

# 某超细长导轨的生产工艺研究

杜刚华<sup>1</sup> 朱志强<sup>2</sup> 张卫光<sup>1</sup> 张云霞<sup>1</sup> 苏欢<sup>1</sup> 高泉<sup>1</sup> 原慧敏<sup>1</sup>

(1. 山西航天清华装备有限责任公司, 长治 046012; 2. 火箭军装备部驻长治地区军事代表室, 长治 046012)



**摘要:** 针对某超细长比 40Cr 材质导轨在生产过程中出现导轨开裂、变形等质量问题, 从毛坯热处理工序及机加工艺流程入手, 通过选取合适的淬火介质、优化装炉形式及热处理参数、对导轨直角处在调质前进行倒圆角处理、增加时效工序, 制定合理的机加工艺流程等, 最终降低了导轨开裂几率, 使导轨变形量得以控制, 导轨生产合格率大幅提升。

**关键词:** 导轨; 开裂; 变形量

**中图分类号:** V **文献标识码:** B

## Research on Production Technology of A Super Slender Guide Rail

Du Ganghua<sup>1</sup> Zhu Zhiqiang<sup>2</sup> Zhang Weiguang<sup>1</sup> Zhang Yunxia<sup>1</sup> Su Huan<sup>1</sup> Gao Quan<sup>1</sup> Yuan Huimin<sup>1</sup>

(1. Shanxi Aerospace Qinghua equipment Co., Ltd., Changzhi 046012;

2. Military Representative Office of PLA Rocket Force Stationed in Changzhi Region, Changzhi 046012)

**Abstract:** A super slender 40Cr guide rail has quality problems such as guide rail cracking and deformation in the production process. This paper starts with the blank heat treatment process and machining process flow, and finally reduces the probability of guide rail cracking by selecting the appropriate quenching medium, optimizing the charging form and heat treatment parameters, rounding the right angle of the guide rail before quenching and tempering, increasing the aging process, and formulating a reasonable machining process flow. The deformation of guide rail can be controlled, and the qualification rate of guide rail production can be greatly improved.

**Key words:** guide; crack; deformation

### 1 引言

某型号导轨为典型超细长零件, 导轨安装在箱内, 作业时用于支撑产品自重, 同时对产品滑行起导向作用, 因其作业环境特殊, 在作业时需要承受高温燃气流的冲刷、烧蚀等, 箱内温度较高, 工作环境恶劣。为提高产品硬度, 避免导轨划伤, 保证产品滑行平稳及顺利出箱, 导轨材质采用 40Cr, 且导轨工作平面的平面度要求较高, 导轨生产难度较大。在日常生产中经常出现热处理后导轨开裂, 机加完成后导轨变形, 工作面平面度不满足使用要求的现象。因该导轨是产品的关键零件, 现有问题已严重制约产品的生产质量及交付周期, 给用户造成不良影响。为彻底解决导轨

开裂、变形等问题, 改良导轨生产质量, 特进行导轨生产工艺研究。

### 2 导轨生产工艺分析

#### 2.1 导轨简介

某导轨采用 40Cr 钢材制成, 使用硬度为 HRC30~HRC33, 导轨全长 3320mm, 属超细长零件。如图 1 所示, 导轨整体形状呈 L 形, 工作面厚度为 17mm, 沿导轨长度方向均布 34 个 M8-7H 的螺纹安装孔, 孔深 14mm, 在装配时采用规格为 M8×25 的螺栓将其固定于导轨基座上, 装配后需保证较高的直线度要求, 因此导轨机加过程保证直线度直接影响导轨机加质量。

作者简介: 杜刚华 (1988), 工程师, 弹药工程与爆炸技术专业; 研究方向: 机械制造及焊接工艺。

收稿日期: 2022-07-22

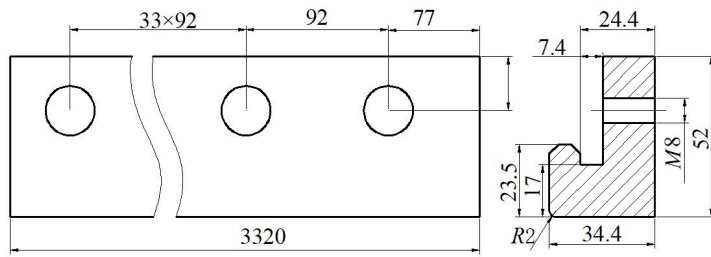


图1 导轨图

## 2.2 生产工艺及问题现状

导轨采用正火状态锻件 40Cr-GB/T3077—2015 II-QJ500B-2014，锻后采用超声波探伤，需满足 NB/T47013.3—2015 中 II 级验收要求，同时做同批同炉冲击、拉伸、金相试料用于检测材料性能，满足要求后方用于产品生产。

