小直径薄壁钢管缩颈滚珠旋压工艺研究

郭　强　温树斌　韩　冬　李增辉　张　岩

（西安航天动力机械厂，西安 710025）

摘要：为了实现小直径薄壁不锈钢管局部缩颈，采用一种新型的无模浮动滚珠旋压法，设计并制造了一套滚珠旋压专用工装，充分利用车床的基本功能，通过工艺试验，解决了薄壁管缩颈的技术难题。在工艺试验过程中，获得了不同转速、进给比条件下的旋压结果，通过对比分析，当主轴转速为 118r/min，轴向进给比 0.5mm/r 时，缩颈段成形效果最佳。

关键词：薄壁管；缩颈；滚珠旋压；工艺参数

Research on Ball Bearing Spining Technics for Local Necking of Thin-walled Steel Tube with Small Diameter

Guo Qiang　Wen Shubin　Han Dong　Li Zenghui　Zhang Yan

(Xi'an Aerospace Power Machine Factory, Xi'an 710025)

Abstract：In order to realize local necking effect of stainless steel tube with small diameter and thin thickness, a new-style floating ball spining method with no mandril was carried out, and a suit of special frocks was designed and manufactured, sufficiently utilized basal function of the lathe, the technic problem was solved according to technics trial. Spining result was achieved in the condition of different rotate speed and ratio of progress in process of technics trial, comparing with different results, when rotate speed was 118 r/min, ratio of progress was 0.5mm/r, the effect of necking segment was the best.

Key words：thin-walled tube；necking；ball bearing spinning；technological parameter

1　引言

一种小直径薄壁不锈钢管是某核电站控制装置系统的关键零部件，如图 1 所示。该零件具有薄壁、大长径比大等特点。管坯壁厚 0.5mm，外径 Φ12.9mm，管身有四处缩颈段，缩颈段外径为 (10.30±0.03)mm，该产品整体结构虽然简单，但缩颈段尺寸精度、形位公差要求高，采用传统工艺方法加工，难度极大。

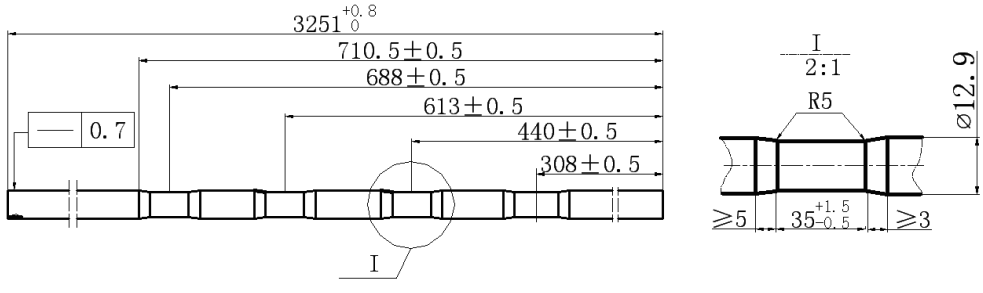

图 1　零件结构示意图

作者简介：郭强（1982-），硕士，材料加工工程专业；研究方向：金属材料旋压工艺研究以及工装模具设计。

收稿日期：2014-05-06

目前，滚珠旋压已十分广泛地应用于制造薄壁回转体空心件，特别是适合用于此类小直径薄壁管加工。与其他工艺相比，滚珠旋压可以更有效地控制变形时材料的周向流动，实现薄壁管局部缩颈，且能保证不锈钢管有较高的尺寸精度和表面粗糙度[1]。国内很多学者对滚珠旋压进行了研究，江树勇、薛克敏等[2]运用神经网络模型对薄壁筒形件滚珠旋压成形过程进行了分析，并对产品可能存在的表面缺陷进行了预测。张士宏、吴江等[3]通过分析薄壁管滚珠旋压过程金属的成形规律，为进一步优化旋压工艺参数提供了参考依据。王芳、张宁等[4]建立了 GH4169 薄壁钢管滚珠旋压三维有限元模型，并采用 Deform-3d 软件模拟分析其成形过程，结果发现，产品表面出现波纹，端面呈喇叭口状，以及钢管发生扩径等现象，从而获得了旋压工艺参数对以上特征的影响规律，这些工作对滚珠旋压成形高精度薄壁管有重要参考意义。

