

2A12铝合金筒体旋压工艺

孟祥志，吴新勇，王秋菊，宋丽君，闫作铭

北方华安工业集团有限公司 黑龙江齐齐哈尔 161006

摘要：对三种不同尺寸的2A12铝合金筒体零件进行旋压工艺设计，选择合理的工艺方案、设备、模具及其参数，加工出合格的产品。分析和总结了因素对铝筒件硬度、内径精度及内径的影响。

关键词：2A12铝合金；筒体；旋压；方案；旋轮

1 序言

随着新产品的不断更新，各种零件的尺寸精度要求也越来越严格。为加工出满足客户要求的产品，对产品的加工方法也不断革新。旋压是用于成形薄壁空心回转体零件的一种金属压力加工方法。

结合现有三种尺寸零件进行旋压工艺方案的设计、实施，并对研究结果做出分析及总结。

2 强力冷旋压工装结构

我单位在旋压加工2A12铝合金筒体零件时，选用图1所示的强力冷旋压工装，取得了较好的应用效果。

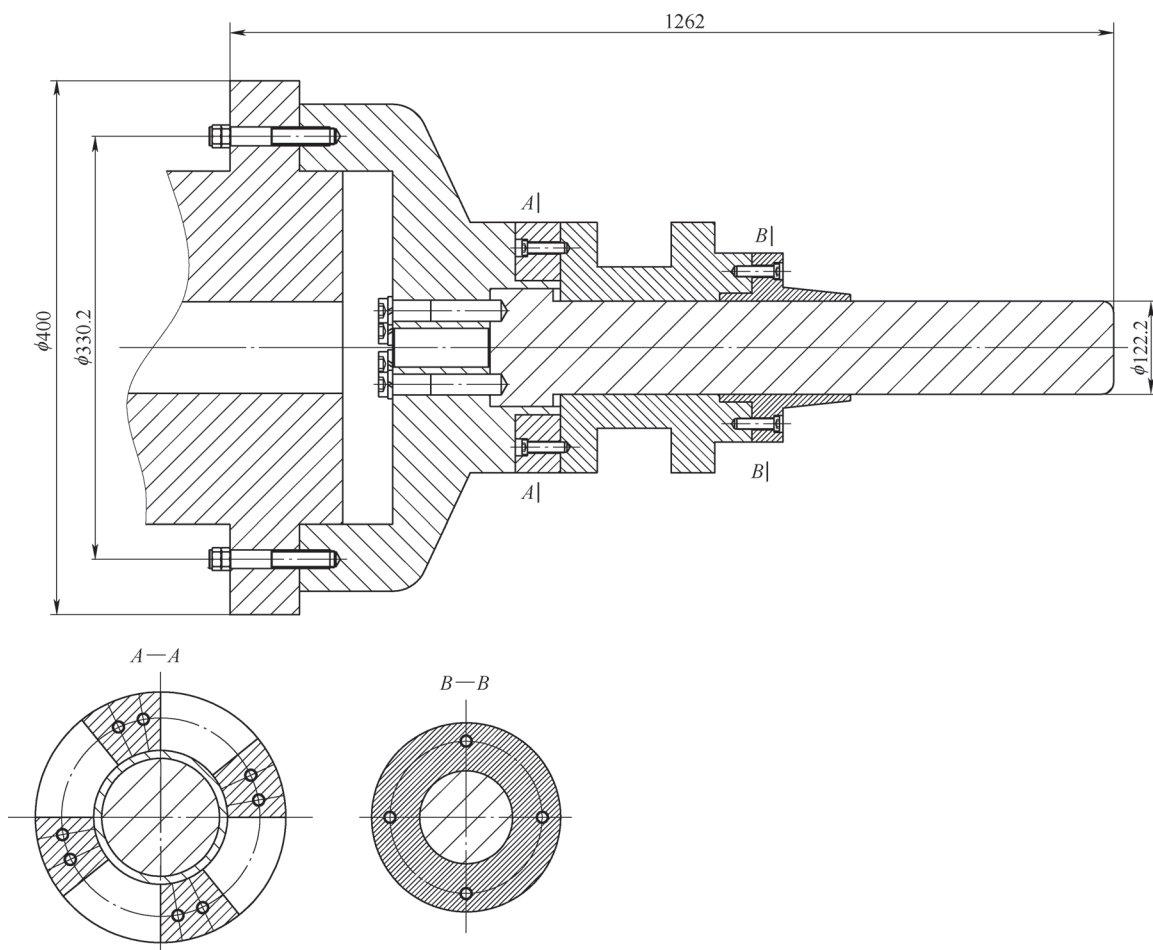


图1 强力冷旋压工装

3 340mm长零件的旋压工艺方案设计及实施

3.1 零件尺寸

图2所示340mm长零件为带有两个台阶的筒形零件，由于其底部螺纹内径小，因此必须采用正旋压方式。其口部外径为 $137.5_{-0.63}^{+0.03}$ mm，最薄部位外径为 $133.5_{-0.63}^{+0.03}$ mm，内径为 $127.5_{-0.63}^{+0.03}$ mm。

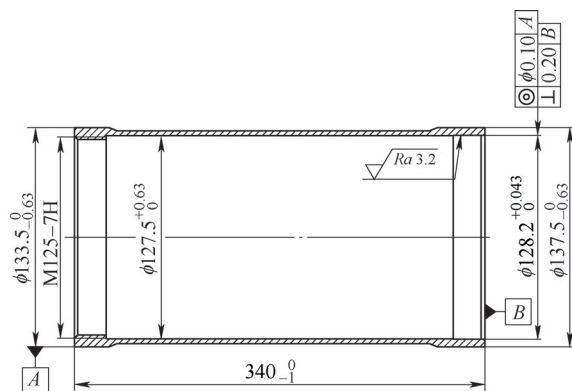


图2 340mm长零件

3.2 设备及模具

340mm长零件旋压加工设备及模具尺寸和技术参数如下。

- 1) 心轴外径127.52mm，硬度60HRC。模具径向圆跳动：头部0.15mm，根部0.03mm。
