

醫科加工應用
研究報告集

上海市醫科研究所
一九七九年十月

前 言

在我所七七、七八两年的年度总结资料展览的基础上选取了部分技术报告，经过适当的修改编成此集，定名为“塑料加工应用研究报告集”，向我们伟大的祖国成立三十周年献礼！

本集分三部分：“塑料加工工艺”，“机械模具设计”和“性能测试应用”，反映了我所几年来的科研动向。文章内容有的主要讨论试制过程中的工艺要求，有的是设计经验的介绍和技术上点滴改进的体会。集内共有二十八篇文章，除了“聚全氟乙丙烯加工技术”一文为综述性文章外，其余大多以试验研究报告的形式编写。

由于各课题开展的时间长短以及具备的各种条件不尽相同，所以进展的程度深浅不一。有的课题还在继续进行，则该文是一篇阶段总结，也有的课题在几年前就告一段落，未曾推广应用，则此文是该工作的总结和汇报。总之汇编本集是为了抛砖引玉，同时鼓舞今后我所的科研工作，既向大家介绍情况又向大家学习请教，文中一定有不当之处，请读者不吝赐教。

出版研究报告集，对我所是初步尝试，在编辑出版过程中缺少经验，一定有许多不妥之处请予指正。我们要在本集的基础上总结经验，争取出版续集，把我所的科研成果及时地以报告的形式总结下来推广介绍，让它们为早日实现我国的四个现代化发挥更大的作用。

上海市塑料研究所

272816

1979年 6 月

目 录

塑料加工工艺

1. 聚四氟乙烯等压压缩成型(1)
2. 聚四氟乙烯管材波纹成型技术(8)
3. 聚四氟乙烯焊接技术(20)
4. 填充聚四氟乙烯成型工艺(26)
5. 氟塑料金属耐磨润滑材料(47)
6. 氟塑料等离子喷涂研究(55)
7. 航空用聚四氟乙烯高压软管模拟试验及破坏原因分析(62)
8. 烧结淬火工艺对聚四氟乙烯内管质量的影响(67)
9. 聚四氟乙烯塑料大面积高强度的粘合技术及其应用(73)
10. 聚四氟乙烯玻璃漆布成型工艺及其应用(78)
11. 聚全氟乙丙烯加工技术(87)
12. 聚全氟乙丙烯热收缩技术(123)
13. 聚酰亚胺薄膜(131)
14. 酚醛胶木粉在注射过程中的变化及其对制品性能的影响(142)
15. 聚乙烯醇缩丁醛薄膜热压延脱模技术(151)
16. 耐水压反声泡沫塑料(159)

机械模具设计

- 17. 聚四氟乙烯成型模具设计(168)
- 18. 热塑性氟塑料的模具设计(180)
- 19. 双螺杆挤出机的设计和制造(190)

性能测试应用

- 20. 氟塑料高压软管显微结构研究小结(199)
- 21. 含氟共聚物在高温水(200°C)中的热老化和辐照老化(206)
 - I. 改性聚全氟乙丙烯(206)
 - II. 改性乙烯—四氟乙烯共聚物(217)
- 22. 含氟高聚物热性能表征(228)
- 23. 差动热分析法(DSC)在高聚物测定中的应用(242)
- 24. 氟碳化合物的气相色谱分析(259)
- 25. 对填充聚四氟乙烯摩擦磨损特性的一些研究(268)
- 26. 塑料力学参数的测量和分析(275)
- 27. 油田用塑料野营房材质性能评定(281)
- 28. 50千伏交流改为50千伏交直流两用的耐电压设备(296)

聚四氟乙烯等压压缩成型

吴钟敏

前 言

等压压缩成型1915年首先应用在陶瓷工业上,1917年扩大到粉末冶金工业。直到1960年左右,才被应用在塑料加工工业。可以采用等压压缩成型的塑料,主要有聚四氟乙烯和超高分子量聚乙烯。

聚四氟乙烯等压压缩成型就是利用高压流体迫使不渗透的弹性膜胀大或缩小,使停留在弹性膜和模壁间的聚四氟乙烯粉料均匀地有规则地受压,成为需要形状的预成型品。

弹性膜通常采用天然橡胶制成的橡胶袋或乳胶袋,根据制品的具体情况和要求,适当选用之。

高压流体可以是气体,也可以是液体。气体可压缩性大,需要有一套复杂的设备,才能产生高压,而且也不大安全。液体具有不可压缩性。以水为例,每当压力增加一倍,其体积仅缩小0.005%,操作安全可靠。液体可以是水,或者是油,或者是水—油乳化液。油,有利于高压设备的保养,而不利常用的弹性膜;水—油乳化液是比较理想的流体,但价格昂贵,因此,一般选用水而不用水—油乳化液。这是因为除了水源丰富、价格便宜之外,它和橡胶弹性膜不发生任何作用。同时,即使在弹性膜因受压破裂,流体渗入预制品时,可以用干燥的办法去除水分,得到预制品,而不象油那样沾污预制品。但水不利设备的保养。