2 滚珠旋压模型建立

2.1 旋压工装结构

针对上述产品的结构特点，本文提出了一种新型的变径管无模浮动滚珠旋压法，设计并制造了一套滚珠旋压专用装置，图 2 所示为变径管无模浮动滚珠旋压结构示意图。设计过程中，涉及的工装包括：卡盘、模环、滚珠、压块、叉形推杆、夹头、套筒、尾顶、小托板、刀架。工装按功能分为两大类：旋压装置和送料装置，其中，旋压装置主要由模环、滚珠、压块、叉形推杆、小托板、刀架、堵头组成；送料装置由夹头、套筒、尾顶组成。

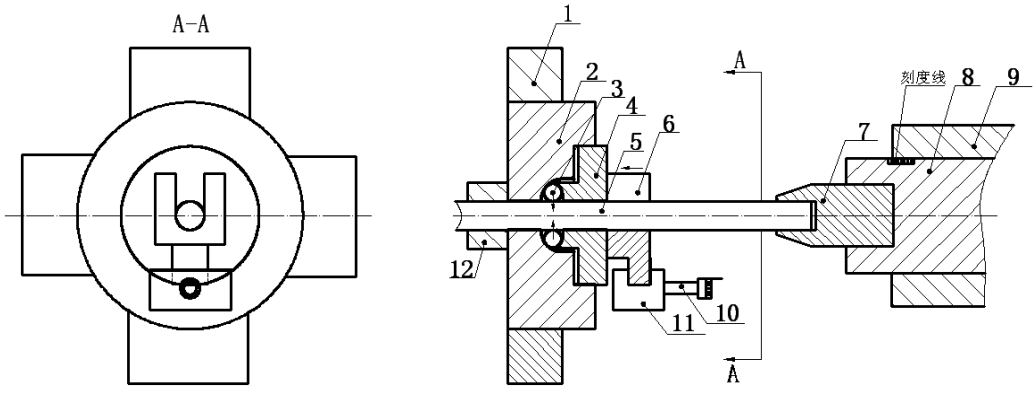

图 2 变径管无模浮动滚珠旋压结构示意图

1—卡盘 2—模环 3—滚珠 4—压块 5—管坯 6—叉形推杆 7—夹头 8—套筒 9—尾顶 10—小托板 11—刀架 12—堵头

2.2 工作原理

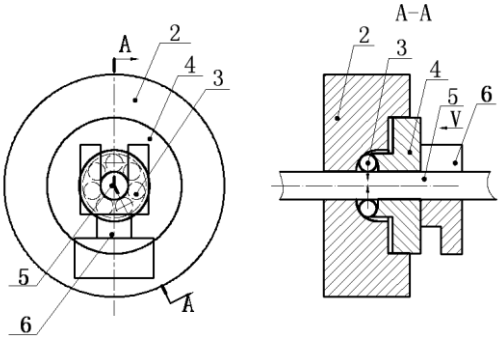

图 3 缩颈前主要旋压装置的装配位置

结合设计的旋压工装，本文提出的无模浮动滚珠旋压法，其工作原理如图 3 所示，将模环紧固在卡盘上，在其内型面均匀涂抹润滑油，选取若干个相同直径的滚珠（钢珠），将滚珠逐个均匀装在模环内，压块与模环之间采用间隙配合，将压块推入模环，然后转动小托板上的刻度盘带动固定在刀架上的叉形推杆推动压块，从而迫使滚珠做径向微量移动，达到压紧管坯的目的。

图 4 所示是缩颈过程中滚珠在模环内的工作位置。启动车床，模环随卡盘同步旋转，管坯不转动，转动小托板上的刻度盘，带动叉形推杆轴向移动，压块随叉形推杆进一步压入模环，并使滚珠沿模环圆弧面滑下，通过调整小托板上的刻度值控制滚珠径向压下量，得到管坯缩颈段要求的直径。同时，启动送料装置，管坯随套筒作轴向进给运动，通过套筒上的刻度值，控制管坯轴向运动的距离，得到钢管缩颈部位所要求的长度，从而实现钢管的局部缩颈。另一方面，堵头防止靠近主轴箱外侧的管段颤动，达到薄壁管的

