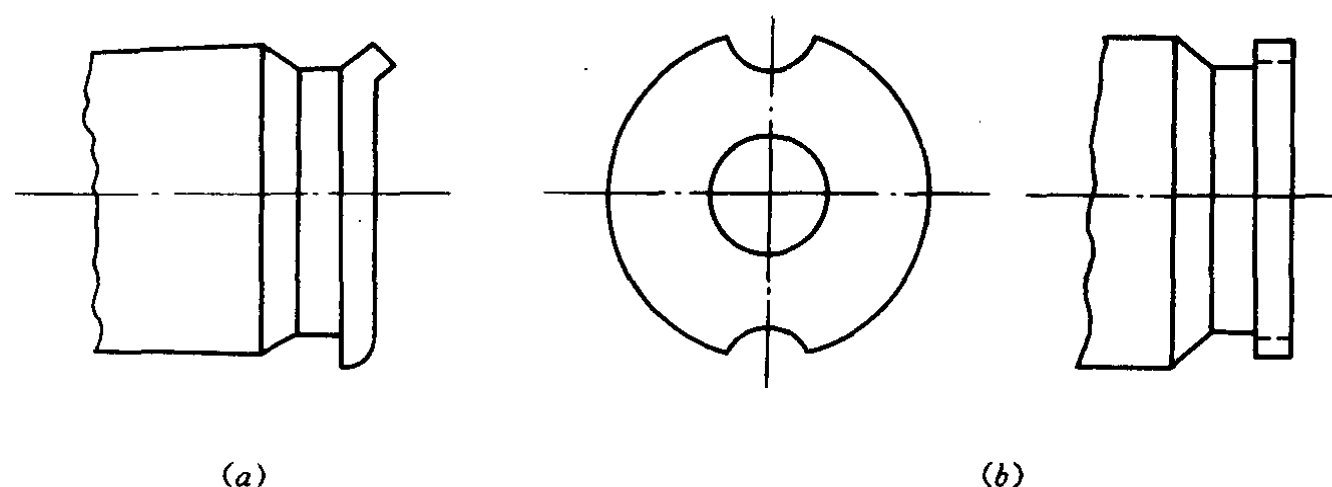


图 8-8 弹壳的底缘拉脱  
(a) 底缘拉脱; (b) 底缘拉缺

## 2. 影响底缘拉脱的因素

产生底缘拉脱的机理是很清楚的，即抽壳力过大和弹壳底缘强度不足。影响抽壳力的因素很多，如弹壳结构尺寸、膛压高低、弹壳各部位的机械性能等，但对于结构尺寸和武器性能已经确定的条件下，影响抽壳性能的主要因素是弹壳各部位（主要是体部）的机械性能。体部强度越高，射击后弹壳的回弹量越大，抽壳力越小，反之则抽壳力增大。

增大体部强度可以采取以下方法：

(1) 提高钢弹壳材料的含碳量：随着含碳量的增高，钢的强度增大，对降低抽壳力，防止底缘拉脱是有利的，表 8—4 为不同含碳量对底缘拉脱的影响的试验结果。

表 8—4 含碳量对 12.7 钢弹壳底缘拉脱的影响

| 序号 | 钢 号  | 含碳量/%     | 射击数/发 | 底缘拉脱 |      | 备注    |
|----|------|-----------|-------|------|------|-------|
|    |      |           |       | 发    | %    |       |
| 1  | S20A | 0.16~0.17 | 303   | 48   | 15.8 | 有底缘变形 |
| 2  | S20A | 0.20      | 200   | 5    | 2.5  |       |
| 3  | S25A | 0.26      | 53    | 0    | 0    |       |
| 4  | #35  | 0.36      | 52    | 0    | 0    |       |

由表 8—4 看出含碳越高防止底缘拉脱的效果越好。但含碳量高会引起工具磨损大，废品率高等缺点，因此增加含碳量是有一定限度的。

(2) 加大弹壳体部加工率：利用冷塑性变形来增加体部强度是弹壳制造的一个重要手段。但根据材料加工硬化的强化曲线可知，当应变量增加到一定程度后，材料强度的增加不大了（曲线趋于水平）。因此这个方法也是有限度的。

(3) 采用圆饼调质处理：调质处理可以提高低碳钢的综合机械性能，尤其是提高钢的屈服极限和应变时效冲击值，对防止底缘拉脱是极为有利的。（表 8—5）。

表 8—5 圆饼调质对 12.7 钢弹壳底缘拉脱的影响

| 钢 号  | 含碳量/%     | 热处理情况 | 射击数/发 | 底缘拉脱 |      |
|------|-----------|-------|-------|------|------|
|      |           |       |       | 发数   | %    |
| S20A | 0.16~0.17 | 不调质   | 303   | 48   | 15.8 |
|      |           | 调质    | 395   | 3    | 0.76 |

续表

| 钢 号  | 含碳量/% | 热处理情况 | 射击数/发 | 底缘拉脱 |     |
|------|-------|-------|-------|------|-----|
|      |       |       |       | 发数   | %   |
| S20A | 0.20  | 不调质   | 200   | 5    | 2.5 |
|      |       | 调质    | 200   | 0    | 0   |

提高弹壳底缘强度可以防止产生底缘拉脱，然而在现有的工艺条件下提高底缘强度是有困难的。因为底缘是靠加工硬化来提高强度的，其变形程度主要由底部形状确定，产品尺寸确定后，压底的变形程度也就确定，很少有调整余地。如采用药筒的底部淬火来提高强度固然可以，但在生产实践中用单个产品淬火的方法对于大量生产的弹壳很不合适。

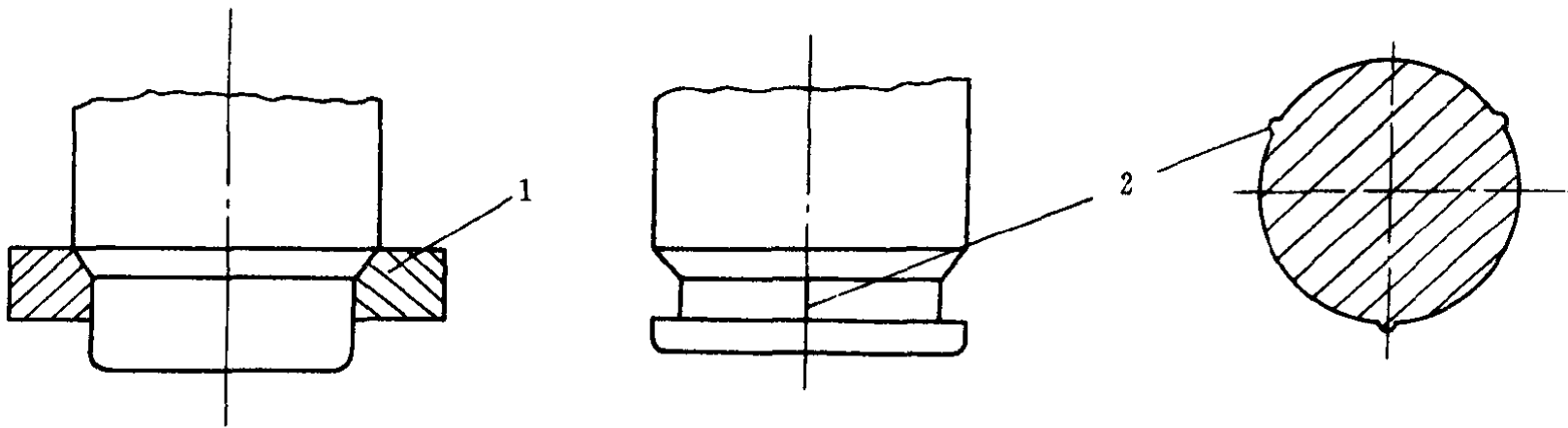


图 8-9 锻压法制造底缘

1. 垫圈；2. 突起

用底部锻压法制造底缘，可以省去弹壳唯一的一道切削加工——车底，同时也可以极大的提高底缘强度，对防止底缘拉脱极为有效。

用锻压法制造底缘的原理见图 8-9。挤孟时底部挤成如图形状，压底时底槽处放入垫圈，为了使锻出底缘后能取出垫圈，垫圈可由三瓣组成。锻压后在瓣的接缝处会出现三个不深的突起，试验证明，它对抽壳无影响。

