

铬青铜厚板零件的旋压加工

曾向东

(西安航天发动机厂, 西安 710100)

摘要: 利用加工实例论证了旋压加工空心厚壁回转体铬青铜零件的加工方案。结果表明, 采用“普旋与强旋相结合辅以热旋”的复合方案旋压成形零件, 可以避免零件内外表面出现疲劳裂纹, 提高贴膜精度, 缩短了生产周期, 更为科学、快速有效。“普旋与强旋相结合辅以热旋”的复合方案旋压加工空心回转体厚板铬青铜零件的经验, 可以推广到类似产品的旋压加工中去, 具有一定的实用性。

关键词: 铬青铜; 厚板旋压; 强旋成形; 普旋成形; 贴膜

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.05.037

中图分类号: TG376 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)05-0230-05

Spinning Process of Chromium Bronze Heavy Plate Parts

ZENG Xiang-dong

(Xi'an Aerospace Engine Factory, Xi'an 710100, China)

ABSTRACT: The paper aims to discuss the scheme for processing heavy hollow plate parts made of chromium bronze by spinning rotation. The composite scheme which combines universal and high spinning with hot spinning used for forming parts by spinning could avoid fatigue crack on inner and outer surfaces, improve the punching precision and shorten the production cycle. It is more scientific, fast and effective. The experience of spinning hollow parts made of Chromium Bronze by compound scheme can be extended to the spinning process of similar products, and has certain practicability.

KEY WORDS: chromium bronze; thick plate spinning; high spin forming; universal spin forming; punch

利用旋压加工空心回转体铬青铜厚板零件, 具有材料利用率高、毛坯质量轻、结构简单、所需模具相对简单、涉及生产工序少、生产效率高、加工成本低等特点, 是一种少无切屑的加工工艺, 值得推广应用。当采用强旋方式加工空心厚壁铬青铜回转体零件时, 因为材料强度低, 压下量、减薄量都比较大, 容易在旋轮工作面前形成较高的堆积与隆起, 这些不断叠加的堆积与隆起, 由于无法推动未加工区域的材料向前流动, 在旋轮的擗压下会向前翻卷, 最终形成环带形的撕裂与脱落, 严重时可能造成失稳开裂。从加工实例来看, 此类零件宜选取复合方案(强旋与普旋相结合)进行旋压加工, 以避免上述问题的发生。

1 铬青铜材料的机械性能

铬青铜材料的抗拉强度为 268 MPa, 屈服强度为 129 MPa, 延伸率为 44%, 断面收缩率为 82%。材料屈强比小, 延伸率高, 旋压成形时要比紫铜材料硬、回弹量大, 可借鉴紫铜旋压加工时的一些经验。

2 旋压加工实例

2.1 厚板封头的旋压加工

某铬青铜厚板封头零件是曲母线空心回转体结构,

收稿日期: 2017-07-08

作者简介: 曾向东(1972—), 男, 高级技师, 主要研究方向为金属材料塑性成形, 尤其擅长不锈钢、钛合金、钎合金等材料的旋压加工。

为平底半球连接直壁段形状, 零件半球体内半径为 $SR350$ mm, 平底内表面直径为 $\Phi 190$ mm, 直壁段高度为 80 mm, 直壁段内径为 $\Phi 700$ mm, 零件壁厚要求 ≥ 8 mm, 内表面轮廓度 ≤ 2 mm, 其结构尺寸见图 1。