等压压缩成型的分类

等压成型时,弹性膜究竟放在预成型模具的内面或外面,取决于成品的结构要求和表面要求、机械加工的难易以及原料的利用率等。这是因为弹性膜受压胀大或缩小,会使制品与弹性膜相接触的一面比较粗糙,甚至凸凹不平。

根据弹性膜在受压成型时胀大或缩小,等压压缩成型可以分为外压和内压两种。弹性膜充高压流体时,如果弹性膜随着流体压力的不断增高而逐渐增大,直到粉料被压实为止,这就叫内压法;相反,如果弹性膜随着流体压力的不断增高而逐渐缩小,则叫外压法。国外称前者为干袋法,后者为湿袋法。

内压法的弹性膜永远固定在压力室的一定位置上,压力室(俗称高压釜)就是模具,模具就是压力室。对不同形状的,或者同一形状不同尺寸要求的制品,则要求相应形状和尺寸的压力室,即相应的模具。因此,对单一产品,生产周期快,适应大批量生产,有向连续化自动化发展的前途。比如,长径比较大的薄壁筒状制品、异形的球壳状制品和烧杯等中空制

品等等，均可采用之。

外压法的弹性膜，完全放置在压力室内，膜内有模具，在膜与模具的间隙中，充满聚四氟乙烯粉料，密封后，充液体加压，弹性膜外壁的每一点上受到压力的作用而均匀缩小，粉料得到压实。泄压后，膜恢复到原来状态和大小。此法具有多用性。就是说，在压力室（即高压釜）的允许尺寸范围内，一大类形状不同的制品，可以单一或者同时在压力室里受压成型。对生产一些形状比较复杂的制品长径比大而壁更加薄的制品以及内表面要求光滑而又难于机械加工的制品等，显然比内压法来得优越而有效。对一些产量较高的单一产品，同样可以实现连续化和自动化。

此外，对于某些有特殊形状要求的制品，还可以用模压压缩成型预压和等压压缩成型相结合的工艺路线制得。

等压压缩成型的工艺过程

用于等压压缩成型的聚四氟乙烯树脂，要求具有较低的压缩比（一般要求2:1）和良好的滑动性，以利于在复杂形状及狭小料口的模具间隙中加料。对一般的聚四氟乙烯树脂，也可采用。

等压压缩成型用之模具（内压法）或高压釜（外压法），要求能承受较大的内压（一般在 $300\text{ kg/cm}^2 \sim 400\text{ kg/cm}^2$ ）而不变形。对于外压法，除了高压釜要求高强度之外，其它模具可以选轻金属如铝合金等金属材料。紧贴树脂的表面，要求有较高的光洁度。长径比较大的制品，模具要求有一定的锥度，这样脱模方便。另外，模具还要求操作方便，减轻劳动强度，安全可靠。

聚四氟乙烯等压压缩成型的具体步骤是，在装配好的模具中，将松散的聚四氟乙烯粉料均匀地填充入弹性膜与模具的间隙里，合模后，注入高压水，借助高压水的压力，通过弹性膜，将粉料压实，脱模后便得预制品。如果希望得到不需要机械加工的制品，可以采用模压成型与等压成型相结合的方法，即用类似模压成型之模具，将粉料先预压成要求的形状，然后再用等压成型制得之。预压压力为 $20 \sim 30\text{ kg/cm}^2$ 左右，以预压脱模后不易破碎为准。

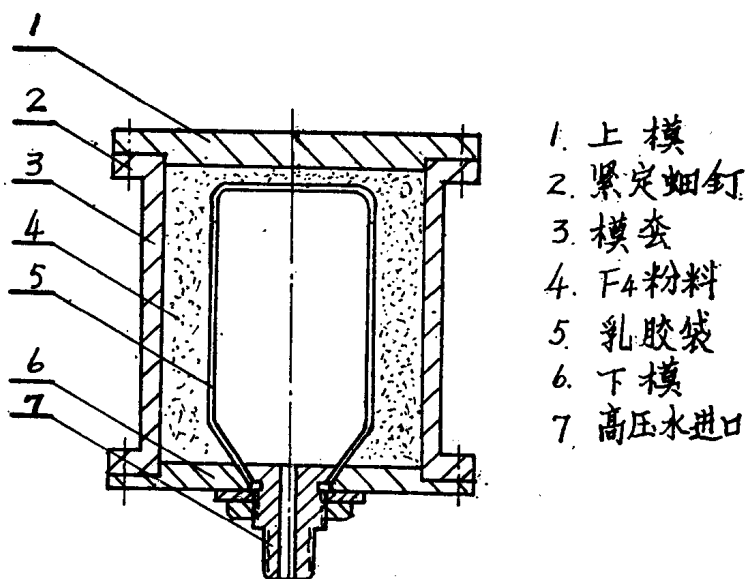


图1. 内压法模具示意图

下面就三个典型制品为例，叙述其工艺过程。

例1 烧杯、贮槽等中空制品

1. 成型方法：内压法

2. 设备：电动试压泵。型号：SY—600型。工作压力，28/600 kg/cm²
流量，530/25公斤/时

3. 模具：结构与装配如图所示1。装法是：把水接头(7)的锥体一端套上胶袋(5)，靠螺栓与下模板(6)固定，放在支架上，另一端通过金属管或金属丝编织的塑料软管，和试压泵连接，再装上模套(3)，用螺栓和下模板(6)固定牢，即可使用。

