

## 34CrMo4 大直径无缝气瓶的热处理研究

张荣晓<sup>1</sup>, 郑立允<sup>1</sup>, 程凯<sup>1</sup>, 张永强<sup>2</sup>, 赵树国<sup>3</sup>, 武常生<sup>4</sup>, 李方威<sup>4</sup>, 陈杰<sup>4</sup>

(1. 河北工程大学 机械与装备工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北钢铁邯钢集团连铸连轧厂 轧钢车间, 河北 邯郸 056015;  
3. 邯郸职业技术学院, 河北 邯郸 056001; 4. 新兴能源装备股份有限公司, 河北 邯郸 056107)

**摘要:**通过对34CrMo4材料进行完全淬火和高温回火,采用金相观察、扫描电镜以及能谱仪分析等方法,研究淬火温度和回火温度对34CrMo4材料的组织和性能的影响。研究表明,试样经过930℃淬火,保温60 min,560℃回火,保温120 min最佳工艺热处理后综合性能达到最佳,从而有利于34CrMo4大直径无缝钢质气瓶的应用以及安全性的提高。

**关键词:**34CrMo4; 无缝气瓶; 热处理; 性能

**中图分类号:**TQ053.2

**文献标识码:**A

## Research on heat treatment process of 34CrMo4 large diameter seamless gas cylinders

ZHANG Rongxiao<sup>1</sup>, ZHENG Liyun<sup>1</sup>, CHENG Kai<sup>1</sup>, ZHANG Yongqiang<sup>2</sup>, ZHAO Shuguo<sup>3</sup>,  
WU Changsheng<sup>4</sup>, LI Fangwei<sup>4</sup>, CHEN Jie<sup>4</sup>

(1. College of Mechanical and Equipment Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Steel Rolling Shop, Continuous Casting and Rolling Mill of Handan Iron and Steel Group, Hebei Handan 056015, China; 3. Handan Polytechnic College, Hebei Handan 056001, China; 4. Xinxing Energy Equipment CO. LTD, Hebei Handan 056107, China)

**Abstract:** The heat treatment process of 34CrMo4 large diameter seamless steel gas cylinders was studied. It is an important manufacturing process to ensure the mechanical properties of the seamless cylinder to meet the standard requirements. The influence of quenching and tempering temperature on the microstructure and properties of 34CrMo4 after complete quenching and high temperature tempering was investigated by using metallographic observation, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrum (EDS). The results show that the sample heat treated at an optimum process quenching at 930℃, for 60min, tempering at 560℃ for 120min can obtain the best comprehensive properties. It's beneficial to the application and safety of 34CrMo4 large diameter seamless steel gas cylinders.

**Key words:** 34CrMo4; seamless gas cylinder; heat treatment; property

压缩天然气凭借环境污染少、安全性高、经济性能好等优点,已成为世界各国改善环境和促进经济可持续发展的最佳选择<sup>[1]</sup>。压缩天然气的储存要求高压容器为无缝容器,并对材质的要求十分严格<sup>[2]</sup>。34CrMo4合金钢是典型的中碳低合金铬钼钢,为用于制作压缩天然气储气瓶用的高压气瓶钢<sup>[3]</sup>。目前,34CrMo4合金结构钢主要用于欧盟市场,国内对大容积高压气瓶的研究较少。本文主要通过对34CrMo4大直径钢质无缝气瓶进

行不同的热处理工艺研究后,综合分析其组织和力学性能,从而确定最佳热处理工艺。

### 1 实验材料和方法

本实验中的材料采用34CrMo4中碳低合金钢,其具体的化学成分及含量如表1所示。

#### 1.1 实验材料

金相试样大小为10 mm×10 mm×10 mm,经

粗磨、细磨和抛光后,采用4%硝酸酒精进行腐蚀,测定试样晶粒度时采用苦味酸进行腐蚀,使用 O-LYMPUS-DSX500 光学显微镜进行金相组织观察和晶粒度测定;硬度测试采用 SKT-25 显微维氏硬度计进行测定;冲击试样按照 GB/T229-1994 标准加工,尺寸是 55 mm×10 mm×10 mm,并在 JB-300B 冲击试验机上测试韧性;拉伸试样按照 GB/T228-2002 加工成标准试样,并在万能试验机上进行拉伸。其中,每一热处理工艺的力学性能均为五个试样测量值的平均值。

1.2 实验方法

采用 DSC200 差热扫描量热仪分析测定 34CrMo4 材料的临界值,参数分别设定为气体升温速率 10℃/min,保护气体是氩气,气体流入量 50 ml/min,终止温度 1 020℃。经测定,34CrMo4 材料的临界温度分别是:Ac1 = 756.4℃,Ac3 = 880.4℃。

