

# 30CrMnSiNi2A 钢壳体毛坯的温挤压成形工艺研究

伍太宾, 周强

(重庆工商大学 机械与包装工程学院, 重庆 400067)

**[摘要]** 针对 30CrMnSiNi2A 超高强度钢制壳体毛坯的结构特点和材料工艺特性, 对该壳体毛坯的温挤压成形工艺进行了大量的试验研究, 并采用“正交试验方法”对温挤压工艺参数进行了优化设计。经过理化检测和使用结果表明, 采用温挤压工艺生产的 30CrMnSiNi2A 钢制壳体毛坯锻件完全满足壳体的使用要求, 各项性能指标合格。

**[关键词]** 30CrMnSiNi2A; 温挤压; 壳体; 毛坯

**中图分类号:** TG376.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-8446(2004)01-0011-03

## Study on the Warm Extrusion of Shell Body Blank Made by 30CrMnSiNi2A

WU Tai-bin, ZHOU Qiang

(Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** In view of the construction feature of shell body blank made by 30CrMnSiNi2A and the specific property of material, the experiments are performed to investigate the warm extrusion of shell body blank; and the optimized design of major process parameters are finished by means of "experimental-orthogonal method". The experimented results show that the forging of shell body manufactured by warm extrusion fulfil quality requirements, and each of property target is up to standard.

**Key words:** 30CrMnSiNi2A; warm extrusion; shell body; blank

对于高强度钢和超高强度钢制壳体类零件, 其常规加工方法为金属切削加工。由于高强度钢和超高强度钢的强度、硬度很高, 且韧性好; 因此刀具磨损很快, 机械加工比较困难; 此外, 机械加工时会产生表面应力, 可能导致产生应力腐蚀裂纹; 机械加工方法不仅耗费大量工时, 也会产生大量废屑, 因此其材料利用率低、工序流程长、生产效率低。随着金属少无切削加工工艺的发展, 对于高强度钢和超高强度钢制大型、薄壁壳体零件则采用强力旋压工艺制坯的方法生产; 而对于小型盲孔类壳体零件和其他复杂形状的零件都采用热模锻制坯的方法生产。强力旋压成形工艺需要价格昂贵的旋压机, 而且旋压次数多, 生产周期长、生产成本低, 对于大批量的工业生产不是特别适合; 而热模锻成形工艺虽然设备

投资较小, 但是热模锻工艺的能源消耗大、污染环境、毛坯锻件的尺寸精度和表面质量均较差, 因而锻件的后续加工余量大、材料利用率低、生产成本较高, 仍然不适合于大批量生产。

## 1 温挤压成形的工艺分析

### 1.1 产品结构特点及要求

图 1 所示的壳体毛坯, 是具有细长、深盲孔的壳体零件, 其内孔口部直径为  $\phi 31\text{mm}$ , 孔深达 75mm; 而且内孔是由  $SR10$  和  $R688\text{mm}$  弧形所组成的复杂型面。且内孔精度要求高, 其尺寸精度要求达到 IT8 级、形位公差达 8 级精度, 整个内孔不得有裂纹、折叠等缺陷, 表面粗糙度在  $R_a 1.6\mu\text{m}$  以下; 内孔

收稿日期: 2003-11-26

作者简介: 伍太宾 (1967 - ), 男, 四川南充人, 工学硕士, 高级工程师, 曾获国防科技三等奖、重庆市科技进步三等奖, 主要从事金属塑性成形理论、工艺、模具及设备等方面的研究工作。

与外圆的同轴度小于 0.30mm。

## 1.2 材料的工艺特性

30CrMnSiNi2A 超高强度钢具有强度极高、塑

性较差、形变强化十分严重的特点,难以进行大变形的锻造加工。与 45 钢相比,30CrMnSiNi2A 钢的机械性能和形变强化特性分别见表 1 和表 2。

表 1 材料机械性能

| 钢种           | 热处理           | $\sigma_{0.2}$ (N·mm <sup>-2</sup> ) | $\sigma_b$ (N·mm <sup>-2</sup> ) | $\delta_5$ (%) | $\psi$ (%) |
|--------------|---------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------|------------|
| 30CrMnSiNi2A | 870 淬火 200 回火 | 1400 ~ 1500                          | 1600 ~ 1800                      | 8 ~ 10         | 33.5 ~ 45  |
| 45 钢         | 840 淬火 650 回火 | 470                                  | 755                              | 27             | 63.5       |

