

89-93

管材翻转成形研究

The Study of Tubes Inversion Forming

TG 386.43

王孝培 倪志刚 代兵
Wang Xiaopei Ni Zigang Dai Bing

(重庆大学机械工程二系, 重庆, 630044; 第一作者 59 岁, 男, 教授)

摘要 通过对不同形式的管材翻转成形可行性研究, 总结出了实现管材翻转的两个必要条件。以此为基础, 对锥模管材外翻转成形最佳工艺参数进行了预测分析。研究结果已在奥拓汽车消声器筒体的翻边成形设计中得到了成功应用。

关键词 冲压 / 翻转成形; 管材成形

中国图书资料分类法分类号 TG386.43

ABSTRACT Forming feasibility of all kinds of tubes has been analyzed and two necessary conditions of tubes inversion are concluded. Based on these, the parameters of conical die have been optimized. The optimizing of result has been used in the curling of tubes of sound-absorbed equipment of Auto automobile, and it is verified that the result is practicable and reliable.

KEYWORDS stamping / inversion forming; tube forming

0 引 言

管材翻转成形是从传统的冲压翻边工艺发展起来的特种成形工艺, 它是通过模具对管件施加轴向压力使管材口部边沿产生局部弯曲的变形过程。利用此项技术制造零件具有工艺简单, 工序少, 成本低, 质量好等一系列优点, 甚至可以生产出用其他冲压工艺无法得到的零件。此工艺已在汽车、航空航天^[1,2]等工业领域得到广泛应用。同时也为管材在工程上的广泛应用展示了更加诱人的前景。

1 管材翻转成形可行性分析

金属塑性成形中, 只有在满足成形的力学、几何和塑性条件的前提下才能保证成形顺利进行。这里侧重从几何条件上对管材翻转成形可行性进行分析。

概括地讲, 翻转成形能否顺利进行取决于两方面的因素。一是管材的形状参数, 二是模具工作参数(主要也是形状参数)。

常用的圆管和锥管, 如图 1 所示, 常用于翻转成形的模具有锥模和圆角模, 如图 2 所示。翻转成形顺利进行与否, 由管材与模具的几何参数的配合特性来决定。

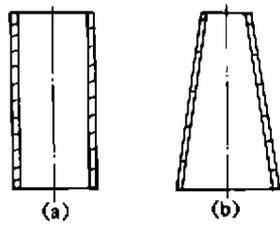


图 1 圆管和锥管

为了说明这个问题,我们选取图 3 所示的示意图来讨论.此图具有典型意义,随着管材半角 β 的变化,锥管可转化为直管,锥模半角 α 连续变化,锥模可转化为圆角模.图 3 中 P 点为模具与管材的接触点, PR 表示过 P 点的水平面; PQ 表示平行于中心轴且过 P 点的直线, PT 为无阻立面; PN 为过 P 点的锥模母线的法线.图中管壁以 PQ 为基准,绕 P 点顺时针旋转时 β 为负(倒锥),逆时针旋转时 β 为正(正锥).

利用此模型,我们可以说明翻转现象.根据实验事实,成功的翻转成形的管端口部边沿总在某一特定方向上.由塑性成形原理可知,在成形过程中,成形板料的各个部分在同一模具作用下有产生各自不同的方式变形的可能.但是由于受模具外力作用的各个部分的几何形状和受力方式的不同,在所有可能的变形方式中,需要变形力最小的部分以需要变形力最小的方式首先变形,这是成形过程中不同变形方式的产生和实现所遵循的一个基本规律.由此我们便可判断出前述的特定方向便是这种变形方式下的变形阻力最小的方向.我们称此方向所在的面为无阻立面,国外一些学者也有类似的表述.实验表明,无阻立面大致在过模具与管材接触点且平行于管的轴线的对称方向上.管材确定,无阻立面即已确定.

据此,便可得出结论:欲想翻转顺利完成,无阻立面必须在自由空间(非模具内部).当无阻立面在模具内部时,管材只能沿模具表面贴合(类似于扩口成形),而不能实现翻转成形.如图 4 所示.