根据材料的临界温度值,确定其完全淬火温度分别为 910℃、920℃、930℃、940℃、950℃,保温时间 60 min。在最佳淬火温度下进行回火,温度

分别是 540℃、550℃、560℃、570℃、580℃、590℃,保温时间 120 min。

2 实验结果及分析

2.1 淬火温度对材料组织的影响

对材料分别进行 910℃、930℃、950℃ 淬火处理后,使用饱和苦味酸溶液进行腐蚀,然后对材料的晶粒大小进行分析,其显微组织和晶粒尺寸的变化如图 1 所示。

根据金属平均晶粒度测定法可知,在晶粒度测量时,若材料中晶粒不均匀的现象比较明显,那么应当分别计算不同级别的晶粒在观察视场中各占的面积百分比;如果在视场中,占有优势的晶粒度所占面积百分比为 90% 及以上时,则只需统计一种晶粒的级别号,否则,需要同时统计两种晶粒级别及它们各占的百分比。

图 1(d)是在不同的淬火温度下材料晶粒尺寸的测量结果。经测量可知,经 910℃、930℃ 和 950℃ 淬火后,材料的显微组织中均出现晶粒度级别为 7 级的晶粒,但其所占的面积百分比均未超

表 1 34CrMo4 材料化学成分 (质量分数/%)  
Tab. 1 Chemical composition of 34CrMo4 (wt/%)

| 元素   | C         | S      | Si    | Mn        | P      | Cr        | Mo        |
|------|-----------|--------|-------|-----------|--------|-----------|-----------|
| 含量范围 | 0.30~0.37 | ≤0.010 | ≤0.40 | 0.60~0.90 | ≤0.020 | 0.90~1.20 | 0.15~0.30 |
| 含量   | 0.30      | 0.004  | 0.27  | 0.84      | 0.014  | 1.02      | 0.22      |

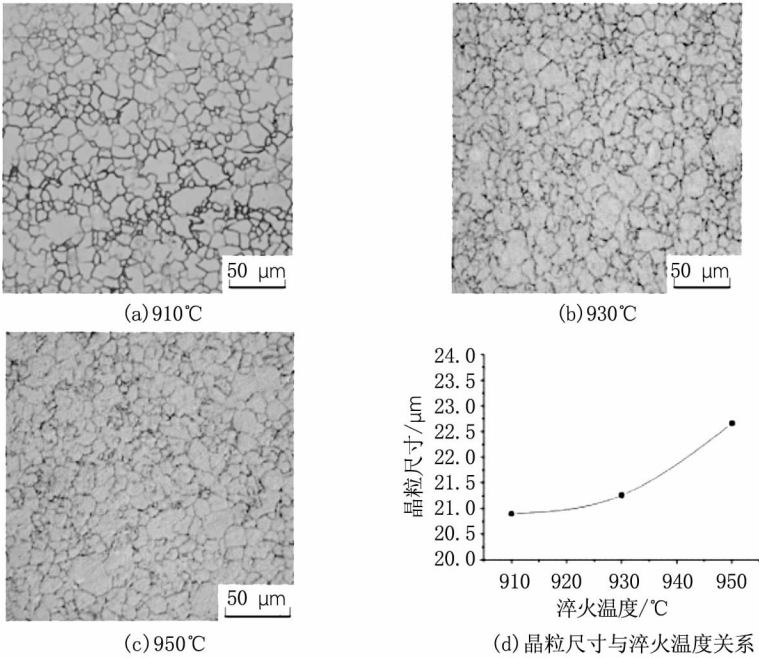


图1 不同温度下淬火材料的显微组织和晶粒尺寸与淬火温度关系曲线  
Fig.1 Microstructures of samples quenched at different temperature

过 10% ,因此只需记录晶粒度级别为 8 级的晶粒尺寸,并且 7 级晶粒所占面积百分比随着淬火温度的不断提升而逐渐减小。由图 1 可知,随着淬火温度的提升,材料的晶粒平均尺寸逐渐增大,尺寸大小从 20.897  $\mu\text{m}$  增加至 21.658  $\mu\text{m}$ 。

2.2 淬火温度对材料的组织及性能的影响

分别对材料进行 910℃、920℃、930℃、940℃、950℃ 淬火,保温时间 60 min,在水中冷却,再对材料采用 560℃ 回火,保温 120 min,随后空冷,其显微组织如图 2 所示。材料经过完全淬火后,34CrMo4 合金钢中的铁素体完全溶于奥氏体中,成为细晶粒奥氏体。经过相同的回火温度处理后得到的显微组织均是回火索氏体,是由铁素体基体和弥散分布于其上的细粒状渗碳体而组成,且组织都比较均匀。