此法在实验室已研制成功，但由于工装复杂，垫圈寿命低等原因，尚未用于生产。

## § 8.4 枪弹射击试验中出现的弹头质量问题及其原因分析

### 一、弹头的射击密集度不稳定

弹头的射击密集度是枪弹的主要战术技术指标之一，它直接影响弹头对目标的命中率。

#### 1. 现象

射击密集度不稳定是指射击密集度时好时坏，交验时不合格，复试时又合格了。例如某 7.62 普通弹表现为，平均射击密集度值（即  $R_{50}$ ）偏大，复试率高；单批射击密集度值小，多批混合的射击密集度值大；凡射击密集度不合格者经复修后射击密集度值变小；凡弹头底窝部有轻微露铅者密集度值小。

#### 2. 提高射击密集度的措施

影响射击密集度的原因可以来自多方面，如枪械原因，枪弹原因，试验方法问题等。这里仅就弹头对射击密集度影响作一阐述。

弹头射击密集度不稳定，主要是弹头的一致性、对称性和合装密实性差所致。为此对每个

弹头元件的制造和装配工艺可采取以下措施：

(1) 在弹头壳制造方面控制对称性和一致性，具体做法是：

①控制弹头壳的壁厚差。首先控制弹头壳孟子的壁厚差，在下料冲孟和引伸时有良好的润滑，并注意调整工具的同心度。

②控制弹头壳的壁厚和内外弧形。只要控制引伸和冲尖工具的磨损和统一各机床的冲尖操作，就可以大大提高弹头壳的一致性。

(2) 钢心制造方面主要控制一致性和对称性，具体做法是：

①防止钢心弯曲。钢心冲型时其直径略小于凹模直径，冲压时容易弯曲。实践证明，注意钢条直径、椭圆度，提高冲型模制造质量和控制磨损，钢心弯曲是可以防止的。

②控制钢心两端面，使之平齐。钢心是由冲模剪切而成，两端面不会很平齐，冲型后可能会改善些。这影响了对称性。操作中应注意控制剪切间隙和工具的磨损，如有条件可在下料后将毛坯两端修平。

(3) 铅套制造（含钢心压入铅套）方面除了要控制铅套的对称性和为弹头装配时控制弹头的对称性创造有利条件外，还要为弹头装配时控制弹头重心的一致性创造有利条件。具体的做法是：

①控制铅套口部及弧形部的壁厚差。实践证明，只要注意改进冲压过程中铅的流动条件，保持良好的润滑条件，加强冲模同心度和冲子力量的正确调整，铅套的壁厚差是可以控制在较小范围内的。

②控制钢心突出铅套的高度，为保证弹头重心位置一致性创造条件。钢心突出铅套过高时对稳定弹头射击密集度不利；突出量过低，则弹头装配时弹头底窝处露铅程度大，既影响外观，还会使弹头装配时达不到密实性要求，不利于提高射击密集。实践经验是，钢心突出铅套的合适高度应该是既保证弹头的合装密实性，合装后底窝又有不大的露铅。

(4) 在弹头装配方面应控制一致性、对称性和合装密实性。具体作法是：

①控制底窝的露铅程度，以保证合装密实性。实践经验证明，可以用加大合铅（钢心压入铅套）、预压和卷边的力量，使弹头底窝有轻微露铅，这是正确的。但不可用降低钢心突出铅套高度的方法来达到露铅。

②控制预压、卷边、成型工序的圆柱部直径，防止过径时因圆柱部直径收缩过多而在其尾锥部与圆柱交接处产生倾斜，形成不对称。

③控制弧形部、尾锥部对圆柱部的不同轴度，以提高弹头的对称性。实践表明，只要加强冲模同心度和冲子力量的正确调整，提高工具的质量，弧形部、尾锥部对圆柱部的不同轴度是可以控制在较小范围内的（有专门量具检验三者的不同轴度）。

④控制弹头圆柱部直径公差，提高弹径的一致性。产品图上圆柱部直径公差规定为0.05mm。根据实践，其公差以控制在中上限为宜。由于采用了硬质合金作过径模，这个公差控制是比较容易的（模具磨损小）。弹径直径偏大时，在枪管磨损的条件下（旧枪）仍能有较好的射击密集度，但枪管磨损比尺寸偏小者大。

⑤辊沟时防止紧口沟过宽，防止弹头变形。

(5) 枪弹装配方面主要控制装药量偏差和紧口工序。

## 二、弹头飞行破裂

有飞行破裂疵病的弹头，在弹头飞出枪口后弹头壳破裂，弹头壳内的各个元件，如穿甲钢心、铅套、曳光管飞散。在距枪口一定距离的偏差板上可以看到弹头壳破片、钢心等穿透的痕迹，在破裂时，有时能见到灼眼亮光，听到不正常的弹头飞行声或爆炸响声。

弹头发生飞行破裂就不能击中目标，丧失了战斗作用。破裂后的破片和各种弹头元件偏离原弹道。不规则的飞行，有可能伤及本阵地人员。因此弹头飞行破裂是枪弹生产中必须严格控制的质量问题。

由于弹头结构各不相同，产生飞行破裂的原因也各异。一般来说多半是由于发射药气体在膛内引燃了弹头内的燃烧剂或曳光剂，燃速过快，引起弹头壳或管壳炸裂，加上弹头壳高速旋转的离心力，即形成破片。

### 1. 燃烧剂在弹尾的穿燃弹飞行破裂

这种弹的结构特点是在穿甲钢心的尖部和尾部均有燃烧剂。而底部的燃烧剂有一个称为底碗的零件与弹头壳尾锥相配合来封闭火药气体（图 8-10）。

该弹头发生飞行破裂时枪口附近有灼眼的白色亮光（显然是弹尾的燃烧剂燃烧所致），在距枪口 8.5~17.5m 的偏差靶上有钢心、弹头壳和底碗的破片穿过孔，并听到爆炸声，显然是弹头壳和底碗炸裂所致。

从拣回的破片看，弹头壳尖部和弧形部完整无损，圆柱部有个别还是完整的，这说明弹头前部的燃烧剂没有燃烧。检查该批弹头壳，未发现有夹灰、残痕、裂缝等机械伤痕，弹头壳壁厚和硬度均符合产品图要求。说明弹头不是由于本身质量而破裂。弹头壳底部卷边不良者发生飞行破裂较多。