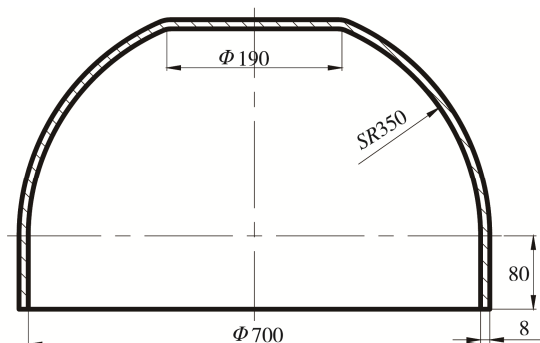


图1 铬青铜厚板封头

Fig.1 Head part of chrome bronze thick plate

2.1.1 旋压方案

由于零件为半球形曲母线等壁厚结构, 如采用强旋, 所需旋压毛坯壁厚大, 需预成形毛坯后进行 2 次旋压完成, 旋压毛坯准备过程长, 毛坯壁厚大, 至少需要 3 套模具, 旋压设备吨位要求高。采用普旋加工只需要一套模具即可, 所用设备吨位较低, 对材料的厚度精度要求低, 板坯准备容易。综上所述, 确定零件在 CNC650 数控旋压机床上进行旋压加工, 采用普旋后再强旋的方案进行成形加工。

先将退火状态的铬青铜板材进行 16 个道次普旋成形, 再进行一次强旋收口, 使零件完成贴模。为避免由于压下量过大, 造成材料塑性降低而形成起皱、隆起等缺陷, 普旋完成后的零件需去应力退火, 以恢复材料塑性。热处理温度为 $600 \sim 650$ $^{\circ}\text{C}$, 真空炉随炉冷却; 普旋时, 采用机床坐标偏移方式结合 CAD 图样数据, 实现零件加工程序的编制, 可保证数据的稳定性, 同时, 只需要将程序偏置点坐标调整好, 测试其在某道次程序起点、中间点、结束点时的对刀值是否正常, 即可保证其他所有道次的对刀值, 减少了许多对刀工作量, 也节省了大量的对刀工作时间。

2.1.2 方案实施

毛坯材料为 CuQCr0.8, 尺寸为 $\delta 15 \text{ mm} \times \Phi 800$ mm, 设备为 CNC650 数控旋压机。工艺参数: 转速 $n=200 \text{ r/min}$, 进给 $f=1000 \text{ mm/min}$, 旋轮圆角半径 $R=40 \text{ mm}$, 机床攻角 $\alpha=10^{\circ}30'$, 润滑剂使用机油。普旋道次规划见图 2, 旋轮每道次工作轨迹见图 3。采用单旋轮工作方式, 另一侧床身安装车刀配合车削零件。

加工后, 零件基本满足工艺要求, 壁厚最薄处为 11.20 mm, 毛坯内表面与芯模之间的间隙约在 1.8~1.2 mm 之间。生产周期略显较长, 平均需要 1 个月, 而

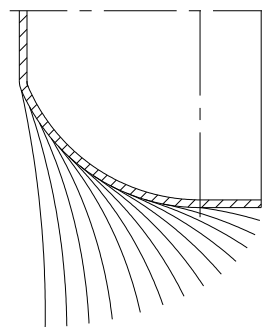


图2 普旋道次规划

Fig.2 Conventional spinning of thick plate head

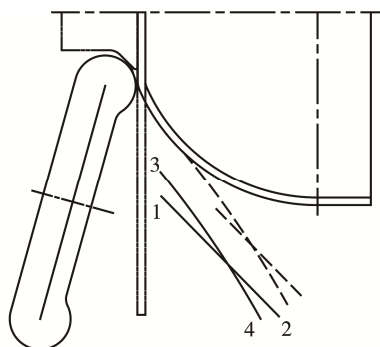


图3 普旋旋轮工作轨迹

Fig.3 Roller working paths during conventional spinning

且个别零件内表面有少量的疲劳裂纹, 虽然在后续机械加工中可以去除, 但增加了工序。普旋时, 毛坯外缘处容易产生开裂, 需要及时将其车削掉, 避免其深入扩散, 导致零件报废。

2.2 厚板筒锥复合件的旋压加工

厚板筒锥复合件见图 4, 可以看出, 该零件非等壁厚, 前端为筒形件, 并带有小段台阶, 后段为抛物线形, 接近锥形件的旋压, 内表面还有台阶, 2 种变形规律相互衔接, 前后变薄率相差较大。零件壁厚要求前端直筒段为 8 mm, 后段部分为 7 mm, 整体高度为 730 mm, 内表面轮廓度 ≤ 0.5 mm, 壁厚公差 ≤ 0.3 mm。

