

ICS 49.035

CCS V20/29

T

团体标准

T/CI 204-2023

小弯曲半径管内胀推弯成形工艺规程

Inner expansion and push bending forming process

for small bending radius tube

2023-11-30 发布

2023-11-30 实施

中国国际科技促进会 发布

目次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4. 材料与设备	1
5 工艺控制要求	4
6 质量控制要求	9
7 人员、安全要求	9

全国团体标准信息平台

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由南昌航空大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：南昌航空大学、成都飞机工业（集团）有限责任公司、北京航空航天大学、南京航空航天大学、江西洪都航空工业集团有限责任公司、西安飞机工业（集团）有限责任公司、江西腾峰航空机电有限公司、江西佳时特数控技术有限公司、上海航天精密机械研究所、宁波帕沃尔精密液压机械有限公司。

本文件主要起草人：徐雪峰、肖洁、谢君、门向南、刘华、危立明、范玉斌、曾祥、张晓春、孟宝、冯苏乐、邓涛、杨坪川、苏红亮、李仁花、张文俊、彭忠明、李勇、杨吟飞、李小曼、简瀚明、袁姣、文松涛、伍世天、孔庆海。

小弯曲半径管内胀推弯成形工艺规程

1 范围

本文件规定了小弯曲半径管内胀推弯成形工艺的材料、设备、工装、工艺过程控制、质量控制、人员、安全等要求。

本文件适用于管外径为($\phi 15\sim\phi 100$)mm、管壁厚为(0.5~2.5)mm、弯曲半径与公称外径的比值不小于0.9、弯曲线在一个平面内的管材的内胀推弯成形,其中管的材料可适用于铝合金、不锈钢、高温合金。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4436 铝及铝合金管外形尺寸及允许偏差

3 术语和定义

HB 4-55-2002 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

小弯曲半径管: small bending radius tube

导管弯曲半径与公称直径比值小于2的管件。

3.2

内胀推弯成形: Inner expansion and push bending forming

利用金属的塑性,在常温状态下将装有弹性填料的整体管坯推入带有弯曲型腔的可分式弯曲阴模中,使之发生弯曲变形的一种管件成形方法。

4 材料与设备

4.1 材料

4.1.1 管材

管材的外形尺寸及公差应符合 GB/T 4436-2012 的高精级规定。

4.1.2 填充料

小弯曲半径管的内胀推弯成形可采用聚氨酯橡胶作为填充材料,其技术要求如下:

- a) 可根据管件弯曲半径、壁厚、管材性质等因素进行选用。通常可选用邵氏硬度为60A~80A、相对延伸率为300%~700%的聚氨酯橡胶。

b)采用聚氨酯橡胶作为填充料时，其直径按公式(1)确定：

$$d_0 = d - \delta_d \#(1)$$

式中：

d_0 ——聚氨酯橡胶直径，单位为毫米(mm)；

d ——管坯内径，单位为毫米(mm)；

δ_d ——管径余量，单位为毫米(mm)， $\delta_d=(0.5\sim 1)$ mm。

c)采用聚氨酯橡胶作为填充料时，可把其切成长度为(5~20)mm的圆柱体，有助于弯曲过程中压力的传递以及从制成零件内清除橡胶。

d)聚氨酯橡胶工作表面应光洁，不应有裂纹、划痕等缺陷。

4.1.3 润滑剂

4.1.3.1 润滑剂应具有适当的粘度，对管材无腐蚀和易溶于有机溶剂。

4.1.3.2 可采用机油(航空润滑油 60%~80%和石蜡 20%~40%的混合液)、白锂润滑脂、聚四氟乙烯薄膜作为润滑剂。

4.2 设备

设备应满足以下要求：

a) 应能保证推弯过程运动平稳可靠、动作准确、压力稳定且调节和控制方便；

b) 应具有工作台上下运动油缸、左右侧推油缸的运动和提供系统压力的功能，下油缸用于提升下半模至工作位置，并承受成形时的合模力；上油缸用于上半模与下半模的合拢，并产生零件变形所需的合模力；推入缸用于产生轴向推入力，保压缸用于产生轴向压缩力，整个系统的速度和压力应连续可调；