从情况分析，可知弹头飞行破裂的原因是火药气体从底碗和尾锥的缝隙中逸入（图 8-10），点燃底部燃烧剂，使之燃烧，引起底部炸开。加强卷边，虽可以改善一些，但不能彻底解决飞行破裂。因为尾锥与底碗间的结合不可靠，底碗前移及其和尾锥间配合不紧密的可能性始终存在着，只有改变这种结构才能彻底消除飞行破裂。

### 2. 曳光弹的飞行破裂

曳光弹飞行破裂的原因主要是曳光管内曳光剂压药密度低，在枪弹发射的瞬间高温高压的发射药气体使曳光剂产生速燃并引起爆炸，导致飞行破裂。

曳光剂在管内必须压紧，称为压药。压药的目的，一是降低曳光剂的燃速，二是增加药量，以维持一定燃烧时间，三是赋予药剂以一定的强度，使承受膛压和离心力而不致破碎。压药力大则燃速低，过高的压药力会把药剂压死（不能再点燃），但过小的压药力（压药密度小）的曳光管在密闭或半密闭的条件下燃烧，有可能从速燃变为爆炸。

为了验证上述论点，设计了以下五种曳光管进行试验。

1 号：正常装药量和压药密度。

2 号：用减小装药量的方法减小压药密度得到压药密度小的曳光管。药量由正常的 2.28g 降至 2.14g，最后一次压药力由正常的 55~60kN/个降至 33kN/个。药面高度与正常曳光管同，如果分析正确，应产生飞行破裂。

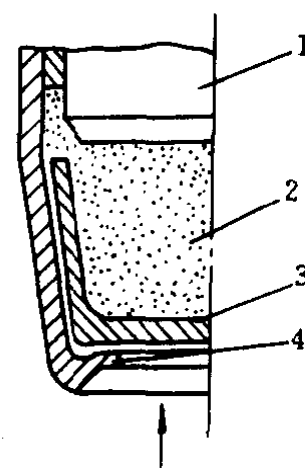


图 8-10 火药气体从底部缝隙逸入

1. 穿甲钢心； 2. 燃烧剂；  
3. 底碗； 4. 弹头壳

3号：与1号相同的装药、压药参数，但压药后管壳外径略为磨小，目的是验证压药密度符合要求的条件下，曳光管装配不紧是否会产生飞行破裂。

4号：与1号曳光管装药条件相同，但不装引燃剂，目的是为了明确曳光管的速燃、爆炸是否是由引燃剂引起。

5号：2号曳光管中不装燃烧剂，目的是与4号作对比。

试验结果如表8—6。试验结果说明，曳光剂压药密度不足是引起曳光弹飞行破裂的主要原因。曳光管装配过松和引燃剂质量不是引起飞行破裂的原因。

表 8—6 5种曳光管射击试验结果

| 曳光管编号 | 枪管已射击弹数/发 | 射击数/发 | 破裂数/发 |
|-------|-----------|-------|-------|
| 1     | 200       | 54    | 0     |
| 2     | 200       | 60    | 11*   |
| 3     | 200       | 46    | 0     |
| 4     | 500       | 43    | 0     |
| 5     | 500       | 29    | 8     |

\* 包括有5发横弹。

针对上述原因，工艺上应采取以下措施：

(1) 曳光管装药采用多孔体积定量法。影响装药正确性的重要条件是药粒，造粒后颗粒的均匀性。应采取措施提高颗粒的均匀性。

(2) 曳光管的压药力是无法测量的，但压药力大时管壳外径会扩大，利用这个原理，可以把管壳外径小于某一值的曳光管剔除。

(3) 加强控制和检验影响压药密度的因素，如装药量、压药冲长度、机床闭合高度等。

3. 燃烧剂在穿甲钢心前面的穿燃弹的飞行破裂

燃烧剂在穿甲钢心前面的穿甲燃烧弹飞行破裂的机理，至今尚不是很清楚。但从长期生产实践中可以总结出以下几条因素：

(1) 和弹头装配的轴向紧密度有关，轴向出现“尾空”（即卷边部分不紧贴钢心），则容易出现飞行破裂疵病。

(2) 与枪械烧蚀程度有关，枪管烧蚀越严重，出现飞行破裂数量越多。

(3) 与燃烧剂的感度有关，感度高，飞行破裂数多。

为了证明上述因素的影响，进行了以下试验：

(1) 将燃烧剂减小0.7g，装配时形成轴向不紧密（尾空），射击50发弹，有11发破裂。

(2) 弹头不装燃烧剂，改为装0.5g水泥，装配时弹头轴向不紧密，射击后50发有3发破裂，此试验说明飞行破裂不完全是燃烧剂的原因。

(3) 用大直径钢心装入弹头壳内，过径时轴向延伸，形成尾空，射击100发，有9发破裂。

(4) 用正常直径钢心装入弹头，装配后弹头无尾空，射击无破裂。

(5) 用减小0.7g燃烧剂的尾空弹头，将焊锡封闭弹底窝，射击50发无破裂。

(6) 用不同烧蚀程度的枪管进行射击，结果烧蚀严重的枪管比烧蚀轻微的易出现破裂（表8—7）。

表 8—7 枪管烧蚀程度对飞行破裂的影响

| 弹 头 条 件     |      | 轻微烧蚀  |       | 中等烧蚀  |       | 严重烧蚀  |       |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 钢心直径/mm     | 装配质量 | 射击数/发 | 破裂数/发 | 射击数/发 | 破裂数/发 | 射击数/发 | 破裂数/发 |
| 12.20~12.25 | 有尾空  | 120   | 0     | 120   | 0     | 120   | 5     |
| 12.35~15.45 | 有尾空  | 40    | 0     | 40    | 0     | 40    | 7     |
| 12.48~12.54 | 有尾空  | 120   | 0     | 120   | 5     | 120   | 60    |
| 总 计         |      | 280   | 0     | 280   | 5     | 280   | 72    |

总之，这种弹的飞行破裂与尾空和枪管磨损程度有关，至于尾空后如何引起飞行破裂，还没有统一的说法。影响尾空的因素有：

- (1) 燃烧剂装药量不足；
- (2) 钢心长度过短；
- (3) 钢心直径过大；
- (4) 铅套过重；
- (5) 装配各工序间压力调整不当，轴向压力不足。

装配中燃烧剂量控制在中上限，终压要深，收尾多，卷边多，平底力大，弹底窝直径小即可防止尾空。

三、穿甲率不稳定

对于已定型的枪弹如出现穿甲率不稳定，则主要是弹头制造中的质量问题。对于穿甲弹头来说首先是穿甲钢心的质量问题。

从钢板上观察钢心不能穿透钢板时有以下一些情况，其产生的原因也各不相同：

- (1) 钢板上打下一个深凹，但钢板未穿透。这可能属于动能不足，例如初速偏低等。
- (2) 钢板上仅打一个印痕，钢心从钢板上滑走。这可能是弹头飞行姿态不良造成的。
- (3) 钢心头部穿过钢板后折断，体部卡在钢板上（图 8-11）。这种情况发生在钢心相对长度大的穿甲弹头上，例如某 7.62 穿甲弹钢心的长径比达 4.7，常出现钢心体部折断而使穿甲率降低。