- 2) 旋轮： $\phi 280$ mm，前 $R8\text{mm} \times 20^\circ$ / 中 $R8\text{mm} \times 20^\circ$ / 后 $R6\text{mm} \times 20^\circ \times 3^\circ$ 挤光。径向圆跳动：前轮（远）0.05mm，中轮（上）0.03mm，后轮（近）0.03mm，硬度60HRC。
- 3) 旋轮错距4.12mm/3.52mm。
- 4) 尾顶压6MPa。

5) 机床零点：A：836.128mm，X（前轮/远）：-20.954mm，Z（中轮/上）：-16.54mm，Y（后轮/近）：-21.67mm。

6) 主轴旋转方向：面向主轴，逆时针。

3.3 毛坯

340mm长零件毛坯如图3所示。热处理状态：H112状态退火，随炉升温至380℃，保温45min，炉冷至260℃，空冷。毛坯尺寸：内径 $127.75_{-0.03}^{+0.03}$ mm × 厚 $8.1_{-0.1}^{+0.1}$ mm × 长188mm。硬度：端面378~381HL，筒体325~334HL。

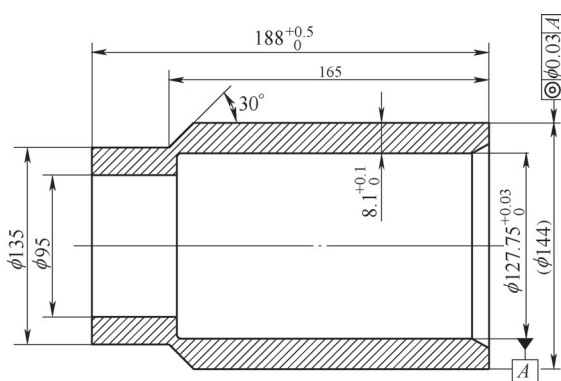


图3 340mm长零件毛坯

3.4 三道次正旋压（方案一）

三道次正旋压工艺流程为：控制每道次旋压工件壁厚8.2mm→6.12mm→4.65mm→退火（随炉升温至330℃，保温1h，炉冷至260℃，空冷）→3.3mm（单边留0.6mm机械加工余量）。340mm长零件三道次正旋压工艺参数见表1；第一道次及第二道次程序如图4所示，第三道次程序如图5所示；旋压后毛坯与零件对比如图6所示。