4. 加料：充气或充水使胶袋胀大到所需尺寸，并保持正中位置。(如果在胶袋里装一个一定大小尺寸的金属或非金属如塑料另件，使胶袋永远保持一定形状，效果更好)。然后往袋四周和顶部均匀地加入经称量的粉料。

5. 受压：盖上上模板(1)，拧紧螺栓，往袋中充水，使压力逐渐升到200kg/cm²。必须注意，在压力上升前，袋中不许留有空气。因为经过压缩之气体，存在于袋中，是极其有害的。

6. 脱模：受足压力后，(保压时间多少由制品厚度决定)，放水拆模，用一比模套内径略小的园筒等工具，将预制品顶出。

对于厚底中空制品(底厚为壁厚的几十倍以上)，为了使靠近底部的胶袋不因粉料的绝对压缩量过大而引起局部过分伸长而造成破裂，在底部末端增加一个辅助胶袋，是切实可行的上下方向同时受压的方法。见图2所示。

例2 $\phi 60 \times 3 \times 1000$ 薄壁套管

1. 成型方法：外压法

2. 设备：电动试压泵(同前)及高压釜

3. 模具与工艺过程

如图3的构造形式，先装好件7、5、3和件6，然后，在件6和件3之间加入粉料4，最后，装件1，于高压釜中受压200~220kg/cm²。泄压，出模。(只需去件1)。

同内压法一样，高压釜在受压前，最好在其中不存在或少存在压缩空气。其方法是在釜的某一适当位置开一个可开关的小孔。粉料中的气体不象内压法那样，从模具的合缝处受压

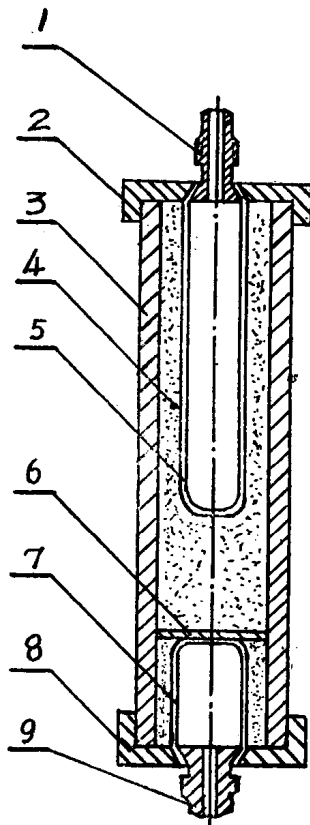


图2. 厚底薄壁中空制品模具示意图

1. 高压水进口. 2. 上模板. 3. 模套.
4. F₄ 粉料. 5. 胶袋. 6. 隔板.
7. 辅助胶袋. 8. 下模板. 9. 高压水进口

排出。因此，对于外压法来说，最好在类似件6的零件上钻孔，让粉料中排出的气体贮藏于此，这样利于成型。

例3 方杯

1. 成型方法：模压和等压相结合。
2. 设备：高压泵和高压釜（同例2）以及压机等辅助工具。

3. 模具：如图4和图5所示。

4. 工艺过程：象模压压缩成型一样，按图4装好模，先将方杯所需之边料加入，以 $20\sim 30\text{ kg/cm}^2$ 左右压力受压，再将模具翻过来，加已称量过的底料，以同样的压力受压。除芯模（6）外，其余模具全部卸掉，按图5装好，放入高压釜中，以 $200\sim 220\text{ kg/cm}^2$ 的压力受水压。泄压，出模。

等压成型制得的预制品，烧结方法和烧结工艺要求，同模压预制品。对一些成型压力达到或接近要求时胶袋破裂的预制品，在烧结时，可先在 $80\sim 100^\circ\text{C}$ 的温度下干燥若干时间去除水分，然后按条件进行烧结。

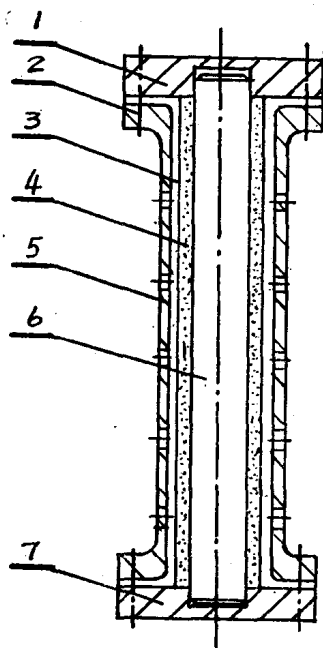


图3. 外压法套筒模具示意图

1. 7. 压紧法兰, 2. 紧定螺钉, 3. 胶袋
4. F4粉料, 5. 加料套, 6. 芯模.