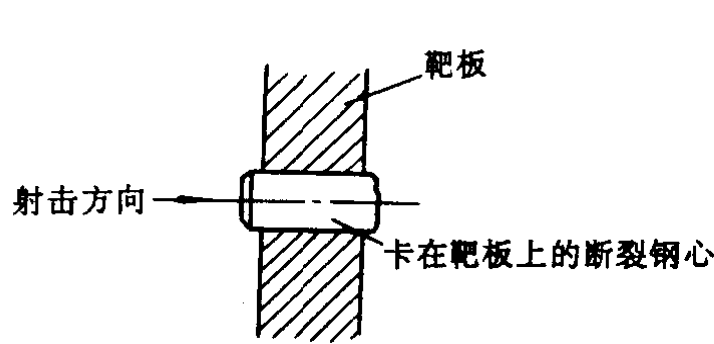


图 8-11 钢心折断

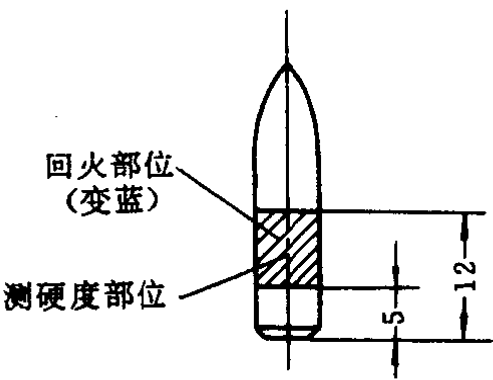


图 8-12 钢心中部回火区

钢心头部承担穿甲任务，它必须硬度很高，但其圆柱部的中后部则不一定要如此高的硬度，因为在头部高速穿过钢板时该部位承受着扭矩，在穿透倾斜钢板时弹头有转向与钢板垂直的倾向，即还承受着弯矩，因此希望该处有较高的韧性。

上述穿甲钢心经过距离底面 5~12mm 处局部退火后，使其硬度降到 HRC50~60，并呈蓝

色，穿甲率显著提高。如由 T12A 钢改为钨钢后，穿甲率可以合格。现利用 T12A 中部回火后穿甲率可达 97%，一次合格率为 100%。

图 8-12 为钢心回火部位。

四、曳光弹光程不足

穿甲燃烧曳光弹是穿甲燃烧弹的辅助用弹，使用时每隔 3~5 发穿燃弹插入一发曳光弹（穿燃曳弹的简称），以此观察弹道是否指向要射击的快速移动目标，以便修正射击方向，迅速击中目标。如果光程不足，不能观看远处弹道，造成盲目射击，浪费弹药，贻误战机。

曳光弹光程不足的主要原因是药柱燃烧速度快，以致因燃烧时间短而造成光程不足。影响药柱燃烧速度的因素有：

1. 药剂成分

曳光剂由金属可燃物、氧化剂和粘合剂三者组成。氧化剂起助燃作用，粘合剂为有机可燃物，可以增加药柱强度，也有调节燃烧速度的作用。

可燃物的燃烧速度取决于它和氧气的化合力，铝镁合金粉中镁和氧的化合力比铝大，即其化学反应快，燃速快。因此减小镁粉，增加铝粉可以延长燃烧时间。

适当增加粘合剂，减少氧化剂也可以减缓燃烧速度。

2. 压药密度

曳光药柱应能承受膛内的最高膛压，压药的单位压力一般为膛压的 3 倍左右，才能保证药柱在射击中的完整性，燃烧时逐层燃烧，如果药柱强度不足，则有可能破碎，使燃速剧增，曳光时间短，形成光程不足。为了防止该毛病，单位压药力一般要大于 784MPa（8000kg/cm<sup>2</sup>），压药密度大于 2.3g/cm<sup>3</sup>。

3. 颗粒大小

同样重量的药剂，颗粒大则表面积小，因此同重量的可燃物，粒度大时燃速慢；氧化剂粒度大则化学反应慢，供氧慢，使可燃物的燃速也降低。当然，过大的粒度会引起药剂熄火。曾进行过试验，将镁粉用 0.19mm 的筛子筛去 21% 的细镁粉，结果曳光时间延长，曳光率 100% 合格。增加硝酸锶粒度也能延长曳光时间，具体试验数据见表 8-8。

表 8-8 粒度对曳光时间的影响

| 试 验 条 件            |     | 细镁粉、细硝酸锶 | 粗镁粉、细硝酸锶 | 粗镁粉、粗硝酸锶 |
|--------------------|-----|----------|----------|----------|
| 常温高射<br>飞行时间<br>/s | 数 量 | 30       | 20       | 20       |
|                    | 最 大 | 4        | 4.6      | 4.4      |
|                    | 最 小 | 2.8      | 4.0      | 4.0      |
|                    | 平 均 | 3.24     | 4.24     | 4.2      |
| 曳光合格率/%            |     | 30       | 100      | 100      |

4. 射击温度

气温、气压同样影响曳光时间，同样的气温下枪弹升温 50℃ 的飞行曳光时间要比常温 20℃ 时短 0.11s。

## § 8.5 枪弹射击试验中出现的底火质量问题及其原因分析

### 一、底火击穿

#### 1. 现象

底火击穿是枪弹射击后弹壳击针窝中心有一个小孔，火药气体从中逸出，将击窝壁熏黑，这种现象又称底火中心漏烟。

底火击穿在 12.7 和 7.62 手枪弹上发生过。底火击穿时会烧蚀击针，也会烧蚀枪机弹底凹平面。

#### 2. 底火击发过程中底火壳的减薄

底火击发过程可以分三个阶段：

(1) 底火弹壳前移并形成小窝。击针作用在底火壳中心把底火壳中心压一个小窝，同时底火也相应地向前动，这时小窝处略有变薄，约减薄 17% 左右。

(2) 底火壳在击针和底火台间挤压。即底火发火到引燃发射药。这时底火壳在击针和火台两个球形面之间受挤压，由于底火壳是黄铜材料（软），故变薄量较大（约 40%），击针的击发动能越大，变薄量越大（图 8-13）。

(3) 底火壳后退。即发射药引燃后膛压升高，火药气体推底火壳后移，直到与枪机弹底窝平面接触为止。这时火药气体与已被挤薄的火台窝接触，高温高压的气体很可能把火台窝击穿。底火击穿不是击针把底火壳打穿，而是火药气体把已挤薄的底火壳击穿。