表1 340mm长零件三道次正旋压工艺参数

旋程	道次	间隙/mm	压下量/mm	旋压后壁厚/mm	退让量/mm	转速S/ (r/min)	进给速度F/ (mm/min)
I	一	7.30/6.60/5.90	0.90/0.70/0.70	6.12	0.22	150	120
	二	5.66/4.99/4.32	0.73/0.70/0.70	4.65	0.33	150	150
II（退火后）	三	4.05/3.60/3.15	0.60/0.45/0.45	3.28	0.13	200	200

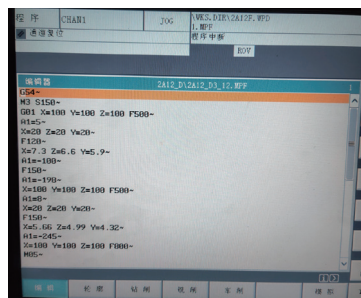


图4 方案一340mm长零件第一道次及第二道次程序

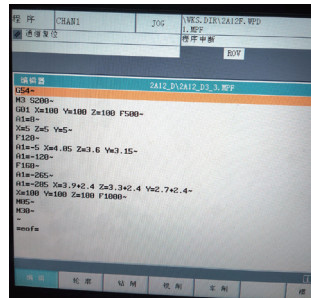


图5 方案一340mm长零件第三道次程序



图6 旋压后毛坯与零件对比

表2 340mm长零件两道次正旋压工艺参数

旋程	道次	间隙/mm	压下量/mm	旋压后壁厚/mm	退让量/mm	转速 <i>S</i> / (r/min)	进给速度 <i>F</i> / (mm/min)
I	—	7.23/6.36/5.59	0.97/0.87/0.77	5.80	0.21	200	160
	底部	5.66/4.99/4.32	0.73/0.70/0.70	4.65	0.33	200	120
	口部	5.50/5.20/4.90	0.30/0.30/0.30	5.22	0.32	200	200

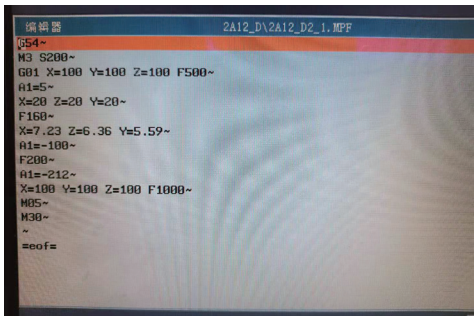


图7 方案二340mm长零件第一道次程序

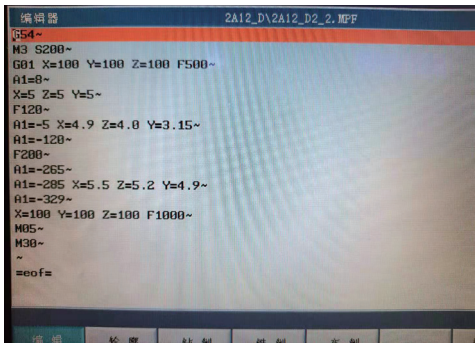


图8 方案二340mm长零件第二道次程序

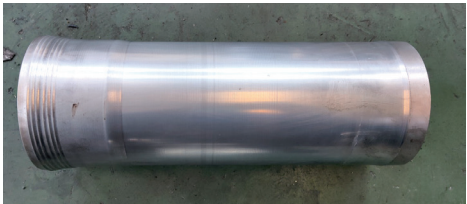


图9 两道次旋压方案成形零件

第二道次旋压后外径137.20mm，口部外径达到图样要求；然后进行第三道次旋压，由于外径两个台阶处过渡长度仅5mm，不符合旋压规律，因此旋压后外径留余量，可机械加工成形。