直线度要求。

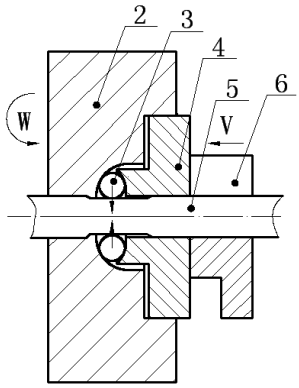

图 4 缩颈过程中滚珠在模环内的工作位置

3 薄壁管缩颈旋压

3.1 工艺参数设定

轴向进给比是滚珠轴向进给速度与主轴转速之比，滚珠旋压过程中，进给比对旋压件的质量有明显影响。进给比过大时，工件表面光洁度差，但贴模效果较好，扩径量小；进给比过小时，钢管表面光滑，但贴模较差，易产生扩径[5]。因此，为了兼顾工件表面光滑和有效控制其扩径量，根据经验积累以及材料的性能，制定了两套加工方案，如表 1 所示。

表 1 主要旋压工艺参数制定

方案编号	主轴转速 /r min^{-1}	进给比 /mm r^{-1}	滚珠直径 /mm	滚珠数量 /（只）	旋压道次 /（次）
1 2	118 300	0.5/1.0/1.5	Φ8	7	3

3.2 缩颈旋压过程

薄壁管缩颈旋压大致分为三个步骤。

第一步：安装旋压工装，如图 3 所示为缩颈旋压前旋压工装的装配位置。

第二步：缩颈旋压。

旋压过程中，分三道次进行旋压，套筒往复一个行程为一个道次，主轴转速 118 r/min，套筒轴向进给速度为(60±10)mm/min。旋压时，小托板上的刻度盘每转动一大格，叉形推杆带动压块前进 0.05mm，前两道次刻度盘均转动 10 大格，压块前进 0.5mm，滚珠径向下压 0.3mm，第三道次精旋时，刻度盘转动 8 大格，滚珠径向下压 0.2mm。套筒表面有刻度值，管坯轴向运动的进给速度及距离由套筒确定，当套筒前进 35mm 左右时，重新返回到初始起旋位置，然后进行二道次旋压，如此再往返一个行程后，完成二道次旋压；最后，进行三道次精旋，再往返一个行程后，保证缩颈段总长达到 45mm 左右。以此类推，依次完成其他三处缩颈段旋压。

第三步：卸料。

缩颈段旋完后，首先松开夹头，尾顶后退，叉形推杆从刀架上卸下，然后松开卡盘，将模环连同压块一起沿轴向后退，脱离管坯，最后管坯从主轴箱的主轴内孔抽出，操作完毕。

4 结果分析

4.1 表观质量分析

轴向进给比是轴向进给速度与主轴转速之比，随着进给比增大，材料的等效应变趋于不均匀，且不均匀程度逐渐增大，结果导致钢管表面纹路变粗，光洁度变差；同时，进给比过大会导致金属隆起而堆积，降低钢管表观质量。另一方面,由于钢管长径比很大，当主轴转速过高时，引起钢管发生剧烈颤抖，致使钢管表面产生细小的波纹。通过对比不同转速、进给比等工艺参数下缩颈段的成形效果，结果发现，主轴转速 118r/min，进给比为 0.5mm/r 时，工件表面光洁，外径符合设计要求，如图 5 所示。

图 5 钢管缩颈段表观效果图

4.2 扩径量分析

图 6 反映了不同转速下进给比与扩径量的对应关系，可以看出，在进给比一定的条件下，钢管扩径量随着主轴转速提高逐渐变小，在转速一定的条件下，其扩径量呈现随着进给比的增加而减小的趋势，这是由于进给比增大时，钢管成形区域金属轴向流动剧烈，迫使滚珠两侧金属产生较大的切向压应变，同时所受的径向压应减小，因此，不易产生扩径现象。对比实验结果，当进给比较大时，扩径量虽小，但工件表面粗糙，甚至出现细小的鱼鳞状，严重影响表观质量，不能满足产品技术要求。

