

强力减薄旋压工艺 在钢质无缝气瓶中的应用

北京天海工业有限公司 (100121) 陈清利

目前, 各国制造和使用的气瓶发展方向是: 重量轻、薄壁、壁厚差小、承载压力高。钢质无缝气瓶主要有两种制造工艺: 一种是用方钢坯热冲拔成带底的瓶体后, 再热旋压收口制成, 称为冲拔瓶; 另一种是用无缝钢管分别热旋压收底、收口制成, 称为管制瓶。

在制造过程中, 冲拔瓶受设备精度、模具结构及冲拔温度变化的影响, 筒体壁厚不能太薄, 否则冲拔时筒体冷却过快, 易产生裂纹和断裂, 造成废品, 故一般在设计壁厚的基础上, 再增厚一些。如直径229mm的气瓶设计壁厚6.2mm, 冲拔后壁厚都在6.8~7mm, 且还有1~2mm的壁厚差, 虽然冲拔质量有保证, 但增加了瓶体重量, 一般要增加5~8kg。管制瓶的原材料是无缝钢管, 热轧制成, 其管径与壁厚之比的极限为 $\phi/\delta=38\sim40$ 。大于这个值, 一般热轧机组很难完成轧制, 只有增加壁厚, 才能保证轧制出合格的无缝钢管。如直径406mm的气瓶设计壁厚8.8mm, 实际钢管壁厚都在10.2mm以上, 管材壁厚增加, 瓶体重量也增加。

上述两种工艺方法, 都使得瓶体实际壁厚大于设计壁厚较多, 气瓶重量增加。若要减轻重量只有减少大于设计壁厚的余量。钢质无缝气瓶制造中的强力减薄旋压工艺, 首先冲拔出厚壁的瓶体或用厚壁钢管收底成形后, 再强力减薄旋压瓶体部分, 达到最小设计壁厚, 在壁厚减薄的同时, 消除部分壁厚差, 提高了材料的利用率, 降低了瓶体重量。

一、强力减薄旋压工艺在气瓶制造中的可行性分析

强力旋压属于无切削精密压力加工, 所得零件的直径精度一般可达IT9级以上, 表面粗糙度值 R_a

$\leq 6.3\mu\text{m}$, 尺寸偏差最小是强力旋压的一个显著特点。强力旋压成形后材料晶粒变细, 且有明显的纤维组织, 材料强度和硬度都有不同程度的提高。强力旋压材料的利用率高, 零件生产成本低, 所需工装相对比较简单, 所需设备吨位小。

1. 气瓶材料

方钢冲拔瓶体与拔制无缝钢管材料均为30CrMo钢。力学性能如表1所示。

表1 30CrMo钢冲拔筒体的力学性能

抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 σ_s/MPa	屈强比 σ_s/σ_b	伸长率 δ (%)	冲击韧度 $A_{kv}/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$	断面收缩率 ψ (%)	表面硬度 HRC
790	585	0.74	16.5	23.27	50	17

2. 旋压成形壁厚减薄率与旋压道次

如图1所示, 强旋后瓶体壁厚达到设计壁厚尺寸。

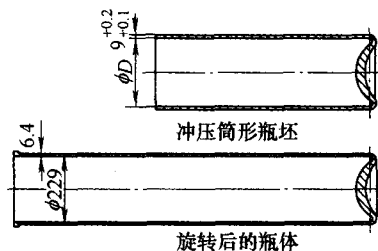


图1 瓶体强旋加工前后的壁厚变化

其壁厚减薄率和最大减薄率分别为:

(1) 旋压成形壁厚减薄率 壁厚减薄率计算公式如下:

$$\varepsilon_t = \frac{t_0 - t_1}{t_0}$$

式中 t_0 ——毛坯的壁厚mm;

t_1 ——瓶体的最小壁厚mm。

由图1、图2可知, $t_0=9.2\text{mm}$, $t_1=6.4\text{mm}$ 。

$$\varepsilon_t = \frac{9.2 - 6.4}{9.2} = 30.4\%$$

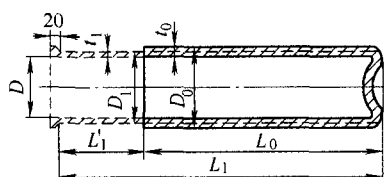


图2 冲拔瓶毛坯件

(2) 最大减薄率 30CrMo钢冲拔筒体断面收缩率 $\psi=50\%$ ，其最大减薄率计算公式如下。

$$\varepsilon_{\text{tmax}} = \frac{\psi}{0.17 + \psi} = 74.6\%$$

零件旋压成形的壁厚减薄率为30.4%，小于最大减薄率74.6%，故强力旋压减薄加工比较容易，可一次成形。若三个旋压轮旋压，各轮减薄率为 $\varepsilon/3$ ，远小于 $\varepsilon_{\text{tmax}}$ ，旋压芯模在旋压过程中受力均衡，三个旋轮必须均匀一致，壁厚减薄采用平均分配办法，三个旋轮各承担减薄率的1/3。

