

# 汽车推力杆热铆接工艺设计

李建林, 张俊荣, 林 胜, 刘中用, 张亚新

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 主要介绍汽车推力杆的热铆接工艺及其试验方法。该工艺既能满足连接强度, 又具有组装一致性好、生产效率高等优点, 为汽车推力杆的组装提供了一种较好的工艺。

**关键词:** 热铆接; 推力杆; 拉压试验; 扭转试验

**中图分类号:** U46; TG498

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1006-3331 (2008) 05-0038-03

**Abstract:** The article mainly introduces the hot crimping process and its test methods for the vehicle thrust rod. The hot crimping process can not only meet the connection strength, but also guarantee the stable quality and great production efficiency. It provides a preferable process for the thrust rod assembly.

**Key words:** hot crimping; thrust rod; tension test; torsional test

## 1 工艺现状及热铆接工艺原理

汽车推力杆广泛应用于双后桥平衡悬架和空气悬架载重车和客车上, 用来保持两车桥之间或车桥与车架之间的相对位置, 传递汽车的纵向力和横向力, 还可传递其它各方向的力和力矩。汽车推力杆主要由球头、球铰和套管组成(如图1所示)。球头与套管的连接方式主要有: 焊接和热铆接。球头和套管连接部位要求能够承受一定的转矩 $T$ 和拉压力 $F$ 。

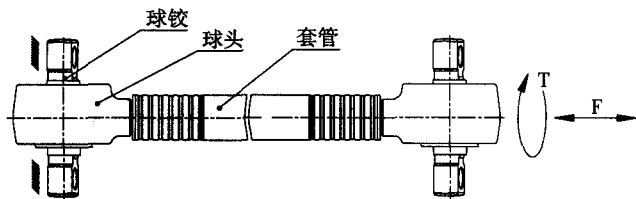


图1 汽车推力杆总成和转矩与拉压试验方向

焊接推力杆要求套管内孔加工精度要高。套管内孔加工后容易形成台阶, 产生应力集中, 同时受焊接材料和国内焊接工艺水平的限制, 易出现焊接不牢固、产品质量稳定性较差等问题。热铆接推力杆能满足组装强度, 套管内孔无需加工, 并且具有组装一致性好、生产效率高、能源消耗低等优点。目前, 在国外广泛应用, 在国内的应用也处于快速发展阶段。

球头连接部位加工成波纹形状, 套管加热后套入球头波纹部分, 压力机通过专用模具使套管变形, 变形后套管与球头的波纹部分紧密结合。随着套管温度

的降低, 套管内腔收缩, 使套管和球头产生很大的正压力, 球头和套管之间产生的接触摩擦力能承受较大的转矩; 球头和套管在轴向通过几个波纹的咬合能承受较大的轴向力。

## 2 热铆接主要参数的确定

通过调整球头波纹尺寸、波纹数量、套管内径、加热温度和压力机压力等措施, 实现球头和套管的各种铆接强度, 并通过转矩试验和拉压试验验证其连接强度。波纹数量 $N$ 、加热温度 $T$ 、压力机工作压力 $P$ 等工艺参数主要根据汽车推力杆的载荷受力工况和球头、套管金属零件的材料特性进行设计。

### 2.1 加热温度和铆接温度的确定

热铆接工艺过程中有两个温度参数: 铆接套管加热初始温度 $T_1$ 和铆接时套管温度 $T_2$  (压力机加到最大压力时套管的温度), 从套管的加热到铆接的完成需要的时间 $t_1$ 。因此,  $T_2$ 由 $T_1$ 、 $t_1$ 所决定。

热铆接过程中套管的温度变化过程: 中频加热炉中快速加热 (10~15 s), 将套管加热到温度 $T_1$ ; 经历时间 $t_1$  (空气中冷却5~8 s, 铆接过程5~8 s), 套管温度变为 $T_2$ 。通过大量的试验验证 (见表1), 在0~30℃的环境温度下,  $T_1$ 比 $T_2$ 高25~35℃。铆接完成后, 此时套管与球头结合面间产生的压力最小, 抗扭强度也最小。随着时间的变化, 套管不断向铆接的球头传热, 并向四周辐射热量, 使球头的线性尺寸增大, 而套管的线性尺寸减小, 并随着套管温度的降

低, 套管材料的弹性模量增加, 使套管与球头之间形成越来越紧的结合力。

表1 热铆接中套管的温度变化情况 (环境温度20℃)

加热温度 (℃) $T_1$	760	761	750	751	751	758	826	827	840	841	830	820
铆接温度 (℃) $T_2$	730	737	725	734	734	730	700	802	806	810	805	794

### 2.1.1 从套管的金相组织变化分析

热铆接过程可以认为是类似于锻造的一种热加工。热加工与冷加工的区别以金属的再结晶温度为界限, 凡在再结晶温度以上的加工变形为热加工。热加工后金属的组织 and 性能发生很大变化, 金属的致密度提高, 晶粒细化并形成热加工“纤维组织”(流线), 但热加工温度过高(热加工的终止温度), 有可能使金属得到粗大的晶粒; 反之, 若热加工的温度过低, 在金属中会造成残余应力, 甚至发生裂纹, 而且还会形成一种“带状组织”, 使钢的机械性能变坏<sup>[1]</sup>。