采用三道次成形时，内径过渡处不平缓，达不到零件加工要求，因此设计两道次成形。

3.5 两道次正旋压（方案二）

340mm长零件两道次正旋压工艺流程为：控制每道次旋压工件壁厚8.2mm→5.8mm→3.3mm（单边留0.6mm机械加工余量）。340mm长零件两道次正旋压工艺参数见表2；第一道次程序如图7所示，第二道次程序如图8所示；两道次旋压方案成形零件如图9所示。

成形后单边留0.5mm机械加工余量，口部在第二道次也进行旋压，解决了过渡不平缓的问题，达到了技术要求。

4 770mm长零件的旋压工艺方案设计及实施

4.1 零件尺寸

图10所示770mm长零件为带有两个台阶的筒形零件，由于底部螺纹内径小，因此必须采用正旋压。口部外径为 $137.5^{+0.5}_{-0.5}$ mm，中间台阶部位外径为 $140^{+0.4}_{-0.6}$ mm，最薄部位外径为 $133.5^{+0.63}_{-0.4}$ mm，内径为 $127.5^{+0.63}_{-0.4}$ mm。

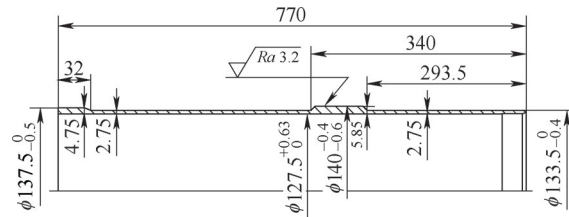


图10 770mm长零件

4.2 设备及模具

770mm长零件旋压加工设备及模具尺寸和技术参数如下。

1) 心轴外径127.52mm，硬度60HRC。模具径向圆跳动：头部0.15mm，根部0.03mm。

2) 旋轮： $\phi 280\text{mm}$ ，前 $R8\text{mm} \times 20^\circ$ /中 $R8\text{mm} \times 20^\circ$ /后 $R6\text{mm} \times 20^\circ \times 3^\circ$ 挤光。径向圆跳动：前轮（远） 0.05mm ，中轮（上） 0.03mm ，后轮（近） 0.03mm ，硬度 60HRC 。

3) 旋轮错距 $4.12\text{mm}/3.52\text{mm}$ 。

4) 尾顶压 6MPa 。

5) 机床零点。 A ： 836.128mm ， X （前轮/远）： -20.954mm ， Z （中轮/上）： -16.54mm ， Y （后轮/近）： -21.67mm 。

6) 主轴旋转方向：面向主轴，逆时针。

4.3 毛坯

770mm长零件毛坯如图11所示。热处理状态： H112 状态退火，随炉升温至 380°C ，保温 45min ，炉冷至 260°C ，空冷。毛坯尺寸：内径 $127.75^{+0.03}_0\text{mm} \times$ 厚 $8.1^{+0.1}_0\text{mm} \times$ 长 417mm 。硬度：端面 $378 \sim 381\text{HL}$ ，筒体 $325 \sim 334\text{HL}$ 。