但是否在自由空间存在无阻立面便可顺利实现翻转成形呢?回答是否定的.由常识我们知道,管壳边缘的变形趋势是受模具的几何参数影响的.如图 5 所示,若 $\alpha > 90^\circ$,以 $\beta_0 = \alpha - 90^\circ$ 为界,当 $\beta > \beta_0$ 时,管材变形趋势向外,作外翻成形;当 $\beta < \beta_0$ 时,管材变形趋势向内,作内缩成形. $\beta < \beta_0$ 时,管材的变形趋势方向与无阻立面方向在管壁的两侧,实际上,这种情况下是不能完成完整的翻转成形的.以

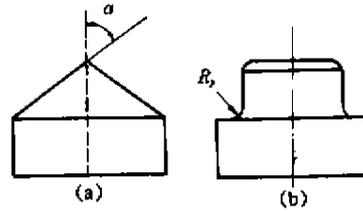


图 2 锥模与圆角模

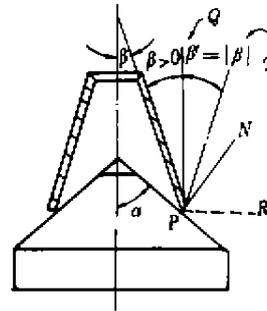


图 3 管材翻转变形示意图

β ——锥管半锥角(其范围为 $-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$),
 α ——锥模半锥角(其范围为 $0 \leq \alpha \leq \pi$)

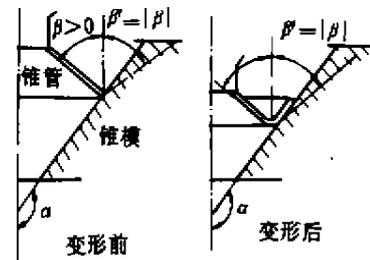


图 4 内锥模翻转成形

此类推,分析 $\alpha < 90^\circ$ 的情况,便得出实现完整翻转的另一条件,即:管材边缘变形趋势方向须与无阻力面方向应在管壁的同侧。

然而,有些情况,如在变形趋势方向上有水平面存在于自由空间的管壳边沿可能向模具表面产生弯曲还原与模具表面贴合。如图 6 所示。

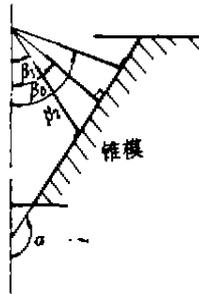


图 5 管材半角影响

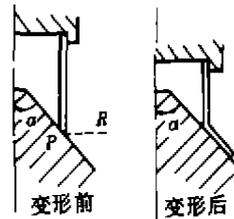


图 6 管端边缘与锥模表面贴合

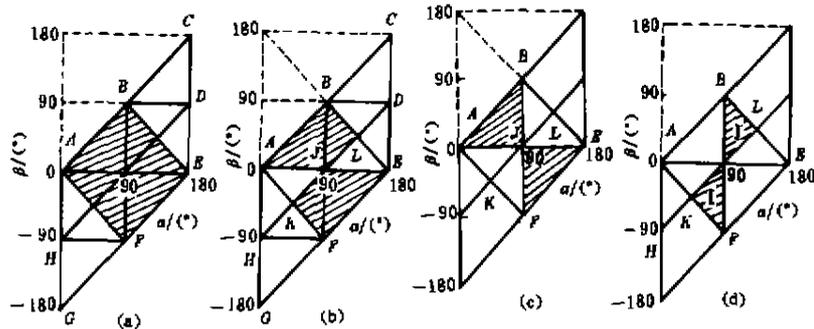


图 7 管材翻转变形区域

由以上得出的结论及事实,即可根据 α, β 的变化规律,推出管材翻转变形区域。无阻力面在自由空间且锥模,锥管的锥角具有协调性的范围可由图 7(a) 表示(不含边界)。在 7(a) 范围内,符合实现完整翻转的范围可用图 7(b) 所示(不含 AB, EF, BL, FK, JK),该图阴影区表示无阻力面与变形趋势方向相同的情况。在图 7(b) 中有可能产生弯曲还原的范围(即在变形趋势方向上有水平面存在于自由空间),以图 7(c) 表示(不含 AB, BJ, EF, FJ)。对照 7(b), 7(c), 我们可得到仅满足第一个条件的第一类翻转变形区域如图 7(d) 所示。