表 2 材料变形前后机械性能

| 条件                | $\sigma_{0.2}$ (N·mm <sup>-2</sup> ) | $\sigma_b$ (N·mm <sup>-2</sup> ) | $\delta_5$ (%) | $\psi$ (%) |
|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------|------------|
| 30CrMnSiNi2A 球化退火 | 517.1                                | 794.6                            | 16.09          | 54.1       |
| 30CrMnSiNi2A 经拉深后 | 913.7                                | 936.5                            | 4.7            | 42.27      |

## 1.3 温挤压件图的制定

通过对壳体毛坯零件的结构特点、技术要求及材料特性的分析研究,对该类具有细长深盲孔的壳体零件,应采用大变形的挤压成形工艺进行加工;同时为了确保零件的精度、减少变形力,以采用复合温挤压工艺为最佳。其温挤压件如图 2 所示。

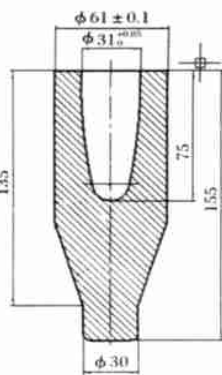


图 1 壳体毛坯

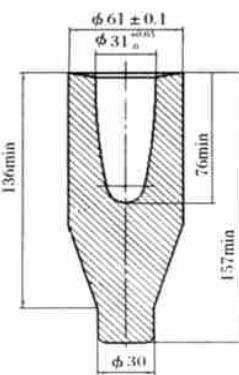


图 2 温挤压件

## 2 温挤压成形的工艺设计与试验

### 2.1 原始坯料形状的选择

根据壳体毛坯的形状特点,采用了如下 3 种坯料进行试验。

(1) 圆柱体坯料,如图 3a 所示:靠圆柱体外径定位,在温挤压成形过程中温挤压的内孔型腔部分可以顺利成形,但端部部分的成形十分困难。

(2) 圆柱体带锥台的坯料,如图 3b 所示:其锥

台部分的锥角与温挤压件的锥角一致,靠锥台定位,在温挤压成形过程中,温挤压件的内孔腔部分可以顺利成形,而端部锥台部分的充填仍然不饱满。

(3) 圆柱体带锥台的坯料,如图 3c 所示:靠圆柱体外径定位,其锥台部分的锥角比温挤压件的锥角大。这种坯料的温挤压成形过程中,温挤压的内孔型腔部分和端部锥台部分都可以顺利成形,充填良好。

通过以上 3 种坯料的温挤压成形试验对比可知,采用原始坯料如图 3c 所示比较适宜。

### 2.2 温挤压加热温度规范的确定

从《合金钢手册》可以查出,30CrMnSiNi2A 钢的再结晶温度为 750 ~ 760 °。其加热温度规范为: 950 ± 10 ° 保温 60min。经实验测定,坯料从 950 ° 的加热炉内取出,进入模具到开始挤压时,坯料温度为 910 ° 左右,即始锻温度为 910 °。为了提高模具使用寿命,要求温挤压的终锻温度应控制在 650 ° 以上。

### 2.3 变形工步的确定

通过实验测定,原始坯料从加热炉内取出,进入模具,经温挤压成形至坯料温度降到 650 ° 时只需要 3 ~ 4s 时间。由于壳体毛坯的温挤压成形深度为 75mm,按照上述实验测定结果可知,要想一次成形该壳体毛坯,就必须选择工作速度在 25mm/s 以上的压力机。对于现有的压力加工设备为 500t 的液压机,其滑块的工作速度只有 10mm/s,难以满足壳体毛坯一次挤压成形的要求。