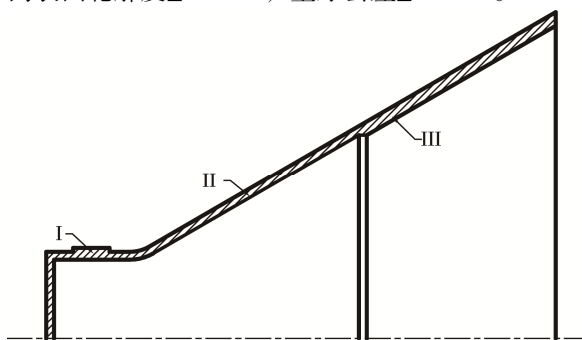


图4 厚板筒锥复合件

Fig.4 Thick plate cone composite

2.2.1 旋压方案的确定

由于零件为圆筒、圆锥、抛物线等形状的组合结

构,采用旋压加工的难点主要集中在喉部衔接处的成形与贴模,如果旋压工艺选择不当,容易产生大量的堆积隆起,造成零件反挤、筒身歪斜。为此,该零件采用了先强旋再普旋的旋压成形方案。初步确定采用平板毛坯,先强旋成锥形毛坯,再普旋喉部衔接处逐渐到位,最后实施一次强旋整形,以保证零件的贴模。每次旋压加工前均需对坯料进行退火热处理,以恢复材料塑性,中间辅以酸洗工序。

2.2.2 方案实施

毛坯材料为 CuQCr0.8, 尺寸为 $\delta 28\text{ mm} \times 680\text{ mm} \times 680\text{ mm}$, 使用设备为 SY-6 旋压机。工艺步骤:
① 将板坯强旋为半锥角 $\alpha=19^\circ$, 壁厚为 9 mm 空心圆锥体, 强旋锥体见图 5, 转速 $n=100\text{ r/min}$, 间隙 $Z=8.1\text{ mm}$, 进给量 $f=25\text{ mm/min}$, 旋轮工作圆角半径 $r_p=32\text{ mm}$, 旋轮安装角 $\beta=90^\circ$, 采用机油+MoS₂ 膏剂+冷却液(亚麻油)进行润滑, 横缸压力为 60 MPa, 纵缸压力为 85 MPa; ② 对锥体趋近零件喉部位置采用单旋轮进行普旋收口, 收至喉部材料距芯模约 5 mm, 大端距离芯模约 10~15 mm, 用 12 个道次, 采取前后拉旋以利于材料的均匀流动; 要将零件的变形程度控制在材料极限范畴之内。同时, 为避免锥部小端提前贴模箍紧, 收口时先从喉部变形最剧烈处下手, 按先中间、再右后左的顺序进行拉旋, 普旋收口见图 6, 旋压技术参数: 转速 $n=100\text{ r/min}$, 进给 $f=200\text{ mm/min}$, 采用机油润滑, 纵缸压力为 50 MPa, 横缸

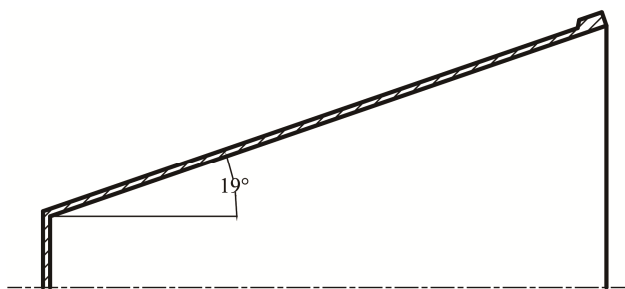


图 5 强旋锥体
Fig.5 Strongly rotating cone

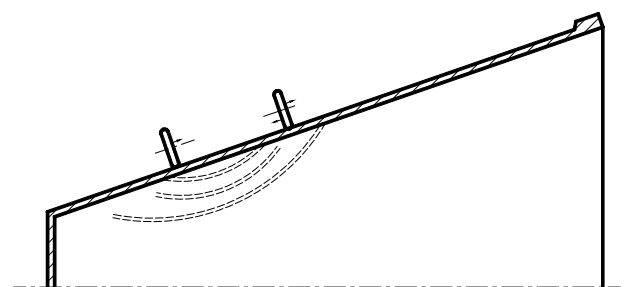


图 6 普旋收口
Fig.6 Spinning necking

压力为 40 MPa; ③ 强旋整形, 强旋时对刀间隙注意要依据图纸要求, 对壁厚进行合理分配, 尽量保证充足的压下量, 方便零件贴模。效果: 加工后零件贴模程度与厚度都能满足工艺要求, 但在喉部内侧存在大量的疲劳裂纹, 而且多次的热处理后对后期的镀银工序产生不利影响, 导致无法实施, 故暂停此方案。