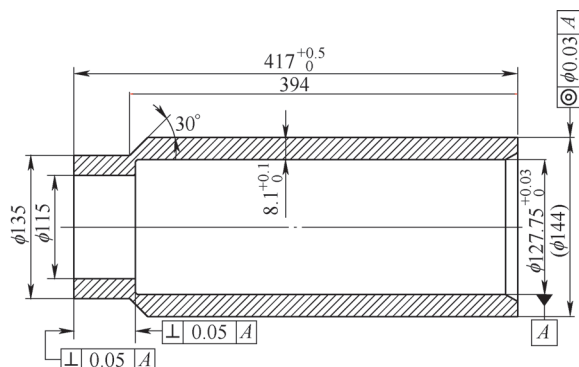


图11 770mm长零件毛坯

4.4 两道次正旋压

770mm长零件两道次正旋压工艺流程为：控制每道次旋压工件壁厚 $8.1\text{mm} \rightarrow 6.6\text{mm}$ （外径 141mm ，车削至 139.5mm ） $\rightarrow 3.7\text{mm}$ （外径 135mm ，车削至 133.3mm ）。770mm长零件两道次正旋压工艺参数见表3；第一道次程序如图12所示，第二道次程序如图13所示；旋压后产品如图14所示。

表3 770mm长零件两道次正旋压工艺参数

道次	位置	间隙/mm	压下量/mm	旋压后壁厚/mm	退让量/mm	转速 $S/(\text{r/min})$	进给速度 $F/(\text{mm/min})$
一	整体	7.60/7.15/6.70	0.50/0.45/0.45	6.95	0.25	200	220
二	尾顶端	5.50/4.53/3.60	1.45/0.97/0.93	3.79	0.19	200	140
	定心部	6.70/6.50/6.30	0.25/0.20/0.20	6.60	0.30	200	160
	主轴端	5.47/4.47/3.58	1.48/1.00/0.89	3.76	0.18	200	160
	口部	6.35/5.85/5.35	0.59/0.50/0.50	5.67	0.32	200	500

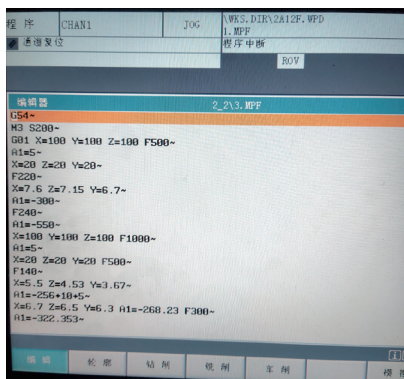


图12 770mm长零件第一道次程序

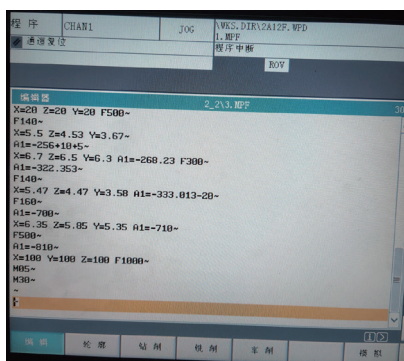


图13 770mm长零件第二道次程序

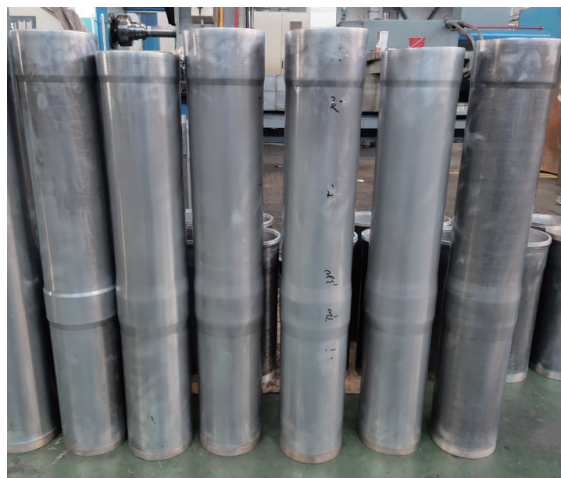


图14 旋压后产品

5 608mm长零件的旋压工艺方案设计及实施

5.1 零件尺寸

图15所示608mm长零件为带有3个台阶的筒形零件，由于内径为等径，因此可采用反旋压工艺，4处外径分别为 $129.8^{+0.20}_{-0.08}\text{mm}$ 、 $134.5^{+0.5}_{-0}\text{mm}$ 、 $137.2^{+0.3}_{-0.1}\text{mm}$ 和 $139.6^{+0}_{-0.2}\text{mm}$ ，内径为 $(122.4 \pm 0.2)\text{mm}$ 。