在现有的设备条件下,只有采用两次温挤压成形该壳体毛坯。

### 2.4 温挤压可控工艺参数的优化设计

影响壳体毛坯温挤压件质量的可控工艺参数主要有:温挤压温度即开始温挤压时的温度 A、温挤压速度 B、温挤压次数 C。对这 3 个主要因素采用了三因素两水平,同时考虑了因素间的相互作用影响,

选用了做 8 次试验的正交表 L8(2) 进行了试验分析。

通过对试验结果的计算和分析,最后获得温挤压温度  $A$  为 900,温挤压速度  $B$  为 10mm/s,温挤压次数  $C$  为 2 次,是温挤压工艺应选取的最佳工艺参数。

### 3 模具设计与制造

#### 3.1 温挤压模具的结构设计

温挤压模具结构如图 4 所示,它具有如下特点。

(1) 采用组合式凸模结构,以及单层预应力圈组合凹模,使模具承受条件得到改善,从而提高模具寿命;由于温挤压成形过程中凸模最容易失效的部分主要是冲头,采用这种结构可以使凸模制造容易,冲头更换方便,从而缩短了生产周期。

(2) 为了保证温挤压过程中冲头与凹模的同轴度在 0.10mm 以内,在下模座上设计了 4 个对称分布的调整螺栓。它可以在  $x$  轴和  $y$  轴方向上调节凹模的位置,从而可以方便地调节冲头与凹模的同轴度。

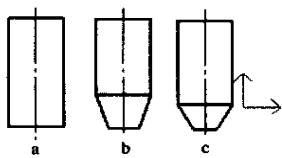


图 3 原始坯料形状及尺寸

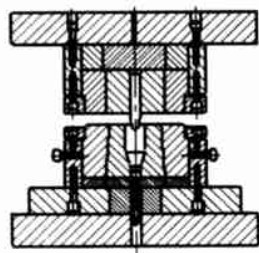


图 4 温挤压模具结构

#### 3.2 模具的制造

采用精密数控车削加工方法来加工冲头,首先将锻造的冲头毛坯在数控车床上车成精坯,精坯经淬火、回火处理后再在精密数控车床上用立方氮化硼车刀精车成形,然后再将冲头工作部分的型面抛光至  $R_a 0.4\mu\text{m}$  以下。

组合凹模的模芯采用数控粗车内孔型腔和外锥表面,再进行淬火、回火;然后与组合凹模套配磨锥度,保证压配过盈量达到 0.3 ~ 0.5mm,再在压力机上进行热压配;最后数控精车组合凹模的内孔型腔达到要求,再进行抛光。

### 4 理化检测及分析

温挤压件实物照片如图 5 所示。



图 5 温挤压件实物

#### 4.1 内孔表面粗糙度检测

温挤压件经抽样检测,全部样件的内孔表面光洁、无毛刺存在,表面粗糙度达  $R_z 0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$  (相当于  $R_a 0.4\mu\text{m}$ ),符合技术要求。从而消除了壳体毛坯的裂纹敏感性。

#### 4.2 尺寸精度检测

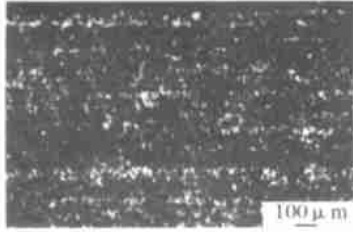
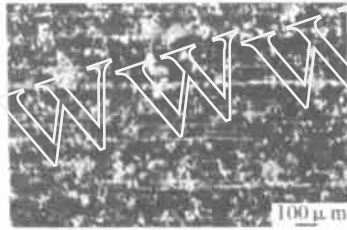
壳体毛坯温挤压件经抽样进行尺寸精度检测,全部样件都符合技术要求,其壁厚差仅有 0.15mm。因此,壳体内孔不再后续加工就能达到其使用要求;只有壳体外表留有少量的机加工余量;由此,材料利用率达到 90% 以上,生产效率大幅度提高(主要是节省了机械加工时间)。