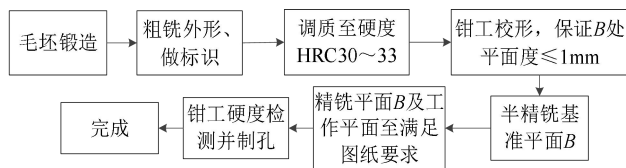


图2 导轨生产工艺流程图

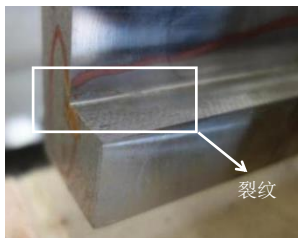


图3 导轨毛坯机加过程开裂

现有生产工艺首先进行毛坯锻造，然后对锻件粗加工外形并做记录标识，处理至满足硬度要求后半精加工及精加工，机加完成后制孔并进行硬度检测，具体工艺流程见图 2。现有工艺组织生产的过程中，发现

导轨在半精加工过程中开裂（见图 3），且在精加工完成后导轨变形较大，直线度不满足图纸要求。

## 2.3 成因分析

导轨毛坯锻件在锻造时存在内部应力，且导轨在后续热处理工序中内部应力释放不充分，导轨机加后内部应力逐步释放，导致导轨开裂；导轨在淬火后内部应力无法有效消除，致使导轨呈多维度变形，为确保产品直线度及平面度要求，在精加工前需进行校形，校形时产生的内部应力同样会在机加后逐步释放，造成导轨开裂；如图 1 所示，导轨凹槽部分为直角，无过度圆角，在机加时直角部位易因应力集中而产生开裂现象。

## 3 改善方案

### 3.1 热处理过程控制

40Cr 是 GB/3077 标准中常用的一种铬系列合金结构钢，因其具有较好的加工和使用性能，被广泛应用于机械制造业<sup>[1]</sup>。如表 1 所示，铬元素是 40Cr 钢材的基本组成成分，其主要存在于合金钢中的渗碳体中，铬元素能够抑制碳在铁素体中的扩散速度，减缓碳化物的聚集速度，降低了碳化物的分解能力，提高钢材的热稳定性。但铬元素同时会提高钢材的韧脆转变温度，导致钢材回火脆性。

表 1 40Cr 材料化学成分含量（质量分数）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
含量	0.38~0.43	0.15~0.35	0.75~1.00	≤0.035	≤0.04	0.80~1.10	≤0.10	≤0.30	≤0.30

钢的回火工艺参数由钢件要求的力学性能决定<sup>[2]</sup>，为获取导轨的最佳热处理参数，对该导轨的淬火工艺流程及参数进行试验分析。

淬火介质采用由 0.25%~0.35% 聚乙烯醇及 2.5%~3.5% 氯化钠组成的聚乙烯醇水溶液，淬火使用温度为 20~45℃。热处理工艺流程为：正火（炉温 860℃，

保温 60~90min）→ 淬火（采用 20~45℃ 的聚乙烯醇水溶液冷却 3~6min）→ 回火（炉温 510℃，保温 90~120min 后，采用 20~40℃ 的冷水冷却，冷却时间小于 1min）。通过上述热处理工艺流程后，对导轨多点采样进行洛氏硬度检测，经检测硬度均满足图纸要求。硬度满足要求后参照 NB/T47013.3—2015《承压设备无

损检测 第3部分：超声检测》对导轨进行探伤，经检验导轨内部组织无裂纹等。

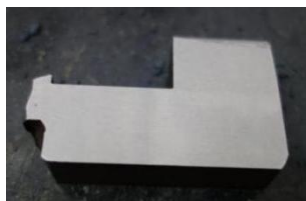


图4 导轨金相检测试块



图5 导轨金相组织

探伤满足要求后，从导轨一端采取20mm厚的试料（见图4），采用型号为MP-1的金相试样磨抛机打磨端面至粗糙度 $R_a$ 小于 $0.8\mu\text{m}$ ，在MEF4A金相显微镜下观察其金相组织（见图5），从图中可以看出，导轨高温回火后得到回火索氏体，其晶粒较小，达到热处理目的<sup>[3]</sup>，机械加工性能较好。