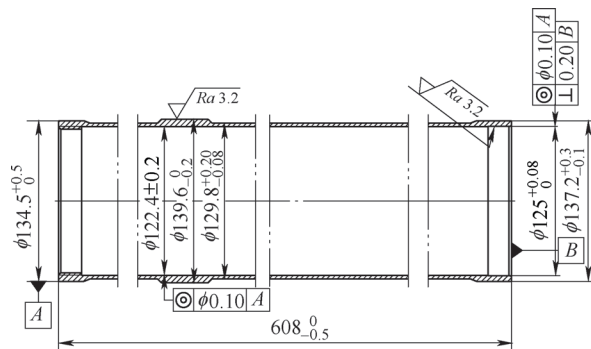


图15 608mm长零件

5.2 设备及模具

608mm长零件旋压加工设备及模具尺寸和技术参数如下。

- 1) 心轴外径122.18mm，硬度60HRC。模具径向圆跳动：头部0.10mm，根部0.02mm。
- 2) 旋轮： $\phi 280\text{mm}$ ，前 $R8\text{mm} \times 20^\circ$ / 中 $R8\text{mm} \times 20^\circ$ / 后 $R6\text{mm} \times 20^\circ \times 3^\circ$ 挤光。径向圆跳动：前轮（远）0.05mm，中轮（上）0.03mm，后轮（近）0.03mm，硬度60HRC。
- 3) 旋轮错距5.5mm/5.0mm。
- 4) 尾顶压6MPa。
- 5) 机床零点。A：-388.8mm，X（前轮/远）：-23.624mm，Z（中轮/上）：-19.21mm，Y（后轮/近）：-24.34mm。

6) 主轴旋转方向：面向主轴，逆时针。

5.3 毛坯

608mm长零件毛坯如图16所示。热处理状态：H112状态退火，随炉升温至380℃，保温1h，炉冷至260℃，空冷。毛坯尺寸：内径 $122.2^{+0.1}_0\text{mm}$ × 厚 $10.2^{+0.1}_0\text{mm}$ × 长410mm。硬度：端面378~381HL，筒体325~334HL。

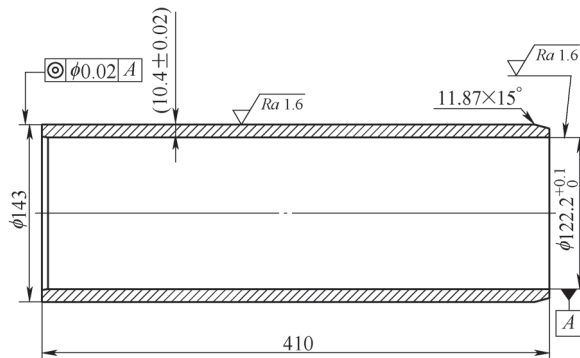


图16 608mm长零件毛坯

5.4 两道次反旋压

608mm长零件两道次反旋压工艺流程为：控制每道次旋压工件壁厚 $10.2\text{mm} \rightarrow 9.08\text{mm} \rightarrow 5.48\text{mm}$ （单边留1.68mm机械加工余量）。608mm长零件两道次反旋压工艺参数见表4，旋压程序如图17所示，旋压后的铝筒件如图18所示。

表4 608mm长零件两道次反旋压工艺参数

道次	位置	间隙/mm	压下量/mm	旋压后壁厚/mm	退让量/mm	转速 $S/(\text{r/min})$	进给速度 $F/(\text{mm/min})$
一	整体	9.64/9.24/8.84	0.56/0.40/0.40	9.08	0.24	200	160
二	主体	7.79/6.50/5.21	1.29/1.29/1.28	5.48	0.27	200	120
	主轴端	9.64/9.24/8.84	0.56/0.40/0.40	9.03	0.19	200	120