正旋时，以较小的减薄率多次旋压有利，故采用多旋轮“分层错距”旋压（见图3），有利于提高生产效率和保证旋压质量。又因增加了对变形区的约束，使工件直径精度也得到改善。

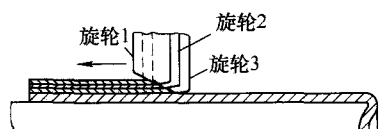


图3 分层错距旋压

强旋加工后，强旋后壁厚均匀性提高，表面质量得到改善，相对于非强旋工艺制造的气瓶重量减轻。

3. 强力旋压后的热处理

强旋后材料性能发生变化，强度、硬度提高，塑性、韧性降低，伸长率下降，对气瓶的使用是不适当的。通过热旋收口后整体调质处理，消除了瓶体强旋后的内应力，解决了瓶体经强旋后对力学性能的不利影响，满足了气瓶的使用性能要求。

经分析，冲拔气瓶的瓶体和管制气瓶的瓶体收底后，强旋减薄都是可行的。由于管制瓶的无缝管的管壁越薄，价格越高，冲拔瓶壁厚越薄越不易拔制的特点，选用强力减薄旋压，有一定的经济可行性和质量提高的可能性。

二、强旋工艺计算和旋压工艺确定

1. 瓶体毛坯件的选择

瓶体毛坯件根据产品种类不同，分为冲拔毛坯

和管制毛坯，根据强旋等体积不变法则，确定毛坯尺寸。冲拔毛坯采用方钢坯冲压出瓶筒，再拉拔成壁厚大于设计最小壁厚1.3倍的带底的坯料（见图2）。毛坯长度根据产品规格计算确定。

按照强旋后等体积原则，减薄壁厚去除的金属体积 V_0 与强旋后工件伸长部分的体积 V_1 相等。即：

$$V_0 = V_1$$

$$\text{则 } L_1' = L_0 \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_1^2 - D^2}$$

式中 L_1' ——旋压后伸长量；

L_0 ——毛坯长度；

D_0 ——毛坯外圆直径；

D_1 ——旋压后外圆直径；

D ——工件内径。

产品长度可用下式计算：

$$L_1 = L_0 \frac{t_0(D+t_0)}{t_1(D+t_1)}$$

式中 L_1 ——旋压后长度；

t_0 ——毛坯壁厚；

t_1 ——工件壁厚。

以冲拔瓶的产品为例：主要参数 $D_1=229\text{mm}$ ， $D=216.2\text{mm}$ ， $D_0=234.6\text{mm}$ ， $t_0=9^{+0.20}_0\text{mm}$ ， $t_1=6.4\text{mm}$ 。旋压后瓶体长度 $L_1=1530\text{mm}$ ，计算得 $L_0=1051\text{mm}$ ， $L_1'=478.8\text{mm}$ 。

考虑强旋后，增加20mm的压余量和成品去头切削部分，并将数值圆整。取冲拔瓶坯长度为1075mm。同理，可计算出管制瓶的瓶坯长度。

2. 对旋压瓶体毛坯的质量要求

旋压瓶体毛坯的质量直接影响旋压后的质量。瓶体内径与芯模间隙应控制在0.5~1mm，可根据瓶体长度和直径大小适当调整确定，保证较容易套入芯模。间隙过大则不易贴模，使强旋后瓶体产生椭圆或弯曲；间隙过小则无法装入旋压芯模或抱模，造成无法脱料。瓶体毛坯的壁厚差不能过大，否则会造成旋压轮受力极度不均，壁厚减薄率急剧增大，造成金属塑性失稳和阻滞，以及设备产生振动等不利因素，一般壁厚差 $<1.5\sim 2\text{mm}$ ，毛坯内外表面经过抛丸处理，清除氧化皮，不能有裂纹、夹层、夹杂以及较大的拉伤等缺陷，否则应修磨去除。

3. 旋压道次与壁厚减薄率的确定

(1) 瓶体旋压成形的壁厚减薄率 瓶体材料的

壁厚减薄率为30.4%，远小于最大减薄率74.6%，强力旋压成形较容易。可考虑采用一次旋压成形。为保证强力旋压过程的稳定性、生产效率，并考虑到高压无缝气瓶的特殊性，旋压瓶体主旋时选用三旋轮结构的强力旋压机结构，旋压轮分层错距旋压一次旋压通过，旋轮轴向错距分布。