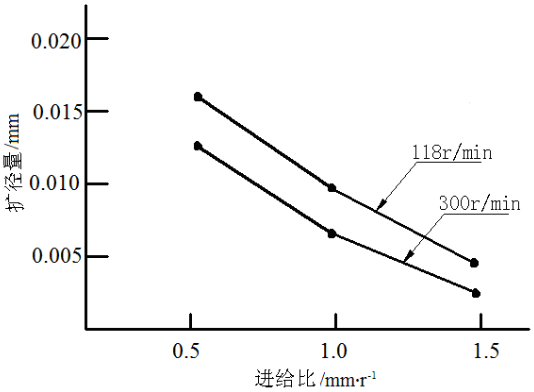

图 6　不同转速下进给比与扩径量的对应关系

综合以上两方面因素，对比分析，当主轴转速 118r/min，轴向进给比 0.5mm/r 时，钢管滚珠缩颈旋压成形效果最佳。

5　结束语

通过开展大长径比薄壁不锈钢管缩颈滚珠旋压工艺研究，得出以下结论：

a. 针对小直径细长薄壁不锈钢管局部缩颈难点，本文提出了一种新型的无模浮动滚珠旋压法，并得到了成功应用。

b. 在旋压前期，设计并制造了一套滚珠旋压专用工装，加工容易，制造成本低，滚珠可替代性强，操作简单方便，工作效率高，充分利用现有车床的基本功能，通过大量试验，解决了薄壁变径管缩颈的技术难题。

c. 在工艺试验过程中，获得了不同转速、进给比条件下的旋压结果，对比分析，当主轴转速为 118r/min，轴向进给比 0.5mm/r 时，缩颈段成形效果最佳。

参考文献

1　王成和，刘克璋，等. 旋压技术[M]. 机械工业出版社，1986
2　江树勇，薛克敏，等. 基于神经网络的薄壁筒滚珠旋压成形缺陷诊断[J]. 锻压技术，2006，31(3)：79～83
3　张士宏，吴江. 薄壁不锈钢管滚珠旋压成形工艺研究[J]. 锻压技术，2009，34(1)：60～64
4　王芳，张宁，范涛，等. GH4169 薄壁管滚珠旋压过程的缺陷研究[J]. 锻压技术，2010.8，35(4)：52～55
5　杨延涛，张立武，张强，等. GH4169 薄壁管长筒形件正旋工艺参数优化试验研究[J]. 热加工工艺，2004，6(6)：37～39

※※※

（上接第 42 页）

图 10　优化方案二铸件缺陷图示

5　结束语

通过对铝合金活塞裙原始浇注系统的模拟，证实其主要缺陷分布在销孔周围的厚大区域内，在裙体周围的薄壁处分布着散乱的缩孔、缩松。在原始浇注工艺的基础上对浇注系统进行优化，减少缺陷。在不增大缺陷的前提下，采用将销孔直接铸出的方式，进一步提高了材料的利用率。

参考文献

1　陈长江，王渠东，尹冬弟，等. 内燃机活塞材料的研究进展[J]. 材料导报，2009，23(8)：62～65
2　曹文炅，周照耀，李元元，等. 船用柴油机活塞铸造顺序凝固工艺设计及数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金，2010，30(1)：36～38
3　钱大川. 活塞、活塞环设计、加工新技术与产品缺陷控制及相关标准汇编实用手册. 北京：中国电子科技出版社，2006.11
4　林柏年. 特种铸造. 杭州：浙江大学出版社，2004.7
5　孔庆华，母福生，刘传绍. 极限配合与测量技术基础（第 2 版）. 上海：同济大学出版社，2008.9
6　历长云，胡玉昆，王海燕，等. 立式磨床摇臂铸造工艺研究与数值模拟[J]. 热加工工艺，2012，41(07)：51～54
7　铸造工程师手册编写组. 铸造工程师手册. 北京：机械工业出版社，1997.12
8　中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册. 北京：机械工业出版社，2003.1