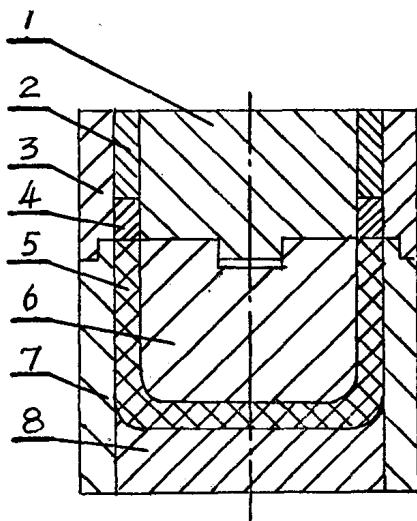


图4. 方杯予压模具示意图.

1. 加料芯棒, 2. 予压圈, 3. 加料套,
4. 予压环, 5. 予压制品, 6. 芯棒
7. 予压模套, 8. 予压底模.

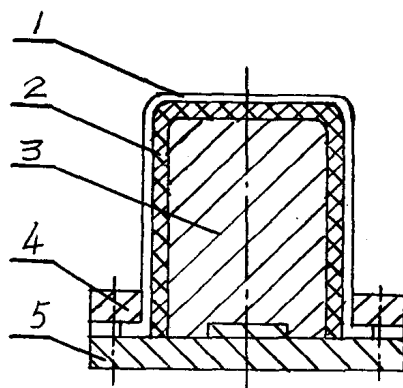


图5. 方杯外压模具示意图

1. 乳胶袋, 2. 予压制品,
3. 芯棒, 4. 压紧法兰,
5. 压紧方底板

等压压缩成型的特点

等压压缩成型较模压压缩成型，有如下特点：

1. 成型设备简单，投产快

由于聚四氟乙烯树脂通常要在 200kg/cm^2 以上的单位压力下，才能得到性能符合要求的型坯，因此随着制品的大小不同，需要配一套不同吨位的压机。制品的面积越大，需要的压机吨位也就越大。以板材为例，成型 $\phi 1000\text{mm}$ 的聚四氟乙烯大板，以上述 200kg/cm^2 计算，就需要有相应工作台面而吨位为二千吨以上的压机，才能满足产品的要求。等压压缩成型只需一台高压泵就可以了。

2. 模具结构简单，操作方便

模压压缩成型用的模具，根据聚四氟乙烯树脂的压缩比决定，一般是预制品的4~5倍。以直径 $\phi 260\text{mm}$ 、高度为 1200mm 、壁厚 $10\sim 20\text{mm}$ 的套筒为例，欲制成这样的制品，它的工艺复杂性暂且不谈，单就模具而言，就需5~6米高。同时，还得配置行程大于5~6米的压机以及相应的辅助工具。不但模具加工量大，钢材用量多，而且操作亦很不方便。采用等压压缩成型，则只需高度和预制品相等的模套和上下盖板，其它一半以上的模具，由弹性膜所代替。

3. 制品受压均匀质量好

欲制得形状较复杂的异形制品，用模压压缩成型方法就比较困难。往往会由于受压不均匀而报废，这是它的最大弱点之一。采用了等压压缩成型，粉料在各点均受到相等的压力，制品不存在不均匀的受力现象，因此正品率高，质量良好。聚四氟乙烯烧杯制品就是如此。

4. 节约原料

由于聚四氟乙烯预成型时，粉料压力传递困难，尤其是长径比较大的制品，往往会由于受压不均匀，出现松紧不一的现象。特别是中间部分受压不足，得不到密度一致的优质制品，因此，制品壁厚要增加。等压压缩成型则可制得长径比大的薄壁制品，节约了原料。例如，400毫升烧杯，等压成型用料仅为模压成型用料的45%。

等压压缩成型制品的特性

1. 收缩率

等压压缩成型制品的收缩率不但接近模压压缩成型制品，而且服从模压压缩成型制品垂直于压力方向收缩的规律。因此，等压压缩成型制品的径向和轴向均收缩。其收缩率随压力的增大而降低。表1是不同成型压力下的收缩率。

表1 成型压力与收缩率关系

成型压力 (kg/cm^2)	150	200	250	300
直径收缩率 (%)	5.1	3.8	3.0	2.6
高度收缩率 (%)	5.3	4.0	3.2	3.1

2. 性能:

和模压压缩成型相同, 等压压缩成型制品的性能受压力大小的影响。由于成型时, 受压均匀, 200kg/cm^2 压力下成型的制品, 性能已接近于 300kg/cm^2 压力下模压压缩成型制品的性能。(见表 2 所示)。就制品的比重、孔隙率和强度而言, 随着成型压力的增大, 制品的比重增大, 孔隙率减少, 强度增加。当成型压力继续增大时, 这些特性的变化趋向恒定。

表 2 等压压缩成型和模压压缩成型制品性能比较

性 能	成型方法 成型压力	模 压 成 型	内等压成型	外等压成型
		300kg/cm^2	200kg/cm^2	200kg/cm^2
抗拉强度 kg/cm^2		281	264	240
断裂时伸长率 %		375	350	340

注。(1)测试试样分别取自圆片(模压压缩成型)、内等压烧杯和外等压套筒(经车外圆);

(2)内等压和外等压之试样, 为两批树脂所得;

(3)内等压法试样内表面粗糙, 外等压法试样车外圆, 数据可能偏低。根据实际情况, 模压成型之制品(除板材外)的性能, 均比试样圆片低。可见, 同样产品如烧杯, 等压成型的制品性能是良好的。