热铆接终止温度必须大于钢管材料的再结晶温度。金属的再结晶温度与加热速率和变形量比有关系, 一般钢的再结晶温度在600℃左右, 在热铆接条件下, 再结晶温度在640~650℃范围内。中频加热的温度 $T_1$ 必须保证经过时间 $t_1$ 后的铆接终止温度 $T_2$ 高于再结晶温度, 同时, 加热温度 $T_1$ 也不能过高。

共析钢在加热至 $A_{c1}$ 或 $A_{c3}$ 以上时将形成奥氏体, 控制加热温度和保温时间可以使全部组织转化为较细的奥氏体晶粒, 达到细化晶粒、改善钢材性能的目的。但过高的加热温度或较长的保温时间都会使奥氏体长大, 影响材料的性能<sup>[1]</sup>。对于亚共析钢来说, 中频加热过程中, 加热温度超过 $A_{c1}$ 时, 珠光体转变为奥氏体; 加热温度超过 $A_{c3}$ 时, 铁素体转变为奥氏体。由于加热时间很快, 又没有保温时间, 只能使部分珠光体和铁素体转化为奥氏体。通常情况下, 通过多组试验找到最佳的加热温度, 最佳的加热温度一般在 $A_{c1} + (20 \sim 50 \text{ } ^\circ\text{C})$ 。

### 2.1.2 从铆接组装强度分析

热铆接完成后, 套管在冷却过程中, 内径和外径均收缩, 套管对球头产生很大的正压力(见图2), 正压力的大小和球头与套管之间的摩擦系数和接触面积共同决定了热铆接后的抗扭强度。铆接后的抗扭力矩的设计主要通过理论计算和试验进行, 通过调整接触面积来达到抗扭力矩的要求。

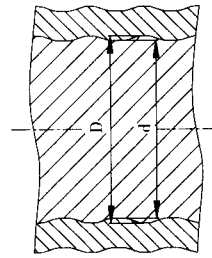


图2 套管与球头接触示意图

铆接后承受轴向力的计算:

$$\frac{4F}{n \times \pi(D^2 - d^2)} < \sigma_s$$

式中:  $F$  为承受的轴向力, N;  $n$  为波纹数量;  $D$ 、 $d$  分别为套管波纹的大、小径, mm。

波纹数量 $n$ 、波纹尺寸 $D$ 、 $d$ 和总接触面积是几个相互关联的参数。通常情况下,  $D = d + (2 \sim 3)$ ,  $n = 5 \sim 7$ 。

### 2.2 热铆接压力的确定

根据套管在热铆接温度下的屈服强度和热铆接的承载面积计算热铆接压力。

$$P_i = \frac{K^2 - 1}{K^2 + 1} \sigma_s; P_i = P_i S_i; P_o = \frac{K^2 - 1}{2K^2} \sigma_s; P_o = P_o S_o^{[2]}$$

式中:  $P_i$  为内表面压强, MPa;  $P_i$  为内表面压力, N;  $P_o$  为外表面压强, MPa;  $P_o$  为外表面压力, N;  $S$  为承载面积,  $\text{mm}^2$ ;  $K$  为外径与内径比;  $\sigma_s$  为套管在铆接终止温度下的屈服强度。

铆接压力机压力的设定应根据 $P_o$ , 并考虑在铆接过程中的压力机和铆接模具本身的压力损失, 适当设定压力机的压力值。

## 3 试验验证及实例

汽车推力杆热铆接工艺具有很多特点, 必须通过理论分析和大量试验相结合的方法进行设计。设计步骤: 查出套管材料的相变温度 $A_{c1}$ , 通过试验找出在热铆接加热速率和变形比条件下材料再结晶温度; 通过对铆接后套管金相分析和机械性能分析, 确定套管的加热温度; 通过热铆接后抗扭力矩和轴向力试验, 设计球头和套管波纹部分的结构。

下面是一种常用推力杆的铆接工艺开发过程: 套管材料: 20钢; 套管尺寸:  $\phi 50 \times 6$ ; 铆接强度: 转矩  $M \geq 1200 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 轴向拉压  $\geq 120 \text{ kN}$ 。