### 3.2 机加工艺流程控制

导轨的直线度将直接影响产品滑行的平顺性，因此减小导轨生产中的变形尤为重要，根据现有生产经验，分别从热处理及机加过程进行预防及控制。

为抵消调质、淬火过程中导轨内部应力，减小热处理过程中导轨多维度变形量，将原单根导轨淬火调整为两根导轨合并下料，同时在导轨一端开 $3-\Phi 35\text{mm}$ 的吊装孔（如图6所示），分别用于集中吊装及单根导轨吊装。然后整体调质、淬火，使热处理过程中所产生的内部应力在两根导轨间相互抵消，减小导轨热处理后的变形量。

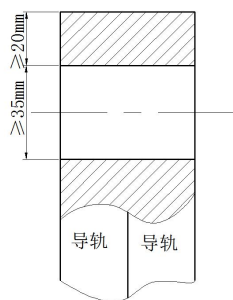


图6 导轨吊挂孔示意图

针对凹槽处直角导致导轨开裂现象，经分析主要由尖角处的应力集中导致，为减小导轨在淬火及粗加工阶段尖角处应力集中现象影响，制定了厂标文件《热处理件机加工工艺设计准则》，规定了零件调质前存在直角、方孔、台阶、凹槽、截面急变处、盲孔等部位时，尖角处（图7中圈示部位）进行倒圆角处理。有

效厚度低于表2所示数值的合金结构钢制零件调质前，尖角处的圆角半径一般应不低于 $2.5\text{mm}$ ；碳素结构钢、硅锰钢、有效厚度高于表2所示数值时，尖角处的圆角半径一般应不低于 $5\text{mm}$ 。

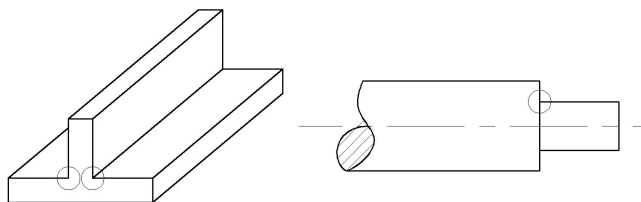


图7 直角类零件需圆角过度位置示意图

表2 确定合金结构钢零件尖角处圆角半径的有效厚度界定

材料	40Cr	30CrMnSiA	42CrMo	38CrMoAl
有效厚度/mm	35	40	50	55

为降低直角类、凹槽类零件在调质或淬火过程中的开裂几率，在调质前对相关零件设置薄壁连接以降低热处理变形、开裂倾向，具体情况如图8、图9所示。

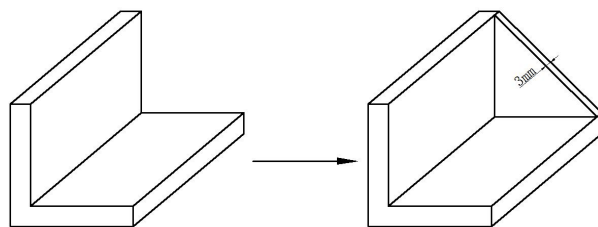


图8 直角类零件薄壁连接示意图

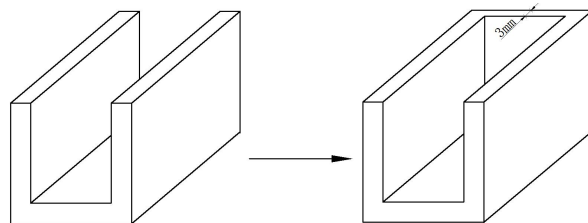


图9 凹槽类零件薄壁连接示意图

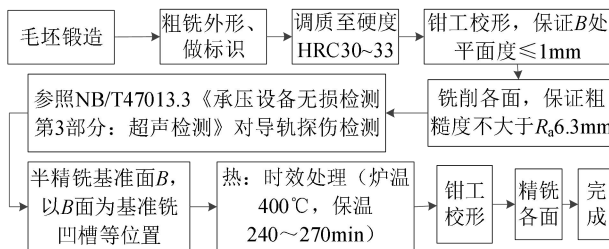


图10 优化后导轨生产工艺流程图

（下转第28页）