在图 7(c) 范围内,事实上也并非全部都产生弯曲还原。根据前苏联学者 $\Gamma O P \delta \gamma H O B$ 理论推证^[1] 及实验事实,在使用锥模扩管成形时,当模具半角 α 在 60° 附近以上产生外翻转变形,而 $\alpha < 60^\circ$ 时,只产生扩管变形。在缩管变形中, α 在 120° 附近以下会产生内翻转变形。据此事实可推出同时满足上述两个条件的第二类翻转区域,如图 8 中的 I 区所示(除 J 点)。

另外考虑自由空间存在无阻力面,但管壳边缘的变形趋势方向与无阻力面方向分布在管壁的两侧。这种状态下,成形初期卷边变形是可能的,但管壳却不能沿无阻力面变形,实际上,管端刚刚翻卷翘起即与未变形管壁干涉,致使后续变形无法继续下去,因此将此区域称为不完全翻转区域。如图 8 中的 II 区所示。

至此,三类变形区域均已得出,如图 8 所示(I 区为第一类翻转区域)。

2 管材锥模外翻成形工艺参数分析

锥模外翻成形作为最简单也是最常用的一种管材翻转成形方式,虽然其成形质量一般,但其优点也是显而易见的,例如在一套锥形模上可成形不同规格的管材,这一点在其他管材成形模具很难做到。另外,作为精密管材翻转成形的预成形工序,锥模成形也得到广泛应用。

从变形力学的观点,管材外翻成形是兼有伸长变形和压缩变形的冲压成形方法。管材翻转成形可分为两大变形区——传力区和成形区。在成形过程中,由于传力区和变形区受力特点的不同,可能会产生不同的变形方式,从而导致不同变形效果。这就要求在使管材特定部分产生预期卷边变形的同时控制其它部分变形的可能性。为此必须对管材的成形予以控制。实验表明,管材的冲压成形性能、摩擦与润滑、管材的形状尺寸(满足成形可行性分析结果)等对最终的成形效果均有影响,但最有效的控制方式就是利用模具工作部分对管材的作用来达到要求,对锥模而言就是锥模半角 α 。 α 的大小直接影响自由翻转曲率半径 ρ 的大小,而 ρ 的大小又直接影响管材成形的纵向失稳和周向开裂。因此对锥模成形而言, α 是最关键的工艺参数。在实际生产中,为得到符合要求的产品,往往通过大量的工艺试验来获取不同因素对成形的影响信息,而实验则浪费大量的人力、物力,因此从理论上分析各种因素对成形的影响、预测最佳的工艺参数,便具有重要的现实意义。

这里就以锥形模外翻为例,具体分析最佳的工艺参数及其影响因素^[3]。

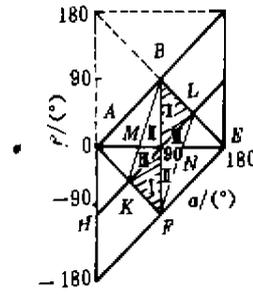


图8 第二类翻转区域

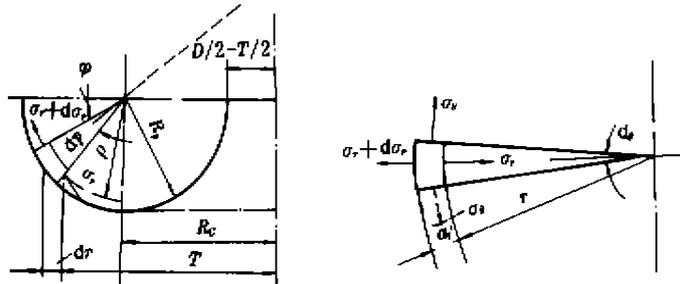


图9 管材成形受力图

首先推导管材锥模成形平衡微分方程。图9为管材成形受力图。

假设:1) 在成形过程中,变形区不存在开裂、起皱;2) 不计摩擦影响;3) 材料各向同性,等向强化,不计 Bauschinger 效应;4) 成形中管材厚度不变。