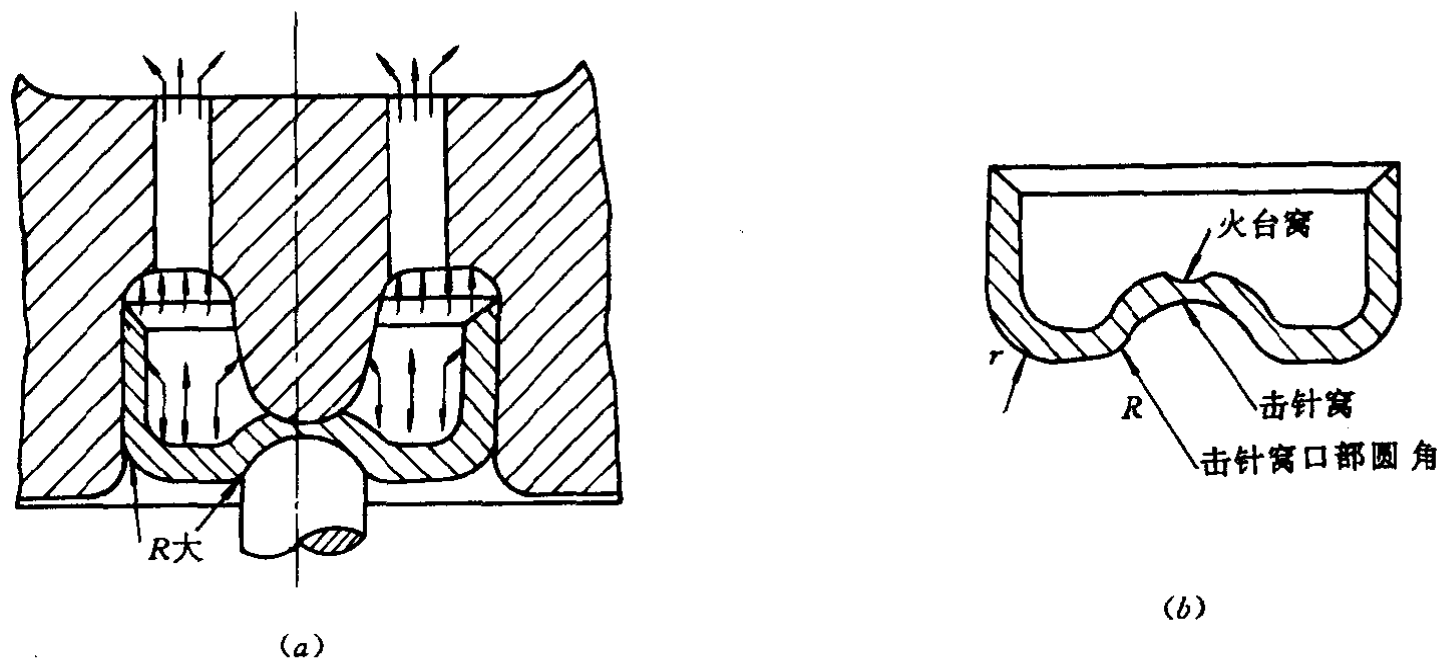


图 8-13 底火壳在击针、火台间压挤

(a) 火台、底火壳、击针紧贴；(b) 挤压后的底火壳

为了了解击发过程中底火壳变薄的情况，用 7.62 手枪弹进行了以下试验：

试验一：正常手枪弹射击后取出底火，测得其击窝处壁厚为 0.12mm，比初始厚度 0.49mm 减薄 0.37mm，可见击窝处是很薄的。

试验二：用不装发射药的、弹壳没有火台的枪弹射击后，取出底火，测得底火壳击窝处的壁厚为 0.46mm 左右，仅减薄 0.03mm，说明底火壳在与火台撞击前变薄是不大的。

试验三：用不装发射药的枪弹射击后取出底火壳，发现内表面被击发药熏黑，只有火台凹痕处未被熏黑，表明这时底火壳没有后退，测得击窝处壁厚为 0.37mm，减薄 0.12mm，这

是由于击窝厚向受挤的结果。

如果击发动能很大时击针窝的变薄量可高达 83%。如 12.7 枪弹底火壳厚 0.9mm，用大的击针突出量和大击发能量射击时，残余厚度可达 0.15mm。而不装发射药的弹壳射击后的残余厚度为 0.4mm。实践证明，击针突出量大时底火击穿率高。

### 3. 改进措施

底火击穿实质上是枪械击发动能过大引起的。枪械设计时总希望把击发动能设计得大些，因为动能太小会造成瞎火，这是不允许的疵病，而动能过大虽会引起底火击穿，但底火击穿可以允许有一定比率。所以实际上是瞎火和击穿之间如何协调的问题。

另外，对于生产已久的老产品，如果在枪和弹的关系上发生矛盾时，应尽量修改弹的尺寸。因为不可能把已生产出来的枪进行零件更换（例如改变击针突出量）。

(1) 加大火台深度（减小火台的绝对高度），以减小击针对底火壳的挤薄程度，增加残余厚度。实践证明效果很好。

(2) 适当地提高底火壳材料的厚度。

所有这些改变都不应影响枪弹的发火性能。

## 二、底火脱落

### 1. 现象

枪弹射击后底火脱落有两种情况，一是射击后底火自行脱落，弹壳的底火室壁和底火外部都被熏黑；第二种情况是虽不自行脱落，但稍用力即可把底火从弹壳中抖出。凡是底火脱落的弹底，底火室直径均胀大。

底火脱落是不允许的疵病，因为发射药气体从底火室壁与底火壁之间喷出时，往往使机心的弹底窝平面烧蚀，次数多后在相当于底火外径的部位形成一个圆形沟槽。沟深时可以引起底火壳转角处漏烟（称为底火壁漏烟），严重时损坏机心，影响弹头速度。如果底火掉在枪的机匣内，还可能造成停发。

### 2. 原因分析

底火脱落的主要原因是弹壳底部强度不足。底火与底火室是过盈配合，由于两者的材料和强度不同，在受同样压强作用后的回弹量是不同的，可用模仿抽壳理论的方法来解释射击后弹壳底火室与底火之间的配合关系：

初始状态时底火壳因过盈配合而产生压缩弹性变形，在火药气体的作用下底火壳和底火室一起膨胀，底火壳首先释放出弹性压缩变形，然后是径向弹性扩张，如果底火室变形量大，则还会产生塑性变形，其总变形量等于底火室变形量。底火室强度足够时底火室只产生弹性变形，射击结束后恢复原来尺寸，而底火壳如产生塑性变形则射击结束后的尺寸比初始的要大。所以一般情况下射击后底火壳和底火室间仍为过盈配合。若底火室强度不足，则底火室也产生塑性变形，膛压消失后底火室不能恢复到原来的尺寸，底火室胀大。即底火室与底火壳间有间隙，形成底火漏烟，间隙大者会造成底火脱落。

为了说明上述解释，进行了以下两个试验：

(1) 当弹壳底部强度足够时，无论是黄铜弹壳或是钢弹壳，将其底火室直径放到底火可以直接放入底火室（即成松配合状态），射击后底火壳与底火室间反而形成紧配合。做此试验时，底火周围应点胶，使底火在发射时不致脱落。

(2) 当弹壳底部强度低时，尽管再加大两者紧配合程度，射击后底火仍然脱落。试验采用一种底部强度低的弹壳，将底火室直径由原来正常值 8.94~8.99mm 缩小到 8.89mm，底火直径仍为正常值 9.02~9.07mm，即过盈量增大 0.05mm。在高温（+50℃）和新枪条件下射击，仍产生底火脱落。注意，进行这种试验时，由于底火壳变形过大，会引起击发药破碎，导致膛外炸（不用击针撞击，受振动后自行发火）。

3. 改进措施

防止底火脱落应从提高弹壳底部强度着手，提高底部强度的方法在底缘拉脱疵病时已有阐述，这里就其试验结果作一验证。

(1) 提高钢的含碳量：将含碳 0.22% 和 0.18% 的两种弹壳在相同条件下作对比射击，其试验结果见表 8—9。

表 8—9 含碳量对底火脱落的影响

| 含碳量/% | 射 击 条 件 |            | 射击量/发 | 底火脱落/发 | 射击后底火室 |
|-------|---------|------------|-------|--------|--------|
|       | 枪 械     | 弹 温        |       |        |        |
| 0.22  | 新枪      | 65℃保温 4 小时 | 37    | 0      | 未变形    |
| 0.18  | 新枪      | 65℃保温 4 小时 | 39    | 5      | 变形胀大   |