结 论 与 讨 论

聚四氟乙烯等压压缩成型是一种不通过压机而直接采用高压流体的压力, 将松散的聚四氟乙烯粉末压缩成型为预制品的冷加工方法, 属模压压缩成型的范畴。特别适用于采用模压压缩成型得不到的或者经过努力可得到但质量不大理想的异形复杂制品, 如三通、弯头、雷达天线罩、容器等; 还可以成型大型制品, 如大面积板、直径 1000% 大口径管子、贮槽衬里、包装衬里等。不但达到质量要求, 广泛应用到国民经济的各个部门, 而且还具有它独特的优点。然而, 它也有不足之处:

1. 与弹性膜接触的制品表面, 比较粗糙, 或者凸凹不平。

2. 为了便于取出预制品, 压力室的要求不同于化工用的高压容器, 因为, 每成型一次, 必须关闭和打开釜盖一次, 以便加料和取出制品, 因此, 对成型大型制品, 劳动强度大。

尽管等压压缩成型存在这些缺点, 但仍有很大的发展前途。对成型一些大型复杂制品, 在缺乏相应设备的条件下, 仍是不可少的成型方法之一。一些产量较大的制品, 可以向自动化和连续化的方向发展。在应用等压压缩成型时, 下面几点是值得注意的:

1. 弹性膜(主要指胶袋)要求厚度均匀, 弹性好, 无针孔。

2. 直接接触弹性膜的模具(压力室)之表面, 不允许有锐角和毛刺, 以防刺破胶袋。

对于一些在设计要求上不可避免的合缝，应采取有效措施，避免它与胶袋直接接触。如成型半球状中空制品时，为了便于预制品的取出，在球状结构的模具中，必须通过圆中心最大直径而将模具加工成二个半球壳。这样合模后，存在合模缝，在低于成型压力时，弹性膜往往在合模缝处破裂。因此，如果在这合缝处敷上橡皮垫圈或者橡胶管，（见图5）不但起到保护胶袋的作用，而且大大地提高它的使用寿命。

3. 没有特殊要求的制品，其厚度应均匀改变，否则胶袋会在高压下，处于局部过度拉伸造成破裂。成型成败之关键，取决于胶袋的破裂与否，因此，胶袋的密封结构要精心设计。以烧杯或贮槽制品为例，象图1的这种密封结构，有不合理之处。因为在密封口处胶袋常常破裂。如果能改成如图7这样的密封结构，不但胶袋制造方便，而且不易引起破裂。

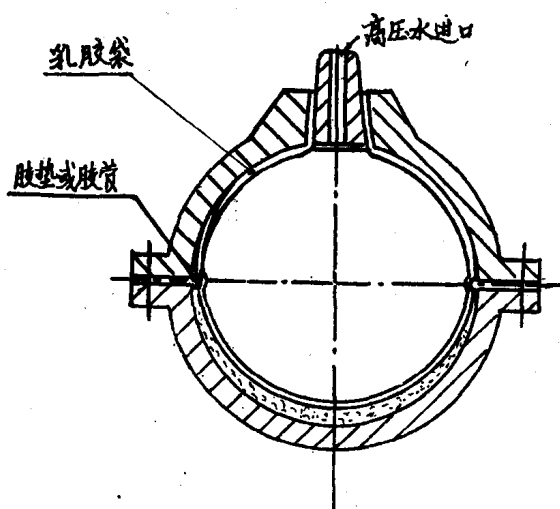


图6 模具合缝处的保护方法

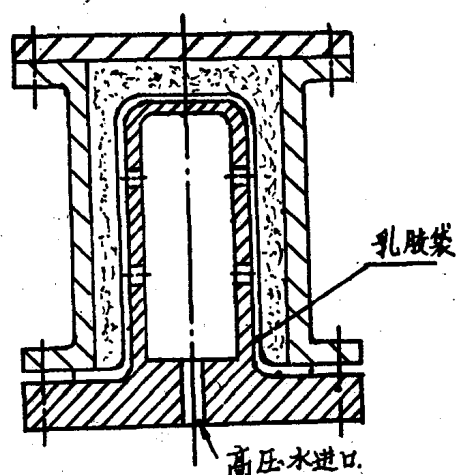


图7 密封结构的改进意见

致谢：参加本工艺研究的同志主要还有缪京媛、王巍、汤克家、还玉金等。

聚四氟乙烯管材波纹成型技术

吴鍾敏 曹贤琍

摘 要

本文介绍了聚四氟乙烯波纹管 and 蛇皮管的用途, 结构特征。着重论述了该类产品的设计要点, 对模具设计的要求, 成型过程的特殊性, 以及该类产品的加热、加压吹胀成型技术、加热旋转成型技术的工艺过程和参数。