c) 设备应能为弯曲毛坯提供足够的弯曲力矩，弯曲毛坯的弯曲力矩可根据所成形零件的材料性能、断面形状与尺寸以及弯曲半径等基本参数按公式(2)近似估算：

$$M = \mu \omega \sigma_b \sqrt[3]{\frac{D}{R}} \#(2)$$

式中：

M ——弯曲力矩，单位为牛顿毫米(N·mm)；

μ ——考虑因摩擦而使弯矩增大的系数，通常 $\mu=3\sim 5$ ；

ω ——抗弯断面系数；

σ_b ——材料抗拉强度，单位为牛顿每平方米(N/mm²)；

D ——管材外径，单位为毫米(mm)；

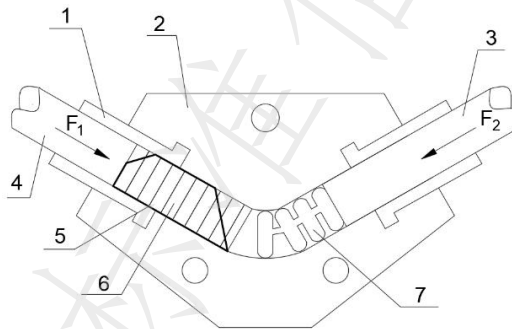
R ——连接管沿中线的弯曲半径，单位为毫米(mm)。

- d) 工作时上、下活动工作台应具有良好的平行度，运动平稳、可控，无卡死、滞涩等现象；
- e) 上作台和左右油缸移动时应无爬行和冲击现象，运动方式转换准确、灵活，各部件锁紧装置不应松动；
- f) 机床及工作装置系统应有足够的刚度；
- g) 应具备可靠的润滑装置，保证各运转部位得到正常的润滑，并应具有防尘措施；
- h) 液压、润滑系统应不渗、不漏。

4.3 工装

4.3.1 工装结构

小弯曲半径管内胀推弯成形用工装如图 1 所示，包括阴模、阳模、球形芯轴等。



1—导向套；2—阴模；3—顶杆；4—阳模；5—管坯；6—弹性填料；7—球形芯轴

图 1 小弯曲半径管内胀推弯成形用工装结构示意图

4.3.2 阴模

阴模由两个半模组成，分模面应与压床工作台平行。分模线在管弯曲平面内，该平面是导管的对称平面。阴模技术要求：

- a) 上下半模合模时合模间隙应小于 0.3mm；
- b) 弯曲阴模模膛是阴模的工作部分，其形状和尺寸取决于连接管的形状和尺寸；
- c) 阴模模膛的直径应大于毛坯直径 0.2mm~0.4mm；
- d) 阴模模膛除弯曲段外还应设置直线段，以便切始毛坯定位，膜膛直线段长度应超过零件直线段 20mm~30mm；
- e) 阴模可由 20 号钢制造，模膜应经表面渗碳，渗碳深度 0.1mm~0.5mm，并经淬火。表面加工粗糙度 R_a 值应不大于 $0.8 \mu\text{m}$ ，硬度 HRC45~55。

4.3.3 阳模

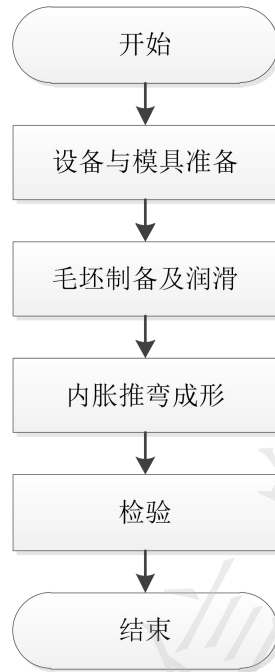


图3 内胀推弯成形工艺过程

5.3 毛坯制备及润滑

5.3.1 曲管子的毛坯长度应按如图4所示的中心线长度全线展开，并考虑工艺余量。可按公式(3)进行计算。

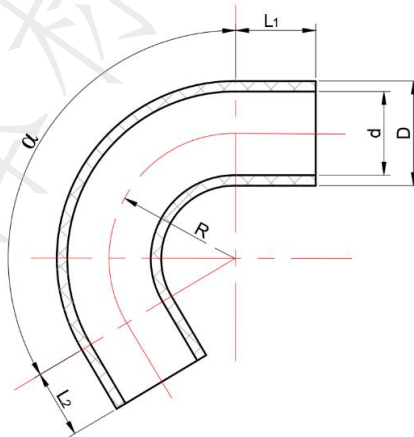


图4 弯管长度计算示意

$$L = L_1 + L_2 + \frac{\pi\alpha}{180^\circ} R + \Delta_L \quad (3)$$

式中：

L ——管坯长度，单位为毫米(mm)；

L_1 ——直线段长度，单位为毫米(mm)；

L_2 ——直线段长度，单位为毫米(mm)；

α ——弯曲角度，单位为度(°)；

R ——弯曲半径，单位为毫米(mm)；

Δ_L ——工艺余量，单位为毫米(mm)。

为减小弯曲内侧所受的压应力，可以减小管坯内侧的推力。为减小管坯受推力作用，切除管坯被推端弯曲内侧材料如图 5，使得管坯不与推头直接接触，从而减小弯曲内侧的压应力。推力直接作用在管材弯曲外侧，推力可以抵消一部分外侧变形区的拉应力。内侧不直接受推力作用，减小弯曲过程中内侧变形区材料流动的阻力。且 β 和 θ 端的坡口为差异化润滑材料流动预留空间，减小内弧处材料堆积，从而减小弯管弯曲内侧起皱的风险。