(2) 钢饼调质：调质后强度可以提高，试验结果见表 8—10。

表 8—10 钢饼调质对底火脱落的影响

| 底火室硬度/HV <sub>5</sub> | 射 击 条 件 |            | 射击数/发 | 底火脱落/发 | 射击后底火室 |
|-----------------------|---------|------------|-------|--------|--------|
|                       | 枪 械     | 弹 温        |       |        |        |
| 调质（251~264）           | 新枪      | 65℃保温 4 小时 | 100   | 0      | 未变形    |
| 不调质（217~225）          | 新枪      | 65℃保温 4 小时 | 100   | 16     | 变形胀大   |

(3) 增加底火环铆或点铆工序。但此工序只能克服底火脱落，而不能防止底火漏烟。

§ 8.6 药筒的验收试验

药筒试验分为鉴定试验和生产验收试验两种。新设计的药筒，药筒材料的改变（如黄铜药筒改为钢质药筒），工艺有重大改变，表面涂层材料有重大改变时必须进行鉴定试验，使产品性能在鉴定试验中得到严格的考验。生产验收试验是在交验批中，按产品图和技术条件规定抽取规定数量的药筒进行试验，试验结果作为该产品是否可以通过验收的依据。

这些试验有外观检查、尺寸检验、机械性能试验、化学成分分析试验、拔弹力试验、抗腐蚀试验、黄铜药筒的抗破裂试验、钢质药筒的时效强度试验、钢质药筒的时效—低温强度试验和靶场射击试验等。这些试验项目中有的是可以合并进行的。

一、机械性能试验

每批药筒交验时必须作机械性能试验。根据产品图规定的各区位置切下试圈，每个试圈做成两个试片，进行拉伸试验，测得抗拉强度和延伸率。按专门的试验法进行测试，按产品图和有关技术文件进行评定。例如有的文件规定口部抗拉强度允许比图纸规定值高 30MPa，

而延伸率不得低于图纸规定值（药筒各区的 $\sigma_b$ 值只有口部规定为一个数值范围，而其余各区均规定为“ $\geq$ ”，延伸率则各区均规定为“不小于”）。又如有的文件规定同一试圈做成的两个试片的 $\sigma_b$ 之差不得超过30MPa。有的规定黄铜药筒的个别试区的 $\sigma_b$ 值可比规定值低3%。

初试不合格时允许按文件规定再抽取一定数量进行复试，但只复试初试不合格的试区，如复试仍不合格，则该批产品作不合格论处。

钢质药筒有时还要作冲击值测定。

## 二、拔弹力试验

只有整装式药筒才作拔弹力试验。拔弹力不属炮弹的装填条件，而是一个弹道起始条件。它对弹道性能有一定的影响。实践表明，随着口径的增大，拔弹力对弹道性能的影响逐渐减弱，甚至很不明显。

中小口径的拔弹力均规定在一个较大的范围内，如某小口径炮弹的拔弹力为18.6~31.0kN；而大口径炮弹的拔弹力则只规定下限值，如 $\geq 34$ kN。虽然规定拔弹力可在较大范围内波动，但生产中仍应尽量控制拔弹力在较小范围内波动，以保持弹道性能的稳定。

实践证明，滚口槽的尺寸和形状对拔弹力的影响很大，因此有些药筒的拔弹力试验值仅供参考而不作验收依据。

一种药筒要配装各种不同弹种的弹丸，在试验前如未明确该药筒是用于何种弹丸时，一律以榴弹进行拔弹力试验。

作为拔弹力试验用的弹丸，其弹尾部与药筒结合处的直径应为图定的最小尺寸加弹体制造公差 $1/3$ ，并严格控制滚口槽的尺寸和粗糙度。

## 三、抗腐蚀性试验

本试验主要是检查药筒在长期存放过程中抗腐蚀的能力。实践表明，影响表面腐蚀的最主要因素是空气湿度。在干燥的空气中存放20年以上，药筒并无受蚀，而在潮湿的空气中或湿木料制作的不透气的密闭木箱内，则短期内即可受腐蚀。

目前都用盐水间浸的方法来检验表面抗腐蚀能力，即在浓度为 $3 \pm 0.2\%$ 、温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 、pH值为6~8的盐水中浸泡7h，然后取出，置于 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 的相对湿度为 $85 \pm 5\%$ 的容器内放置17h，这为一个试验周期。每一周期后检查表面被腐蚀情况。药筒应该经受技术条件规定的周期数而无被腐蚀现象。

不论是黄铜药筒和钢质药筒，均采用3%盐水间浸法。但这种用人工方法加速腐蚀的试验，其试验周期与长期储存时间之间的换算关系，尚待进一步研究确定。尤其是研究适合我国气候条件的加速腐蚀试验方法更具有实际意义。

## 四、黄铜药筒的抗破裂（自裂）试验

自裂是黄铜制品长期存放中最危险的一种疵病。各国的历史上都有过不少黄铜药筒因自裂而造成大批炮弹报废。如美国在第一次世界大战中因药筒自裂而造成700万美元的经济损失。我国也有过类似情况。

黄铜自裂是一种由应力引起的一种晶间腐蚀破裂。影响黄铜腐蚀破裂的原因有：

(1) 黄铜的化学成分：含锌量超过20%的黄铜，其腐蚀破裂的倾向明显增大。铅、镉、锰对破裂也有一定影响。硅则是降低破裂倾向的有效元素。

(2) 产品中存在残余应力(尤其是拉应力): 冲压加工中的残余应力可以通过低温退火消除。但弹丸的压入和底火的压入, 使口部和药筒底缘产生较大的切向拉应力。例如插入弹丸后药筒的口部拉应力可达 155MPa, 故自裂发生在口部者较多(肩部、根部、底部也有)。

(3) 存放环境中的有害介质: 氨、氧、氮、甲烷和水分是形成应力腐蚀破裂的有害气体。试验表明, 具有残余拉应力的黄铜必须同时在具有氨、氧、和水三种气体中才能引起破裂。例如虽有水分和氨气, 但没有空气和含水分的氨时, 即使 30 昼夜也不会破裂, 而当有氧气时 30min 即出现破裂。干燥的空气(氧气)和干燥的氨气也不产生破裂, 只有当产品上有露水膜和水滴时才出现破裂。所以黄铜的腐蚀破裂常发生在夏天, 又称为“季裂”。

所以黄铜药筒应存放在远离氨气和二氧化硫的发生地, 如厕所、马厩、污水坑、腐败的有机物堆放场和居民稠密地(烧煤较多)。

我国采用氨水试验法来测定黄铜药筒的抗破裂性能。在密闭的容器的下部注入含氨量为 23~25% 的氨水, 容器内温度为  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度为 65~75%, 容器内的氨含量不应低于 80mg/l, 被测药筒置于容器的上部。氨熏时间对未涂漆者为 4h, 表面涂漆者为 8h。未涂漆药筒经 4h 试验后裂纹深度不超过 0.3mm 者为合格; 涂漆药筒经 8h 试验后不出现裂纹者为合格。初试不合格者可以进行复试, 复试仍不合格者该批产品作不合格论处。

气候条件对试验结果影响较大, 尤其是在雨季。为防止这些外部条件对试验结果的影响, 在雨季作氨水试验时不但要对试验容器中的温度和湿度严加控制, 而且还要严格控制该试验室的温度和湿度。

美国采用汞试验法测定黄铜药筒的应力腐蚀破裂倾向。是将药筒浸入每公斤溶液含硝酸亚汞( $\text{HgNO}_3$ ) 10g 和硝酸 10ml 的试验液中, 30min 后取出检查裂纹。