引 言

聚四氟乙烯管材的波纹成型技术, 是聚四氟乙烯塑料加工中的一种特殊技术。采用这种技术可以制得性能良好的、应用广泛的聚四氟乙烯波纹管 and 聚四氟乙烯蛇皮管。这类产品除了具有该材料固有的优越性能如优良的介电性能、耐化学腐蚀性能等等之外, 还具有高度挠曲性(或弯曲)和弹性等独特的优点。可以广泛地应用在泵、鼓风机和压缩机的进出口, 耐高温、耐腐蚀输送管道的错位连接和膨胀压缩的吸收, 振动骚音的吸收, 给排管和保护电缆等方面。本文仅就这类产品的设计要求以及成型技术方面, 进行讨论。

聚四氟乙烯波纹管的成型技术

(一) 聚四氟乙烯波纹管的设计

1. 分类和特点

聚四氟乙烯波纹管的波纹形状, 基本有三大类, 即“V”型、“U”型和“Ω”型。为了提高波纹管的使用性能, 对“U”型波纹管还有四种改进结构形式。见图1。这些结构形式, 各有千秋。可以根据具体情况具体选择。譬如, 一般采用切削加工而成的“V”型波纹管, 设计制造容易, 柔软, 伸缩量大。但不宜于大批量生产, 且锐角部位应力集中, 影响使用寿命。“U”型和“Ω”型波纹管, 则无锐角, 应力集中去除, 耐压性较大。少量的可以切削而成。大批量生产, 则采用本部分论述的加热加压吹胀成型技术来成型。其它类型的波纹管, 基本上是为了提高使用温度和使用压力而设计制造的。我所研究的通径为 $D_y = 60\%$ 的高温挠性接管, 系采用 F_4 管坯经车削而成, 是一种外加增强环和钢丝编织增强的“U”型 F_4 波纹管。在温度为 250°C 时的使用压力可达 $26\text{kg}/\text{cm}^2$, 常温下使用, 压力可达 $60\sim 100\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

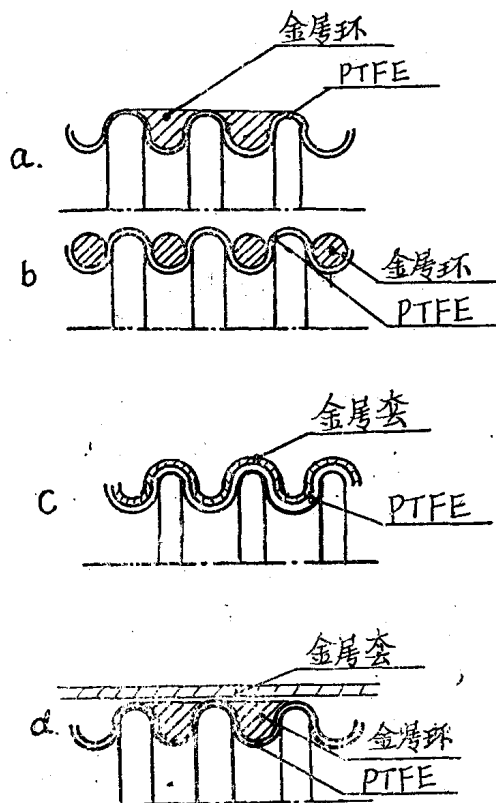


图1 “U”型波纹管的几种波纹结构

一般说来，聚四氟乙烯波纹管的使用压力随着通径的增加而降低。例如，“V”型切削波纹管，通径15%时，使用压力为 7.5kg/cm^2 ，当通径增加到250%时，使用压力降低到 1.2kg/cm^2 ；又譬如，金属环增强的“U”型波纹管，通径15%时，使用压力为 12kg/cm^2 ，而通径为100%时，则使用压力降低至 3kg/cm^2 。

聚四氟乙烯是一种塑性材料。

因此，用它成型的波纹管之使用压力还随使用温度的增高而降低。同一通径和结构的这类波纹管，假设在常温时的使用压力为100%，而在 100°C 时为43%， 150°C 时为30%， 200°C 时为22%， 220°C 时仅为20%。

2. “U”型聚四氟乙烯波纹管的设计

“U”型波纹管的几何形状如图2所示。各种几何尺寸的确定，

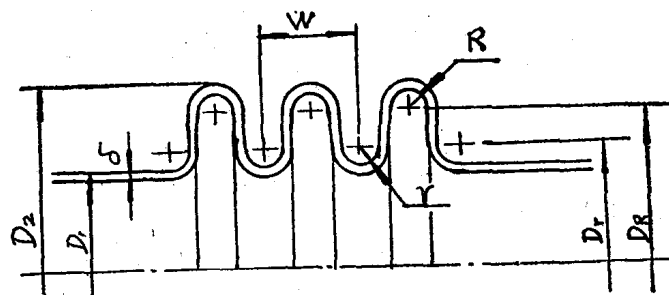


图2 PTFE “U”型波纹管的结构

对成型加工的难易与管子性能等有着密切的关系。

(1) 内径 D_1 的确定

内径 D_1 的确定原则是, 和连接件的配合, 尽可能使波纹管的通径和连结件的内径相等或相近, 以利于流体介质畅通无阻。

$$D_1 \approx D_y \dots\dots (1)$$

式中: D_1 ——波纹管内径%; D_y ——连结件的内径%;