列平衡微分方程,略去高阶无穷小项并整理得如下方程:

$$\frac{d\delta_s}{d\varphi} = - \frac{\rho \sin \varphi}{D/2 + \rho(1 + \cos \varphi)} (\sigma_s - \sigma_r) \quad (1)$$

结合塑性条件 $\sigma_s - \sigma_r = \beta \sigma_s \quad (2)$

及边界条件 $\Delta \sigma_s = \frac{\beta T \sigma_s}{4\rho} \quad (3)$

可得到锥模外翻变形区的应力分布

$$\sigma_r = \beta\sigma_s \ln \left\{ \frac{1 + \cos\varphi + D/2\rho}{2 + D/2\rho} \right\} - \frac{\beta\sigma_s T}{4\rho} \quad (4)$$

考虑变形区根部的弯曲效应(此时 $\varphi = \alpha$) 有

$$|\sigma_r|_{\max} = \beta\sigma_s \left\{ \frac{T}{2\rho} + \ln \frac{2 + D/2\rho}{D/2\rho} \right\} \quad (5)$$

由式(5)知 $|\sigma_r|_{\max}$ 为 ρ 的函数。

由文献[4]有

$$\rho = \sqrt{RT/[4(1 - \cos\alpha)]} [1 + L\sin\alpha/(\rho(1 - \cos\alpha))]^{-n/(2n-2)} \quad (6)$$

式中 $R = D/2$ 。

将式(5)与式(6)联合在可成形范围内进行寻优运算,对于 LF2-M 管材,将不同情况下的计算结果绘成如图 10 所示。当管材直径 $D = 31$ mm,管壁厚度 $T = 1.0$ mm,硬化指数 $n = 0.25$ 时, α 取 68° 时, $|\sigma_r|_{\max}$ 取得最小值。

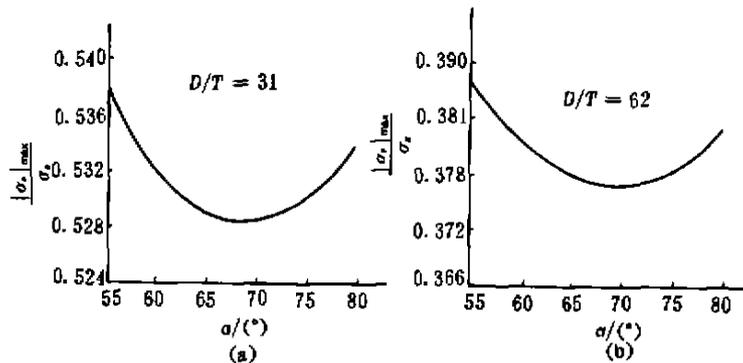


图 10 α - $|\sigma_r|_{\max}$ 曲线

由此可知,对于管材锥模外翻成形而言,存在一个最佳半锥角使成形力最小,对于不同材料、不同规格的管材,最佳半锥角值不同,它将受到材料性能、材料规格的影响。

3 结 论

管材翻转成形能否顺利进行,取决于管材与模具的几何参数配合特性。本文对管材成形可行性进行几何分析,归纳出管材翻转成形的两个必要条件,即:

- 1) 无阻方面必须在自由空间。
- 2) 管材边缘变形趋势方向须与无阻方面方向应在管壁的同侧。

参 考 文 献

- 1 Горбунов М Н, Мизгов В А. Определение Границ Между Области Обжима (радажи) II Выворота. Кузнечно-штамповочное производство, 1975, (2), 16~18
- 2 Ae-Hassai S T S, Lowe W T. Characteristics of Inversion Tubes under Axial Loading. Mechanical Engineering Science, 1972, 14(6), 35~42
- 3 倪志刚. 管材翻转成形技术研究与开发, [学位论文]. 重庆:重庆大学机械工程二系, 1996
- 4 黄早文. 翻管变形模式的转化条件. 华中理工大学学报, 1993, 21(8): 118~123