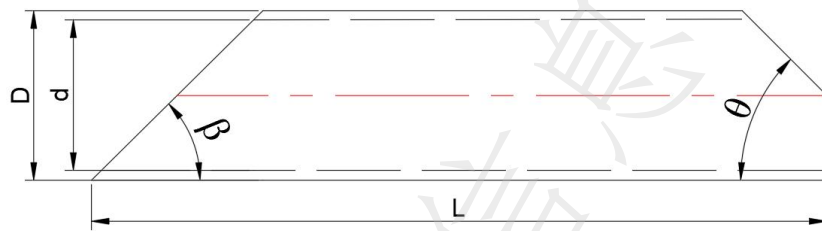


图 5 初始管坯结构示意图

为进一步确定 β 和 θ 的角度，将成形的弯管逆向推出原始管坯的形状，如图 6 所示，管坯的直径为 D ，相对弯曲半径为 R ；若将弯管（图 6a）还原为原始管坯（图 6b），则 β 和 θ 表示为式 4 所示。

$$\tan\beta = \tan\theta = \frac{\frac{1}{2} \left[\frac{\pi}{2} \left(R + \frac{D}{2} \right) - \frac{\pi}{2} \left(R - \frac{D}{2} \right) \right]}{D} \quad (4)$$

式中： β 和 θ 表示管坯两端的切角， R 表示为相对弯曲半径， D 为管坯的直径。

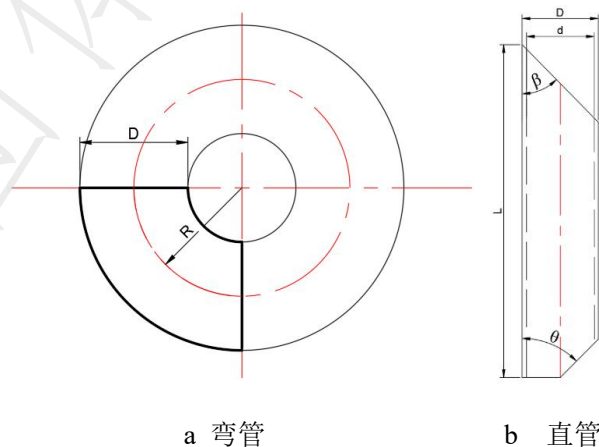


图 6 管坯优化计算图

5.3.2 推弯过程中，管材与模具型腔之间的摩擦力影响管材材料流动和成形质量。通过对管材不同区域划分调控摩擦力分布。管材推弯中，内弧面受压应力壁厚增厚，外弧面受拉应力壁厚减薄，因此将管材划分成如图 7 中内侧变形区 A、外侧变形区 C 和内侧传导区 B

和外侧传导区 D 四个部分。根据推弯成型管变形区域，A 区域和 C 区域是成型管的弯曲段，B 区域和 D 区域是成型管的与冲头接触的直端段。设计分区区域，对管材不同区域材料进行不同润滑，调控各区域材料流动，改善弯管成形缺陷。针对铝合金，由于相对于不锈钢和高温合金材质较软，材料流动较快，故 A 区用聚四氟乙烯薄膜进行润滑，C 区用聚四氟乙烯薄膜同时膜上涂抹白锂润滑脂进行润滑，B 区和 D 区利用白锂润滑脂进行润滑，同时型腔弯曲外侧涂上白锂润滑脂。针对不锈钢和高温合金，C 区和 D 区用上聚四氟乙烯薄膜，同时 C 区膜上涂上白锂润滑脂进行润滑，A 区和 B 区不用润滑剂进行润滑。