(2) 外径 D_2 的确定

D_1 确定以后, 外径 D_2 根据要求之性能来选择。 D_2 选择合适与否, 将直接影响到波纹管的性能, 加工的难易。我们将 D_2 与 D_1 的比值, 称为 K 值。即:

$$\frac{D_2}{D_1} = K \dots\dots (2)$$

从成型技术的角度来看, 当 $K = 0$ 时, $D_2 = D_1$, 这就是直管。从要求的角度来看, K 值总希望越大越好。因此, K 值越小, 越有利于成型。相反, K 值越大, 成型也越困难。一般地说, 通径小的波纹管, K 值相对地可以大些, 而通径大的则 K 值应当小些。

(3) 波高 (h)

波谷到波峰的距离, 称为波高。用 “ h ” 表示之。它与内、外径有下列关系。即

$$h = \frac{D_2 - D_1}{2} \dots\dots (3)$$

h 值越大, 波纹管的伸缩量也就越大, 弹性也越好, 成型也困难。因为在成型过程中, 波纹管部分虽然材料变薄甚微, 但形状变化大, 这种高温下的变化, 在压力作用下, 容易破裂。

(4) 壁厚 (δ)

波纹管的耐压性能随壁厚的增加变化不大。表 1 表示了它们之间的关系。就加热加压成型而言, δ 过大, 成型也较困难。另外, 过大的壁厚, 还将增加波纹管的刚性。所以, 应当适当选择之。在通径 $D_y = 15 \sim 100\%$ 的波纹管中, $\delta = 1 \sim 2\%$ 。

表—1 波纹管的耐压性能与壁厚的关系

壁厚 δ (%)	变形压力 (kg/cm ²)	爆破压力 (kg/cm ²)
1.4	13	23
1.2	13	22
1.0*	2	10

注: (1) 波纹管经车削而成, 规格为 $D_y = 40\text{m/m}$ 。

(2) * $\delta = 1\text{m/m}$ 由于车削不匀, 压力偏低。

(5) 波距 (W)

波峰与波峰或波谷与波谷之间的距离, 称为波距。以 “ W ” 表示之。即

$$W = 2(R + r) \dots \dots (4)$$

式中: R ——波峰半径%; r ——波谷半径%

W 的大小, 决定着波纹管的伸缩量(或叫补偿量)的大小。

(6) 波数 (n)

波数, 即波纹的个数。以 n 表示。一般说来, n 越多, 总的伸缩量越大。通常取 $n = 3 \sim 5$ 。 n 过多, 不但管坯难加工, 而且成型困难。如果需要更多的波数, 那么可以将两个以上的波纹管串联使用。

(二) “U”型 F₄ 波纹管加热加压吹胀成型

1. F₄管坯的准备

(1) 管坯种类

直径较小的管坯, 采用糊状挤压工艺制备之, 直径较大的管坯, 则可以采用模压和等压成型工艺制备之。不过, 这些管坯都必须进行“淬火”处理, 这样, 不但可以得到柔软性好的波纹管, 而且有利于成型。

(2) 管坯长度的计算(各种符号见图2)

设: 管坯总长度为 L ,

$$\text{则 } L = n \cdot l_0 + 2l \dots \dots (5)$$

式中: n ——波数; l_0 ——单波展开长度%;

l ——直管部分的长度%。

单波展开长度 l_0 的计算方法有二。其一, 按线长度计算。即:

$$l_0 = (D_2 - D_1) + 1.14(R + r) - 2\delta \dots \dots (6)$$

$$\text{或: } l_0 = 2h + 1.14(R + r) - 2\delta \dots \dots (7)$$

$$\text{当 } R = r \text{ 时, } l_0 = 2h + 2.28R - 2\delta \dots \dots (8)$$

其二, 按表面积计算。即:

$$\text{当 } h > R + r \text{ 时, } l_0 = \frac{\frac{1}{2}(D_R^2 - D_r^2) + \pi \cdot R D_R + \pi \cdot r \cdot D_r}{D_1 + \delta} \dots \dots (9)$$

$$\text{当 } h = R + r \text{ 时, } l_0 = \frac{\pi \cdot R \cdot D_R + \pi \cdot r \cdot D_r}{D_1 + \delta} = \frac{2\pi R \cdot D_R}{D_1 + \delta} \dots \dots (10)$$

$$\text{其中: } D_R = D_2 - 2R - \delta \dots \dots (11)$$

$$D_r = D_1 + 2r + \delta \dots \dots (12)$$

比较两种单波展开长度的计算方法, 第(二)种方法较第(一)种更接近实际尺寸。

2. 成型模具的设计要求

加热加压吹胀成型 F₄ 波纹管的模具结构(如图4(一))主要由端模、模片、定位销和密封接头四个另件组成。

(1) 模片的设计要求

(I) 对模片的要求

a) 为取出波纹管, 要求模片可以开合, 且装卸方便。

b) 模具应锁紧可靠, 闭合后, 缝隙要求小于 $0.1 \sim 0.15\%$ 。

c) 工作面圆弧 R 和 r 分别是成型波纹管波峰和波谷的部位, 直接影响波纹管质量和外观形状。因此, 它们的几何形状要求精确, 最好制成半圆形和半圆形。

(I) 模片直径 D_2 和 D_1 的确定

波纹管外径 D_1 和内径 D_2 分别是模片 D_1' 和 D_2' 的设计依据。由于 F_4 的热膨胀系数大, 在成型过程中, 波纹管虽在受压的状态下骤冷, 但收缩仍然严重, 为了保证得到内外径尺寸比较接近于设计要求的 F_4 波纹管, 要求 D_1' 大于 D_1 , D_2' 大于 D_2 。其值由成型温度和成型压力以及骤冷时压力和速度等因素来决定,