两种方法相比有以下优缺点:

(1) 汞是有剧毒药品, 汞试验法严重污染环境和损害操作人员的健康, 而氨水试验法基本上无毒, 操作也方便。

(2) 氨水试验法出现的裂纹小而多, 而汞试验法的裂纹大而少。

(3) 氨水试验法比汞试验法的敏感性大, 即氨水试验法的测试结果更保险, 更可靠。

## 五、射击试验

药筒的靶场射击试验是检查和考核其战术技术性能的重要方法, 主要检查以下项目。

(1) 钢药筒的时效强度: 低碳钢有时效倾向, 即长期存放中有改变机械性能的倾向。为此, 用人工时效后对药筒进强度试验。大量试验表明, 药筒用钢在  $250^{\circ}\text{C}$  保温一小时, 将产生最大的时效效果。

该试验应挑选下体部壁最薄的、壁厚差在允许范围内最大者和外观有允许的最大疵病的药筒, 并用强装药射击, 射击后药筒不应有破裂。

(2) 钢药筒的时效-低温强度: 经人工时效处理后的药筒装配成全弹, 在  $-40^{\circ}\text{C}$  (或  $-60^{\circ}\text{C}$ ) 保温到规定的时间, 然后立即射击。该试验主要是考验长期存放后低碳钢药筒的低温脆性。射击后不允许有体部破裂和底缘拉脱。

(3) 退壳性能: 这是钢药筒的主要试验项目, 应选择以下的最不利的抽壳条件进行试验:

①强装药条件。因为强装药弹的膛压高, 最终间隙小。

②速射、连射。对自动或半自动火炮应进行速射、连射, 以考验抽壳性能, 因为这时炮

膛温度高，对退壳不利，且药筒表面的油漆变粘或焦化，增加了抽壳阻力。

③最大射角和最小射角。最大射角时复进能量小，抽壳力变小。火炮最小射角为负角，这时抽壳阻力增大。

(4) 闭气性：用射击后熏黑长度来衡量闭气性好坏，熏黑长度在技术条件中均有规定，最大熏黑长度可允许达筒体长的 90%。整装式药筒应在  $-40^{\circ}\text{C}$ （或  $-60^{\circ}\text{C}$ ）进行试验，分装式药筒应在最小装药和  $-40^{\circ}\text{C}$  进行试验。生产验收中闭气性试验可和强度试验结合进行。

在药筒生产中，把底火螺纹周围漏烟也归类于闭气性不良中，具体数据在技术条件中有专门规定。

## § 8.7 药筒验收时出现的质量问题及其原因分析

药筒验收时出现的质量问题及其原因与枪弹弹壳基本相同，如射击时纵裂、横裂、闭气性不良、不抽壳、底缘拉脱等，此处不再重复，仅就一些较特殊的问题作一阐述。

### 一、黄铜药筒的应力腐蚀破裂

#### 1. 底部应力腐蚀破裂

某黄铜药筒在储存中产生底部应力腐蚀破裂，裂纹发生在筒底打印记的部位，然后向根部和底部扩展。

该药筒的底火（导火管）是用过盈配合压入药筒底火室，其过盈量为大端 0.2mm，小端 0.22mm。

为了寻找原因，进行了一系列的试验，试验表明：大晶粒度的黄铜药的破裂倾向大于小晶粒度黄铜药筒，底部印记深的药筒破裂倾向比浅的大，底火室与导火管的过盈量越大，破裂倾向越大。

对药筒底缘外层的表面残余应力进行实测，在压入导火管前残余应力较小，且为压应力，一般为  $-30 \sim -59\text{MPa}$ ，当压入的过盈量为 0.1mm 时残余应力为  $+98\text{MPa}$ ，当过盈量为 0.2mm 时残余应力达  $+245\text{MPa}$ 。印记浅时残余应力不发生变化，而印记深时有残余应力且分布不均，有拉有压，大小差异也较大。

由此得出结论，底火室与导火管的过盈量过大和印记过深是导致储存过程中底部产生破裂的原因。

#### 2. 口部和肩部应力腐蚀破裂

某黄铜药筒在肩部和口部发生应力腐蚀破裂，裂纹开始于上斜肩的圆角处，然后向口部方向扩展到滚口槽，向下扩展到下斜肩，均为裂透，裂纹宽达 2.7mm。

将发生破裂和未发生破裂的药筒进行对比试验发现：凡是出现裂纹的药筒，其下斜肩以下的硬度都高，为 HRF90 以上，而无裂纹的产品的硬度均较低，为 HRF80 左右。对金相组织的对比检查发现，凡未产生裂纹的药筒，肩部均为再结晶组织，其晶界清楚，而产生裂纹的药筒肩部组织为再结晶不完全，晶界模糊，晶粒内有较多的滑移线，X 射线检查表明凡出现裂纹的药筒，肩部为未再结晶或再结晶不完全的组织。

从以上对比检查结果可以分析出破裂的原因是收口后的口部退火工艺未控制好，即药筒浸入硝盐的深度未控制好，即浸入过浅，以至肩都未达到完全退火状态（温度、时间也有关

系)，在这种状态下再加上和弹体结合所产生的拉应力，将造成长期储中应力腐蚀破裂。

3. 大口径药筒根部应力腐蚀破裂

该药筒在抗破裂试验时初试和复试均不合格，是在药筒根部的内表面产生裂纹，裂纹深度为 0.31~1.34mm。

针对此问题，进行了以下试验：

(1) 扩大低温退火温度范围，改为 250~290℃，时间均为 120min，但未收到效果。说明该破裂不是由于低温退火温度不对，消除残余应力不充分所引起的。

(2) 机械加工时的夹紧力增大或减小均有破裂产生，说明破裂不是由于夹紧力引起的。

(3) 喷丸参数对破裂的影响。改变喷丸的粒度、压力和时间，发现对破裂影响最敏感的是铁丸的粒度大小，其次是喷丸压力，最后是喷丸时间。最后确定铁丸直径由 2.2~2.8mm 改为 0.8~1.5mm，喷丸压力由 0.35~0.45MPa 改为 0.3~0.4MPa，时间由 5~8s 改为 5~7s，解决了根内部破裂问题。

二、钢药筒低温射击破裂

钢药筒需要在 -40~-60℃ 作低温强度射击试验，而低碳钢具有低温脆性这一弱点。因此，对于钢质药筒如何提高冲击韧性，防止低温脆性破裂，是研制钢药筒成败的关键。

对于钢药筒，还存在一些容易形成低温脆性的不利因素：

(1) 经引伸变形后，药筒的金属组织沿轴向成纤维状，这种组织使钢的脆性临界转变温度显著提高，使药筒在低温下呈脆性状态。

(2) 药筒经过大塑性变形后晶界上存在大量显微裂纹，钢材难免会存在非金属夹杂和各种宏观、微观的缺陷，这些缺陷存在时形成应力集中，提高了缺口破坏的敏感性。在药筒中则易导致药筒破裂。

(3) 药筒各部位存在着较大的加工硬化，而钢在热轧状态时随着变形程度的增加，冲击值下降，临界脆性转化温度升高。例如变形程度由零提高到 30% 时，冲击值降低了近 80%，见表 8-11。