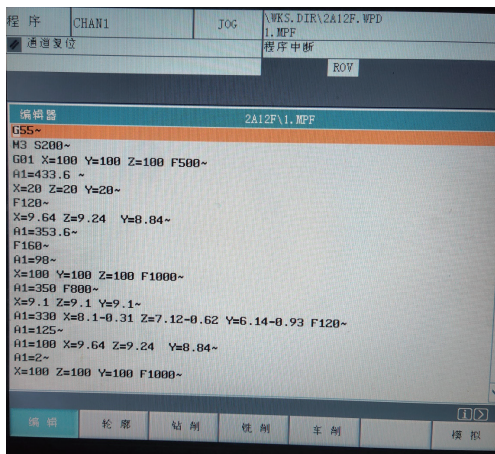


图17 旋压程序



图18 旋压后的铝筒件

6 结果分析

通过对三种不同尺寸的铝筒件的旋压过程及结果进行分析,总结出几种因素对铝筒件硬度、内径精度及内径的影响如下。

6.1 旋压过程对铝筒件硬度的影响

旋压前毛坯一般采用软态进行成形。这是因为软态时塑性较好,利于旋压塑性变形。软态一般指O态,也可采用H112状态进行退火处理。本研究即采用H112状态毛坯进行退火处理。

旋压后毛坯表面硬化,如果继续旋压变形,容易出现裂纹等缺陷,因此需要进行旋压道次间退火,恢复材料塑性,以便下一步旋压变形。旋压后中间退火如图19所示,毛坯旋压前后对比如图20所示。



图19 旋压后中间退火



图20 毛坯旋压前后对比

H112状态毛坯的硬度为325~334HL;380℃退火后硬度为313~320HL,硬度下降,但下降程度不大;旋压后工件壁厚由8.1mm减薄至4.65mm,工件表面硬化,硬度增大到347~360HL;然后进行330℃退火,硬度减小到293~300HL,下降幅度较大,比H112状态毛坯退火后的硬度还低,为下一步变形提供了基础。

6.2 减薄率对内径精度的影响

表5为不同减薄率对内径的影响,在进给比不变的情况下,随着减薄率由18.5%增大到24.4%、28.4%,内径由128.00mm减小到127.80mm、127.75mm,即随着减薄率增大,内径逐渐减小。旋压前毛坯内径为127.80mm,扩径量分别为0.20mm、0mm和-0.05mm,即扩径量逐渐减小,更有利于贴模。

表5 不同减薄率对内径的影响

序号	旋压前壁厚/mm	旋压后壁厚/mm	进给比/(mm/r)	减薄率(%)	内径/mm
1	8.1	6.6	F150/S150	18.5	128.00
2	8.1	6.12	F150/S150	24.4	127.80
3	8.1	5.8	F200/S200	28.4	127.75

6.3 进给比对内径精度的影响

表6为不同进给比对内径的影响,在减薄率不变的情况下,随着进给比由0.8mm/r增大到1.0mm/r、1.2mm/r,内径由127.77mm减小到127.71mm和127.60mm,即随着进给比增大,内径逐渐减小。芯模外径为127.52mm,扩径量分别为0.25mm、0.19mm和0.08mm,即进给比逐渐增大,更有利于贴模。

表6 不同进给比对内径的影响

序号	旋压前壁厚/mm	旋压后壁厚/mm	减薄率(%)	进给比/(mm/r)	内径/mm
1	8.1	6.95	14.2	F160/S200	127.77
2	8.1	6.95	14.2	F200/S200	127.71
3	8.1	6.95	14.2	F240/S200	127.60

6.4 旋压道次对内径精度的影响

表7为不同旋压道次对内径的影响,第一道次进给比为0.8mm/r,毛坯为内径127.80mm,旋压后内径为128.00mm,扩径0.20mm;第二道次进给比增大到1mm/r,旋压后内径为127.90mm,较旋压前内径减小0.10mm,呈现收径趋势。第二道次旋压后,进行中间退火(随炉升温至330℃,保温1h,炉冷至260℃,空冷),硬度降低;第三道次进给比为1mm/r,旋压后收径0.10mm,呈现收径的趋势。