一般在 $3\% \sim 4\%$ 的范围。此外, 对于 D_2' , 还要求加上在成型温度下的热膨胀值。这个数值可依据热膨胀系数和式(9)或式(10)计算得之。

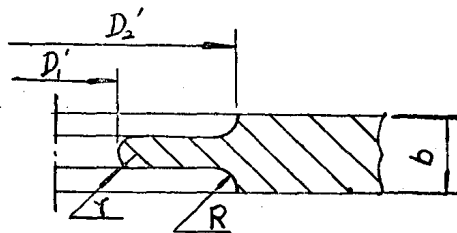


图3 成型模片设计参数示意图

(II) 模片厚度 b 的确定

模片厚度 b 理论上就是波距。实际上, $b \neq W$ 。这是因为, 脱模后, 波纹管波纹有回弹现象。这是在设计时必须注意的。

设: 波纹管的设计波距为 $W(\%)$

单波回弹量为 $\Delta W(\%)$

则: 实际成品的波距 $W_1 = b + \Delta W$

欲使 $W_1 = W$

所以 $W = b + \Delta W$ 即 $b = W - \Delta W \dots \dots (13)$

式(13)说明了 b 比 W 小 ΔW , 而 ΔW 的大小, 与成型温度、成型压力、管坯壁厚、管坯冷却方式等参数有关。

(2) 端模的设计

端模不要求开合。内径等于管坯外径要求有 $5^\circ \sim 10^\circ$ 的锥角, 以供密封之用。 R 和 r 的尺寸同模片。

(3) 定位销的设计

为了得到波高一致、波纹整齐的 F_4 波纹管, 必须严格控制单波展开长度 l_0 , 即固定成型模片于某一准确位置是通过定位销来实现的。

设: B 为定位销的厚度 $(\%)$

则: $l_0 = b + B$ 即 $B = l_0 - b \dots \dots (14)$

式中: l_0 ——管坯单波展开长度 $(\%)$, b ——模片厚度 $(\%)$ 。定位销的形状, 或方, 或圆。

3. 成型条件的确定及成型过程

众所周知, F_4 聚合物是一种晶度极高($93 \sim 97\%$)的纤维状粒子, 即使是制品, 结晶度也为 $50 \sim 60\%$ 。这些纤维状晶体在烧结压制成坯料时, 熔化并弯曲, 这时, 晶体中的链型分子在颇大程度上, 仍保持着相互定向。在这种定向的分子束冷却时, 只有直线部分的分子

束才能结晶，而聚合物的弯曲部分处于非晶态，如果在接近结晶熔点的温度下，进行长时间的加热，则结晶度便会稍有增加。如在313℃下加热35小时，则结晶度从72%增加至82%，此时，机械性能发生变化，使伸长率增加一倍。因此，从某种意义上来说，适当提高温度和合理利用结晶度有利于波纹管的成型。特别是提高温度，效果显著。因为，当温度升高时，F₄的硬度和抗拉强度降低，伸长率增加。（见表2）。从抗弯弹性模数来看，在+20℃时为4700~8500kg/cm²，而在120℃时，则为1100~2450kg/cm²。

表2 温度和机械性能的关系

温 度 (℃)	抗拉强度(kg/cm ²)		伸 长 率 (%)	
	淬 火	未 淬 火	淬 火	未 淬 火
+ 20	250	200	400	470
+ 100	190	115	480	540

这些数量的变化，说明了提高温度对波纹管的成型十分有利。因此，选择适当的温度是成型波纹管的主要因素之一。F₄的熔点为327℃，其最大结晶速度在310℃左右。如果长时间保持在这个温度下，结晶的含量增大，以致其间很小的非晶区处于严重的受力状态，经不起微小的变形，使制品破坏。综合这些情况，并通过实践，我们确定了F₄波纹管的成型温度为290℃左右。

成型F₄波纹管的另一重要因素就是压力。其理由，第一，F₄管坯受热时，不但直径增大，而且长度增长。此时，在管内施加一个内胀力，迫使管坯有规划地而不是“自由”地径向膨胀。这个力，叫“初胀压力”。其大小，由管坯的抗拉强度和壁厚以及成型温度决定。第二，本技术是每个波由一定长度的管坯在受热受压的状态下压缩并胀大而成。因此，除必须在管坯的轴方向施加机械力使管坯压缩位移外，还必须同时加一个内张力，迫使管坯压缩位移时向外而不是向内，这时的轴向力和内张力，主要是内胀力，叫“成型压力”。其大小决定于管坯在成型温度时的爆破压力。既要保证它能迫使管坯径向膨胀，而又不致使管坯爆破为宜。

图4示意描绘了F₄波纹管加热压吹胀成型技术的过程和工艺参数。