(2) 各旋轮的壁厚减薄率确定 旋轮壁厚减薄率分配要考虑有利于零件的旋压成形且保证瓶体的旋压质量。为保证旋压芯模压旋过程中的受力均衡，主旋的三个旋轮受力必须均匀一致，壁厚减薄率采用平均分配的方法，三旋轮各承担总壁厚减薄率的1/3。设第一个旋轮旋压后毛坯瓶体壁厚为 t_1 ，第二旋轮旋压后瓶体壁厚为 t_2 ，第三旋轮旋压瓶体壁厚 t_3 ，即为 $t_{\min}$ ，根据 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 1/3 \varepsilon_1$ ，即：

$$\frac{t_0 - t_1}{t_0} = \frac{t_1 - t_2}{t_1} = \frac{t_2 - t_{\min}}{t_2}$$

已知 $t_0 = 9.2\text{mm}$ 、 $t_{\min} = 6.4^{+0.2}_{-0.1}\text{mm}$ ，带入上式，经计算得： $t_1 = 8.144\text{mm}$ 、 $t_2 = 7.209\text{mm}$ 。

(3) 旋压方向确定 瓶体毛坯有凹形、半球形、碟形及椭圆形瓶底。套入芯模后，用后尾顶机构顶紧瓶底，随主轴芯模共同旋转，强力旋压减薄只能在瓶体外圆旋压减薄，故选用正旋方式强力旋压减薄。

4. 旋压工艺参数的确定

强力旋压工艺参数选择直接影响瓶体旋压后的质量、旋压力度大小及旋压生产的加工效率。此工艺参数的选择应尽可能提高生产效率，降低生产成本。旋压工艺参数主要包括：旋压速度（线速度），芯模主轴转速，旋轮沿工件母线进给速度及旋轮错距等。

(1) 旋压速度和主轴转速 旋压速度与主轴转速存在以下关系：

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

式中 v ——旋压速度（m/min）；

D ——瓶体变形处直径（mm），取234.6mm；

n ——芯模主轴转速（r/min）。

主轴转速高则工效高，但应以不产生振动、旋压热不过大为限，旋压速度常用50~300m/min。本例旋压速度选250m/min，则主轴转速为：

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = 339 \approx 340 \text{ (r/min)}$$

经旋压工艺试验，主轴转速300~340 r/min，周向线速度为215~250 m/min时，较为适宜。

(2) 旋压进给比 其与主轴转速、旋轮沿工件母线进给速度间存在以下关系：

$$f = \frac{v_s}{n}$$

式中 f ——旋压进给比；

v_s ——旋轮沿工件母线进给速度。

旋压进给比大则生产效率高，但以不产生振动，以及旋压力、表面粗糙度值不过大为限，常选择范围为（0.1~0.75） $t\text{mm/r}$ （ t 为同步工作旋轮数，选 $t=3$ ）。本例旋压进给比选1.05mm/r则：

$$v_s = f n = 1.05 \times 340 = 357 \approx 360 \text{ (mm/min)}$$

通过工艺试验，瓶体旋压进给时，单旋轮轴向位移量为0.9~1.2 mm/r 比较适宜。

(3) 旋压轮间错距 为平衡作用在芯模上的径向旋压力，除尽量使三个旋压轮的径向旋压力相等外，一般希望三个旋轮的错距尽量小，但错距过小易引起瓶体扩径，错距过大时，表面成形易出现明显的螺旋纹。经试验，错距取7~10mm为宜。

5. 强力旋压后处理

(1) 瓶体外表面修磨 强力旋压后，瓶体外表面产生均匀的旋压痕迹，虽不影响使用，但不美观，壁厚也不容易测量。强力旋压后用砂布带轮均匀磨削外表面，去除压痕，使得瓶体表面平整光滑。

(2) 瓶体热处理 瓶体强力减薄旋压后，热旋压收口制成气瓶。经过900℃淬火和600℃回火的调质处理，消除瓶体强力旋压后产生的内应力，改善材料性能。经产品试件性能检验，已解决强力旋压对力学性能的不利影响，满足气瓶的使用性能要求（见表2）。

表2 30CrMo钢强力旋压热处理后力学性能（试件）

抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa	伸长率 (%)	冲击韧性 /J·cm ⁻² (-50℃)	表面硬度 HRC
959	855	18	135	31

三、结语

强力减薄旋压加工钢质无缝气瓶，可提高材料的利用率，减少由于冲拔或轧制产生的壁厚差和增厚，提高无缝气瓶的质量和性能。在气瓶减薄旋压的工艺方案及设计中，合理选择工艺方法和参数，可达到满意的几何尺寸和性能要求，很好地用于实际生产中。 MW (20120228)