2.2.3 更改后的工艺方案

结合前期工艺试验, 为保证零件旋压顺利成形, 特设计了草帽形旋压毛坯, 拟采用强旋一步成形, 毛坯见图 7。

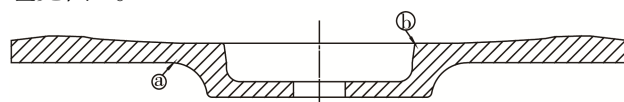


图 7 锻件毛坯
Fig.7 Forging blank

方案实施效果: ① 由于坯料直筒根部处大面积的材料淤积, (图 7 中 a 处) 向前无法推动材料流动, 进而部分向后反挤造成直筒部后座失稳, 而随着加工区域的不断递增, 在旋轮前堆积隆起材料, 逐渐被后续堆积的材料顶起, 无法将大面积的未加工材料推动, 使其向前倾倒, 便于材料流动, 这双重因素导致绝大部分隆起材料被环切撕裂, 为防止撕裂下来的厚度近 15 mm 的环料挤入旋轮与零件之间, 不得已急停后, 将其车削后再行旋压加工; ② 为便于实现喉部内侧的贴模, 故在坯料的内侧根部(图 7 中 b 处)增加了一定的料厚, 并且将其圆角半径减小($R=4\text{ mm}$), 这又进一步加剧了旋轮前材料堆积隆起现象的发生, 又对零件的贴模产生不利的影响, 零件内表面精度约在 0.45 mm 左右, 加工效果不理想。由此可见, 厚板铬青铜零件在旋压时最易产生隆起失稳、疲劳裂纹、贴模不足等 3 种缺陷。

3 应对措施

针对以上零件旋压加工出现的问题, 旋轮的压下量对材料的隆起有直接影响, 因此, 零件加工时, 一是要合理分配压下量; 二是要在方案上提前考虑如何减少材料隆起失稳。

疲劳裂纹的发生, 说明该加工工序变形程度较大, 可以从 2 个方面着手: 一是降低零件加工时的变形程度; 二是在现有条件下尽可能提高材料的塑性。

4 实施效果

4.1 厚板封头的旋压改进加工

将其普旋成形道次和路径更改为 20 个道次, 使

其每道次的压下量更加合理,被加工材料塑性不会迅速降低,由加工硬化引发裂纹、折叠等缺陷也会大大降低;普旋路径由原来的单一前进拉旋改为往复式双向前擗后收的拉旋方式,普旋时旋轮工作路径变更见图 8,并且每次收口时,尽量收至坯料大端的最边缘处,但又不能碾压出去;回收下压时,也尽量从大端最边缘处开始,实践证明该工艺成形效果好,而且还有效减少了材料的减薄量。

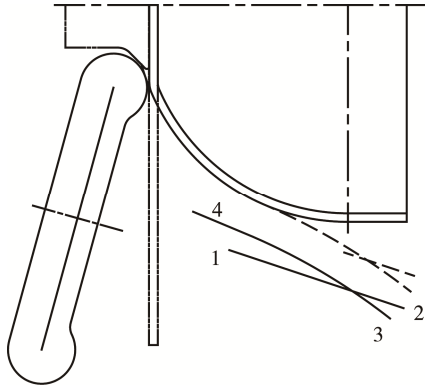


图 8 普旋时旋轮工作路径变更
Fig.8 Changes of roller working paths during conventional spinning

借鉴于紫铜材料的理化测试数据(见表 1),采用热旋加工工艺,采用乙炔、氧气作为加热介质,考虑到毛坯较厚,加热效率不高,温度控制不易以及实用性,将模具加温到 250℃,坯料加热到 350℃后,进行旋压加工。