表 8-11 S20A 钢不同变形程度对冲击值 (J/cm²) 的影响

| 变形程度/% | 热处理状态   | 试 验 温 度 /℃ |       |       |       |       |
|--------|---------|------------|-------|-------|-------|-------|
|        |         | 20         | 0     | -20   | -40   | -60   |
| 不变形    | 热轧      | 131.8      | 121.2 | 32.2  | 5.8   | 3.8   |
|        | 调质      | 196.5      | 211.1 | 251.6 | 213.2 | 182.6 |
|        | 淬火+低温回火 | 71.2       | 66.8  | 30.8  | 31.0  | 35.5  |
| 变形 10  | 热轧      | 91.5       | 24.0  | 5.2   | 7.1   | 3.8   |
|        | 调质      |            | 200.1 | 228.4 | 192.8 | 207.8 |
|        | 淬火+低温回火 | 96.5       | 86.7  | 35.8  | 30.0  | 47.2  |
| 变形 30  | 热轧      | 26.8       | 25.1  | 7.9   | 5.8   | 5.8   |
|        | 调质      | 132.3      | 141.8 | 143.5 | 145.8 | 133.9 |
|        | 淬火+低温回火 | 74.3       | 73.6  | 69.1  | 33.4  | 33.4  |

以上是每个药筒都存在的不利因素。此外，加工过程中出现的一些问题也会引起低温破裂，这些毛病产生在某个部位，则射击时该处易发生破裂，例如体部纵向破裂，根部U形裂纹，底缘拉脱等。

(1) 吕德斯线。某钢药筒低温射击后在烧口过渡区产生纵向裂纹。检查破裂部位的金相组织，发现该处出现吕德斯线。烧口过渡区是指烧口时与直接加热部分相邻部位的金属，该处虽然没有加热，但由于传热，表面有一定长度的氧化色，组织也有些变化。

该药筒为两次收口，显然是由于第一次收口后的第二次烧口规范选择不当，即烧口长度过大。降低烧口长度或取消第二次烧口即可消除吕德斯线，克服低温射击时烧口过渡区破裂。

(2) 临界变形程度引起的粗晶区。该药筒系由板料冲压成孟子，孟子压锥打凹后的退火因是临界变形程度，形成如图8-14所示的两个粗晶区。其中Ⅰ区在后续的加工中逐步分散到体部而消失。而Ⅱ区在后续的变形过程中变形很小，经多次中间退火，晶粒越长越大，在压底时聚集在内底转角处，降低了冲击值，导致在接际部或底缘破裂。

粗晶可以通过热处理来消除。实际生产中采用的方法有末前引半制品根部调质处理，成品根部淬火后低温回火等。

(3) 内底转角处金属流线不好。希望金属流线与受力方向垂直，内底转角处流线不好可导致接际部破裂和掉底。

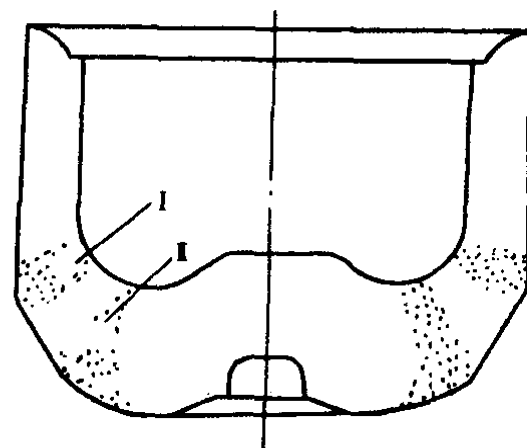


图 8-14 孟子的粒晶区

### 三、底火室螺纹烧蚀和卸底火困难

药筒具有重复使用性的要求，尤其是黄铜药筒，每使用一次必须卸下旧底火装上新的底火，如果旧底火卸不下来或卸下底火的药筒底火室螺纹被烧蚀或烧穿，药筒即不能重复使用。

#### 1. 底火室螺纹烧蚀

检查和试验表明，药筒底部和底火室的机械性能大小对底火螺纹的烧蚀没有明显的影响。影响螺纹烧蚀的主要原因是底火室螺纹加工质量不好，即公差大，使底火和底火室螺纹配合不紧密。此外药筒设计时传火孔直径设计过大，加强了火药气体对螺纹的冲刷作用，也是产生烧蚀的一个原因。

#### 2. 射击后卸底火困难

射击后卸底火困难的主要原因是底火室周围金属硬度过低，使射击时产生过大的残余变形所致。统计结果表明，对黄铜药筒，底火室周围的硬度应大于 HRB80。此外，卸底火困难也可以由于底火体本身强度过低引起。

## 参 考 文 献

- [1] 枪弹制造编写组. 枪弹制造. 北京: 国防工业出版社, 1977
- [2] 钱杏轩主编. 钢质整体引伸药筒的设计与制造. 北京: 国防工业出版社, 1988
- [3] 孙镇和. 兵器冷冲工艺与模具设计. 北京: 兵器工业出版社, 1993
- [4] 杨长顺. 冷挤压工艺实践. 北京: 国防工业出版社, 1984
- [5] 刘志儒. 金属感应热处理. 北京: 机械工业出版社, 1985
- [6] 贾宪安. 热挤压工艺与模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1986
- [7] 邓嵩生. 钢药筒的冲压技术. 北京: 国防工业出版社, 1986
- [8] 萧夫曼著. 冷压原理. 北京: 机械工业出版社, 1957
- [9] Шофман Л А. Теория и расчёты процессов холодной штамповки. Москва: машиностроение, 1964
- [10] 罗 G W. 工业金属塑性加工原理. 北京: 机械工业出版社, 1984
- [11] 斯德洛日夫 М В. 金属压力加工原理. 北京: 机械工业出版社, 1980
- [12] 肖景容等. 板料冲压. 武汉: 华中工学院出版社, 1986
- [13] 孙镇和. 计算机辅助多模变薄拉延模具设计. 锻压技术, 1987. (1)
- [14] 孙镇和. 凹模半锥角对拉拔件机械性能影响的初探. 模具技术, 1987. (4)
- [15] 孙镇和. 单模和多模变薄拉延最大壁变薄率的计算. 锻压技术, 1984. (1)
- [16] 孙镇和. 对变薄拉深变形特点的探讨. 模具技术, 1989. (1)
- [17] OSAKADA K 等. Optimization of working condition in ironing of hollow cylinders. 国际学术会议论文集
- [18] BETZALEL AVITZUR. Ironing with unlimited reduction. 国际学术会议论文集
- [19] 孙镇和. 变薄首次拉深变形的力学分析. 锻压技术, 1991. (2)
- [20] 梁炳文. 板料成型塑性理论. 北京: 机械工业出版社, 1987
- [21] 步兵自动武器及弹药设计手册编写组. 步兵自动武器及弹药设计手册 (上册). 北京: 国防工业出版社, 1977
- [22] 采里柯夫 А И. 机器制造中的横轧. 北京: 中国工业出版社, 1964
- [23] 胡正寰. 斜轧与楔横轧原理、工艺及装备. 北京: 冶金工业出版社, 1985
- [24] 张俊. 常规兵器工业安全技术事故资料丛书, 枪弹分册. 北京: 国防工业出版社, 1983
- [25] 孙镇和. 变薄引伸变形力学性质的确定. 金属成型工艺, 1994. (1)
- [26] 邓嵩生主编. 黄铜药筒设计与制造实践. 北京: 兵器工业出版社, 1993