### 5 结 论

(1) 对于 30CrMnSiNi2A 超高强度钢制壳体毛坯这种具有复杂型面的深盲孔零件,完全可以采用温挤压成形工艺成形。

(2) 温挤压件的金属流线连续、强度有较大的提高,对壳体零件的战术性能提高有较大的作用。

(下转第 16 页)

图4  $\phi 8.04\text{mm}$  钢丝边上图5  $\phi 8.04\text{mm}$  钢丝中心

丝拉拔过程中断裂的主要原因。

77MnA 盘条中出现马氏体或贝氏体组织,主要是由于在加热过程中从高温区冷却时,速度过快,使钢中的C来不及扩散,而形成了碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体即马氏体,或高浓度的碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 片之间沉淀出渗碳体而形成了贝氏体。77MnA 盘条中屈氏体组织,是由于在加热冷却过程中的冷却后期冷却过快,使钢中的C扩散速度减小,使珠光体的层间距变小,而形成屈氏体。这3种组织对后续的拉拔工艺产生十分不利的影响。

由基体组织为索氏体、屈氏体和少量的贝氏体的混合组织和马氏体的出现说明控制冷却工艺存在问题。根据该公司的线材生产线,认为是由于轧件出精轧机组进斯太尔摩控制冷却线时冷却温度过低造成的。该公司的斯太尔摩控制冷却线较短(为70.3m),存在能力不足的缺陷,势必会采取降低进精轧时的轧件温度或加快其出精轧时冷却速度等措施来弥补斯太尔摩线的不足,这两种控制措施都会

促使低温转变组织的产生,稍有不妥都会造成马氏体的形成。

由同一直径的钢丝心部的马氏体含量多于边部的马氏体含量,表明存在C、Mn、Cr元素的偏析。原因是连铸过程中存在中心偏析,中心最后凝固的液体中溶质含量高,C、Mn、Cr等成分较四周高,由于C、Mn、Cr等元素使奥氏体的稳定性增加,推迟了奥氏体的分解程度,因而使“C”曲线右移,连铸坯在轧成盘条后,中心成分偏析并未消除,因而,中心处的“C”曲线与盘条边部的“C”曲线相比更靠右,所以,即使中心偏析区的冷却速度低于盘条表面,仍旧有可能使中心偏析区变为马氏体。高碳马氏体因有固溶强化、弥散强化及时效强化而具有高的硬度和强度。钢丝拉拔过程中,高硬度低塑性的马氏体不能与基体一起均匀变形,硬块逐渐脱离基体,产生裂纹,最终导致断裂。

## 4 结 论

(1) 基体组织为索氏体、屈氏体和少量的贝氏体的混合组织,说明控制冷却工艺存在问题,是由于轧件出精轧机组进斯太尔摩控制冷却线时冷却温度过低造成的;

(2) 同一直径的钢丝心部的马氏体含量多于边部的马氏体含量表明存在C、Mn、Cr元素的偏析;

(3) 根据实验结果,建议:严格把好连铸坯质量,尽量做到其组织均匀;提高吐丝温度,合理设计出精轧、进斯太尔摩控制冷却线的温度。

## [参 考 文 献]

- [1] 林秀山等. 加速预应力钢丝钢绞线用盘条的国产化进程[J]. 上海金属, 2000, 22(1): 53 - 58.
- [2] 魏军等. 炼钢 - 精炼 - 连铸工艺生产高碳钢的质量控制[J]. 炼钢, 2000, 16(3): 46 - 51.

(上接第13页)

(3) 温挤压件的内孔表面光洁、圆滑、无折叠、裂纹等缺陷存在。

(4) 与切削加工相比,采用温挤压成形工艺可提高生产效率10倍左右,材料利用率达到90%左右。

## [参 考 文 献]

- [1] 《机械工程手册》第十二篇[ ]. 北京:机械工业出版社, 1978.
- [2] S. Sheljaskov. Current level of development of warm forging technology [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1994, 46: 3 - 18.