表 1 T2 材料热状态下的力学性能
Tab.1 T2 Mechanical properties of materials under hot conditions

温度/℃	抗拉强度 (N·mm ⁻²)	屈服强度 (N·mm ⁻²)	伸长率/%
300	135	30	60.85
350	110.5	27	88.9
400	90.5	25	100.4
450	69.5	24	77.8

4.2 效果

经旋压试验,零件内外表面均未出现疲劳裂纹,而且零件的贴模度得以提高至≤0.5 mm 范围内,既减少了 3 次真空热处理,又将原来的生产周期从单月降到一周,大大提高了生产效率和产品质量。

5 改进建议

鉴于上述加工实例经验,对厚板筒锥复合件的旋压提出以下建议。

1) 无论是采用哪个方案,都应该引入热旋加工,即采用乙炔、氧气作为加热介质。经测试,铬青铜材

料的力学性能在 400℃时更适合普旋操作加工,如果继续提高加热温度保温也比较困难,同时也要浪费时间与资源。Cr0.8 材料热状态下的力学性能见表 2,将模具加温到 300℃,坯料加热到 400℃,以提高材料的加工塑性。

2) 对于方案一可将其普旋道次改为 16 道次,使其每道次的下压变形更加合理,同样可以节省 4 次热处理工序,提高生产效率,而方案二应先用普旋的方法,将草帽形毛坯的大直边向后收料,使其倾倒(普旋收料见图 9),收致坯料边缘距芯模约 25~30 mm 后再采取强旋加工,既解决了材料隆起,又改善了零件的贴模;同时,由于坯料的倾倒,弥补了喉部内侧材料的缺失部分,保证喉部的贴模,因此,毛坯的整体厚度依据计算可以适度减薄,相应的毛坯重量也会减少。

3) 从零件加工要求来看,此筒锥复合件的收口量远小于厚板封头零件,应当可以取得更好的效果。核对加工尺寸:方案一由锥形件进行普旋收口时的单边缩径量仅为 60 mm,而前述厚板封头零件采用加热普旋收口得到合格品时,其单边缩径量高达 145 mm;方案二的收料倾倒角度才 60°,远小于前例的 90°,由此可见,对此锥筒复合件,无论方案一还是方案二,对其进行普旋预收口,缩径加工都是切实可行的有效加工方案,而且只会对零件的加工质量、加工效率有利。

4) 如果条件允许的话,可尝试采用平板毛坯,先普旋成锥形件,再普旋出零件的大致形状后,最后强旋精整成形零件(普旋时需要辅助托料装置,否则可能无法成形),预计所需毛坯厚度为 16 mm 即可,较上述方案大幅减薄、减重、低成本。笔者认为,如果可行的话将是最佳方案。

表 2 Cr0.8 材料热状态下的力学性能
Tab.2 Cr0.8 Mechanical properties of materials under hot conditions

温度/℃	抗拉强度 (N·mm ⁻²)	屈服强度 (N·mm ⁻²)	伸长率/%
300	159	86.5	67.5
400	112	70.5	75.7
500	78.5	58	97.3
600	50.5	40.5	102.2

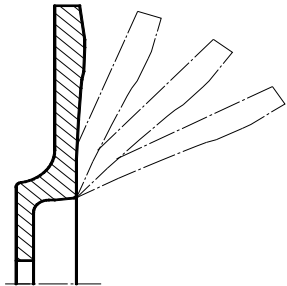


图 9 普旋收料
Fig.9 Spinning necking

6 结论

1) 利用旋压加工空心厚壁回转体铬青铜零件,宜选取复合方案(普旋与强旋相结合辅以热旋)进行加工,一方面可以快速成形,提高生产效率;另一方面可以减薄毛坯的厚度,降低成本,更重要的是可以有效解决减薄量与材料隆起叠加的矛盾,并且有利于提高零件的贴模度。