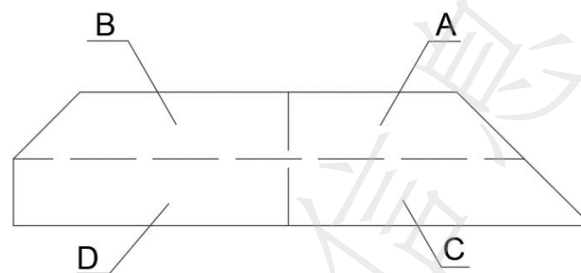


图 7 润滑区域示意图

5.3.3 管坯下料要求、端头要求、下料方法、下料长度极限偏差以及脱漆与除油均按 HB/Z 292-2020 规定执行。

5.3.3.1 批零件同炉批号材料可一次性下料，同批零件不同炉批号材料应按炉批号分批下料。

5.3.3.2 两端头应去除毛刺并用压缩空气吹干净，端面垂直度见图 8 和表 1。

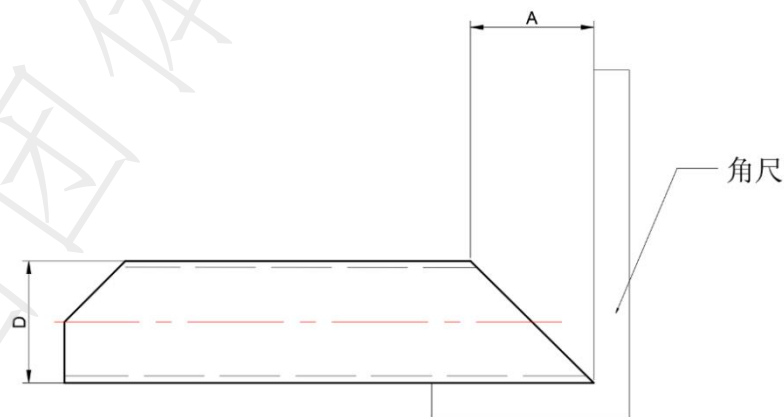


图 8 端面垂直度

表 1 管端面垂直度要求（单位为毫米）

导管直径D	垂直度A(如图 8 所示)
≤15	≤0.3
>15	≤0.6

5.3.3.3 导管下料通常在专用设备上进行，铝管用锯片切割，不锈钢管、高温合金管则采用线切割加工。

5.3.3.4 按标准实样或产品图样规定的定长并按本指导性技术文件 5.3.1 规定留出工艺余量，下料长度极限偏差为±3mm。

5.3.3.5 脱漆与除油用蒸汽除油或化学除油(含水清洗剂除油)，并用航空洗涤汽油清洗导管内外表面，清洗后用干燥清洁空气吹干。

5.3.4 应仔细修光管子毛坯端部，去除毛刺，以防止可能的开裂。

5.4 内胀推弯成形

5.4.1 工艺参数的选取

影响内胀推弯成形的主要工艺参数有填充料压力、推入速度、推入行程等，其中，管子内部的填充料压力是能影响成形过程的主要因素。工艺参数选择应满足以下要求：

- a) 填充料压力只宜根据导管的材料和导管规格选取，必要时可参照附录 A 建立压弯曲线；
- b) 填充料压力与设备压力之间的转化可由公式(4)实现：

$$P_g = P_1 + \frac{F_1}{F_g} \quad \#(4)$$

式中：

P_g ——液压缸工作腔内的液体压力，单位为牛顿(N)；

P_1 ——液压缸工作腔液面面积，单位为平方毫米(mm²)；

F_1 ——填充料最佳压力，单位为牛顿(N)；

F_g ——管子沿内径横截面积，单位为平方毫米(mm²)。

- c) 填充料的实际工作压力应按照第一批试件成形的结果进行修正。

5.4.2 推弯之前应仔细清理模具型腔内表面，不应有颗粒、毛刺或油污。

5.4.3 填充料的长度应足够，以保证推弯过程中填充物被压缩后，球形芯轴与管子的头部不接触。通常聚氨酯填充料总长应比管坯长(40~70)mm。

5.4.4 润滑剂按照 5.3.2 进行涂抹。

5.4.5 成形过程中应匀速将管件推入阴模模腔，管材内胀推弯时推入速度(V)可选用(1~3)mm/s。

5.4.6 推入行程(S)在保证零件外形要求的情况下，应避免推入行程过大。

5.4.7 应选择导管毛料中合适的填充料压力，压力过小导致出现波纹和椭圆的截面：压力过大增大了毛料与阴模型槽工作表面的摩擦力，会导致毛料断裂和起皱。

5.5 检验

5.5.1 圆度比

圆度比为同一截面上最大直径与最小直径之差。导管弯曲处的圆度比公差检验按 HB 4-55-2002 执行。

5.5.2 弯曲后壁厚减薄量

导管弯曲处最小管壁厚度检验按 HB 4-55-2002 规定执行。

5.5.3 连接管外表面状态

导管弯曲处的皱纹度、划伤度和压痕度检验按 HB 4-55-2002 规定执行。

6 质量控制要求

6.1 内胀推弯成形前应进行相关的工艺试验，以获得成形时所需的工艺参数。

6.2 成形中应严格控制以下工艺参数：填充料压力、推入速度和推入行程等。

6.3 内胀推弯成形等所用的工装和设备应在受控期内。

7 人员、安全要求

7.1 操作人员应经技术培训合格后持证上岗。

7.2 加工操作应按相关安全要求进行。