### 3.1 加热温度和铆接温度的确定

20钢的两个相变温度:  $A_{c1}$ : 735℃,  $A_{c3}$ : 855℃。

热铆接时,套管的加热温度应控制在755~785℃之间,铆接温度应大于再结晶温度650℃。

图3为套管原材料金相图;图4为加热到760℃铆接后金相图;图5为加热到830℃铆接后金相图。

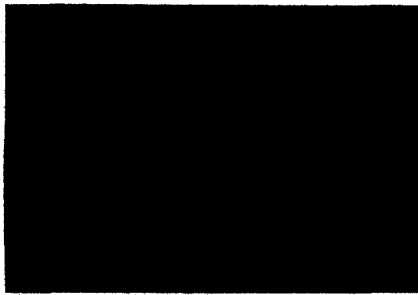


图3 套管原材料金相图

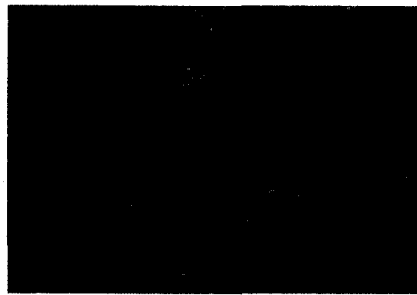


图4 加热到760℃铆接后金相图

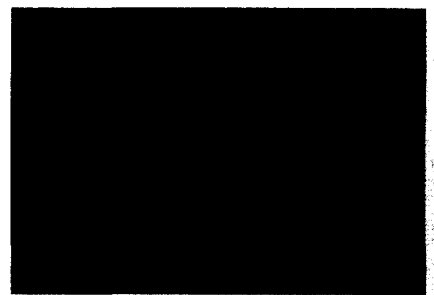


图5 加热到830℃铆接后金相图

通过金相检测分析,加热到760℃后铆接部位金相组织晶粒变细,组织较均匀,套管的机械性能得以提高。加热到860℃加热区金相组织发生变化,铁素体明显减少,珠光体增多且增大,晶粒粗化,套管脆化。在使用过程中,铆接部分易发生套管拉断和折断的事故。

### 3.2 波纹尺寸的确定

波纹数量的确定:

$$n \geq \frac{4F}{\pi(D^2 - d^2)\sigma_s}$$

式中:  $D=38\text{ mm}$ ;  $d=36\text{ mm}$ ;  $\sigma_s=245\text{ MPa}$ ;  $F=120\text{ kN}$ 。计算得  $n \geq 4.21$ , 波纹数量  $n$  取5~6。

### 3.3 铆接压力的确定

由于Q235在600℃高温下的屈服强度为常温下的20.4%<sup>[3]</sup>,假设铆接温度为再结晶温度650℃状态下的屈服强度是常温下的20%。

$$P_o = \frac{K^2 - 1}{2K^2} \sigma_s; \quad P_o = p_o S_o$$

式中:  $K = R/r = \frac{25}{19} = 1.32$ ; 承载面积  $S_o$  按展开面积计算,  $S_o = \pi \times 50 \times 150$ , 则

$$P_o = p_o S_o = \frac{K^2 - 1}{2K^2} \times 245 \times 0.2 \times \pi \times 50 \times 150 = 245837\text{ N}$$

考虑铆接压力损失等因素,为确保铆接后的强度,安全系数应大于3,可初步设定铆接压力为74 t。

### 3.4 试验验证

1) 解剖试验照片见图6、图7。图6所示的是铆接不牢的,在套管和球头结合部位存在明显的缝隙;图7是铆接牢固的,在套管和球头结合部位没有缝隙。

2) 扭转试验和拉压试验,试验方法见图1。随机抽取了6根热铆接推力杆,在轴向力  $F=120\text{ kN}$ , 转矩

$M=1\ 800 \sim 1\ 920\text{ N} \cdot \text{m}$  作用下未发生任何滑移和转动现象。因此,该工艺设计完全满足使用要求。

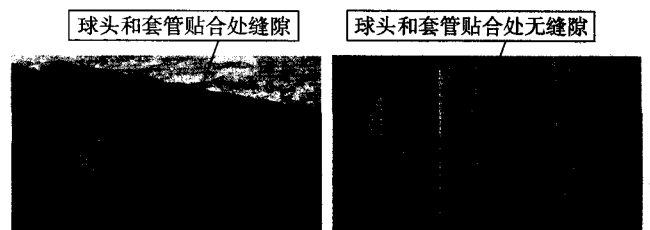


图6 贴合不良

图7 贴合良好

3) 采用热铆接工艺组装的推力杆安装在客车、重载货车上经过50万km的实际道路试验,完全满足整车的要求,车辆在运行过程中从未出现过铆接部分转或滑移现象。

## 4 结束语

汽车推力杆采用热铆接工艺组装,既能满足组装强度,又具有组装一致性好、质量稳定性高、生产效率高、同类产品只需改变管长等优点,有利于提高汽车推力杆批量生产能力,缩短产品交付周期;有利于促进高级客车、重载汽车的多轴平衡悬架、空气悬架在国内的快速发展。热铆接工艺也可运用到乘用车、挂车、半挂车、铁路车辆等类似杆件上,今后将得到更加广泛的应用。

### 参考文献:

- [1] 史美堂. 金属材料及热处理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [2] 徐灏, 等. 机械设计手册(第2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [3] 张辉. Q235钢在火灾条件下的力学性能研究[J]. 火灾科学, 2004, (2)

修改稿日期: 2008-07-28