2) 实操经验热旋温度取 350 ~ 400 °C 区间时,最有利于铬青铜厚板的普旋加工。

3) 采用普旋成形加工,对旋压过程控制要求较高,需要制定合理的变形道次和路径,选择合理的旋压工艺参数。

4) 采用机床坐标偏移方式结合 CAD 图样数据编程,可以量化每道次的普旋长度与缩径值,结合现场加工录像与零件的加工效果是很好的量化分析方法。

合理的加工方案对于旋压加工来说非常重要,一个产品的质量与效率除了取决于生产工人的操作技能外,科学的加工方法也是最大的保证。在科研生产中应确保安全、高效、有质量的、低成本地完成加工项目,使之具有更强的实用性。

参考文献:

- [1] 王成和, 刘克璋. 旋压技术[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2017.
WANG Cheng-he, LIU Ke-zhang. Spinning Technology[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 2017.
- [2] 张涛. 旋压成形工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
ZHANG Tao. Spinning Forming Process[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [3] 赵云豪, 李彦利. 旋压技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
ZHAO Yun-hao, LI Yan-li. Spinning Technology and the Application[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2007.
- [4] 陈适先. 强力旋压及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1966.
CHEN Kuo-xian. Power Spinning and Its Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1966.
- [5] 第五机械工业部第五设计院. 强力旋压工艺研究[M]. 第五机械工业部第五设计院, 1976.
Fifth Ministry of Machine Building Industry Fifth Design Institute. Study on Powerful Spinning Process[M]. Fifth Ministry of machine building industry Fifth Design Institute, 1976.
- [6] 日本塑性加工协会. 旋压成形技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
Japan Molding Association. Spinning Forming Technology[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1988.
- [7] 陈适先, 贾文铎, 曹庚顺, 等. 强力旋压工艺与设备[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.
CHEN Kuo-xian, JIA Wen-duo, CAO Geng-shun, et al. Power Spinning Process and Equipment[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1986.
- [8] 李玉强. 多道次拉深旋压成形规律的研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2002.
LI Yu-qiang. Multi-channel Time Deep Drawing Spinning Forming Law Research[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2002.
- [9] 李海峰, 唐定勇. 半球形厚壁封头拉深成形壁厚变化规律[Z]. 中国工程物理研究院科技年报, 2002.
LI Hai-feng, TANG Ding-yong. Hemispherical Thick Wall Head Deep Drawing Wall Thickness Variation Law[Z]. China Academy of Engineering Physics Science and Technology Annual Report, 2002.
- [10] 杨洁, 马世成, 吴伏家. 旋压成形技术数值模拟方法的应用现状与发展趋势[J]. 现代制造工程, 2011(1): 130—134.
YANG Jie, MA Shi-cheng, WU Fu-jia. Spinning Forming Technology Application Situation and Development Trend of Numerical Simulation Method[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(1): 130—134.
- [11] 张华. 旋压药筒筒体成形过程工艺参数优化仿真研究[D]. 太原: 中北大学, 2012.
ZHANG Hua. Spinning Cartridge Shell Forming Process Parameters Optimization Simulation Study[D]. Taiyuan: North Central University, 2012.
- [12] 许兰贵. 变壁厚大锥度薄壁铝罐成形关键技术的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
XU Lan-gui. Variable Wall Thickness Large Taper Thin-walled Aluminum Cans Forming Key Technology Research[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [13] 刘建华. 多道次普通旋压成形机理与旋轮运动轨迹作用的研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2003.
LIU Jian-hua. Multi-channel Time Ordinary Spinning Forming Mechanism and the Function of the Wheel Trajectory[D]. Guangzhou: Northwestern Polytechnical University, 2003.
- [14] 陈辉. 复杂曲面、薄壁件精密旋压成形技术研究[D]. 成都: 四川大学, 2004.
CHEN Hui. Complex Curved Surface, Thin Wall Parts Precision Spinning Forming Technology Research[D]. Chengdu: Sichuan University, 2004.
- [15] 赵博. 薄壁筒体构件反旋减薄旋压载荷与鼓形规律研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
ZHAO Bo. Thin-walled Cylinder Component Reverse Spin Boxuan Reduction Pressure Load and the Drum Law Research[D]. Changsha: Central south University, 2013.