表7 不同旋压道次对内径的影响

序号	旋压前壁厚/mm	旋压后壁厚/mm	减薄率(%)	进给比/(mm/r)	内径/mm
1	8.1	6.12	24.4	F120/S150	128.00
2	6.12	4.65	24.0	F150/S150	127.90
3(退火后)	4.65	3.28	29.5	F200/S200	127.80

6.5 旋压轨迹对内径的影响

340mm长零件经过两道次旋压后，外径旋压至零件的口部尺寸，即 $\phi 137.5_{-0.63}^{0}$ mm，旋压后为137.16~137.22mm，然后再进行第三道次成形，口部不进行变形，口部内径位置出现过渡不平缓的问题，达不到产品技术要求。对工艺进行优化，第一道次外径旋压至139.40mm，第二道次再进行变形旋压至138.3mm（单边留0.55mm机械加工余量），底部变形至134.45mm（单边留0.62mm机械加工余量）。留机械加工余量的主要原因是口部台阶高度仅5mm，旋压工艺无法实现，如果设计为10mm以上，则外径不需要留余量，直接成形至成品尺寸即可。经过工艺优化，解决了口部过渡处内径过渡不平缓的问题。

608mm长零件工艺优化前采用第一道次旋压后，外径由143.00mm减薄至140.50mm（单边留0.5mm机械加工余量），然后进行第二道次旋压，口部不进行旋压，旋压后内径出现过渡不平

缓现象。工艺优化后，第一道次口部留98mm不进行旋压，第二道次外径由143.00mm直接减薄至140.50mm，这样尾顶端外径由143.00mm减薄至133.20mm（单边留1.6mm机械加工余量），同时进行变形，解决内径过渡不平缓问题。

综上所述，对于带有台阶的零件，在最终成形时各个台阶均需进行减薄变形，内径过渡更趋于平缓，内径成形质量更高。

6.6 正旋压/反旋压对内径的影响

正旋压/反旋压对内径的影响见表8。正旋压时，旋压前毛坯内径为127.80mm，进给比为1mm/r时，扩径量为0.20mm。如果进给比为0.8mm/r，则扩径量更大。反旋压时，旋压前毛坯内径为122.25mm，进给比为0.8mm/r时，扩径量为0.15mm，与正旋压相比，反旋压时扩径量较小，即更有利于贴模。正旋压产品如图21所示，反旋压产品如图22所示。

表8 正旋压/反旋压对内径的影响

序号	旋压前壁厚/mm	旋压后壁厚/mm	减薄率(%)	进给比/(mm/r)	旋压方式	旋压前内径/mm	内径/mm	扩径量/mm
1	8.1	6.6	18.5	F150/S150	正旋压	127.80	128.00	0.20
2	10.2	9.08	11.9	F160/S200	反旋压	122.25	122.40	0.15



图21 正旋压产品

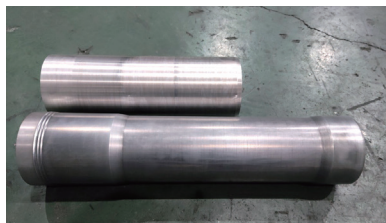


图22 反旋压产品

7 结束语

针对薄壁铝筒件采用旋压技术，不仅节约成本，而且能够提高产品的合格率。结合三种不同尺寸铝筒件旋压工艺进行研究，对结果进行分析，总结出影响铝筒件硬度、内径精度及内径的因素，可为不同尺寸的薄壁铝筒件旋压工艺提供参考和借鉴。

参考文献：

- [1] 李彦利. 旋压技术与应用[M]. 北京：机械工业出版社，2008.
- [2] 张涛. 旋压成形技术[M]. 北京：化学工业出版社，2009.
- [3] 陈适先，贾文铎. 强力旋压工艺与设备[M]. 北京：国防工业出版社，1986.
- [4] 《第一届旋压会议文集》编写组. 第一届旋压会议文集[M]. 北京：国防工业出版社，1980.

MW 20211103