34CrMo4 材料在不同温度下淬火,并在相同的温度下回火热处理后的各项力学性能如图 3。随着淬火温度的不断升高,34CrMo4 材料的延伸率逐渐减小, - 50℃ 冲击功、抗拉强度、屈服强度的总体变化趋势均为先增大后减小,硬度先减小后增大。当采用不同的淬火温度时,材料的晶粒大小以及合金元素的溶解与分布情况将发生一定的改变,从而使钢的淬透性发生变化,并且改变了相变后的马氏体板条尺寸的大小<sup>[4]</sup>。一方面,材料的晶粒尺寸随着淬火温度的提高而逐渐变大,

并且马氏体板条尺寸也随之逐渐增大;另一方面,提高淬火温度可以使 Cr、Mo 的碳化物逐渐溶解,并且提高了铬、钼元素在奥氏体中的均匀程度,从而使马氏体中的碳与铬、钼等元素的过饱和度随之增大。两方面的综合作用使材料的力学性能发生变化,从而造成材料的硬度先减小后增大,强度和冲击韧性的变化趋势为先增大后减小。

淬火温度在 910℃ ~ 950℃ 范围内,34CrMo4 材料的延伸率变化趋势较平稳。当淬火温度为 910℃ ~ 920℃ 时,材料的硬度较高,但屈服强度、抗拉强度以及 - 50℃ 冲击韧性均较低;淬火温度为 940℃ ~ 950℃ 时,材料的抗拉强度、屈服强度较高,但 - 50℃ 冲击韧性较差,且 940℃ 淬火时,材料的硬度最低。淬火温度为 930℃ 时,34CrMo4 的屈服强度、抗拉强度以及冲击韧性均相对较高,且冲击韧性最大,材料的力学性能配合最佳,因此最佳淬火温度为 930℃。

2.3 不同回火温度对 34CrMo4 组织与性能的影响

对材料进行 930℃,保温 60 min 后,进行水冷淬火,然后分别进行 540℃、550℃、560℃、570℃、580℃、590℃ 回火,保温 120 min,随后进行空冷。材料的显微组织如图 4 所示。由图 4 可知,材料的组织是均匀的回火索氏体,其特点是在铁素体基体上均匀地分布着粒状碳化物。当回火温度为 540℃ 时,组织中的白色块状铁素体较多,随着回

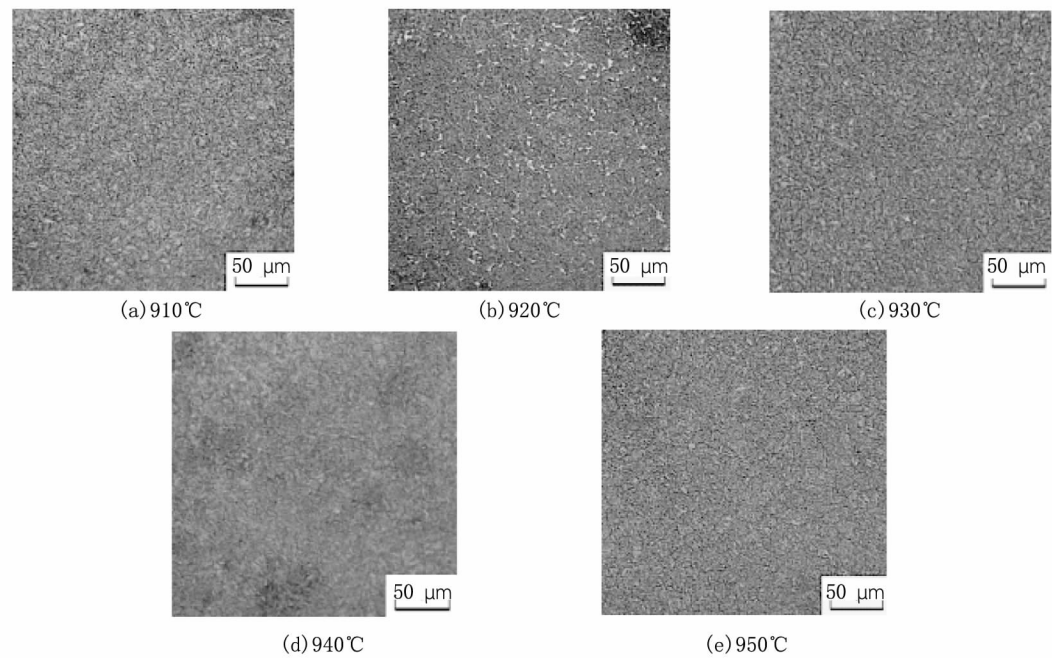


图2 不同温度淬火、560℃回火材料的显微组织

Fig.2 Microstructures of samples quenched at different temperatures and tempered at 560℃

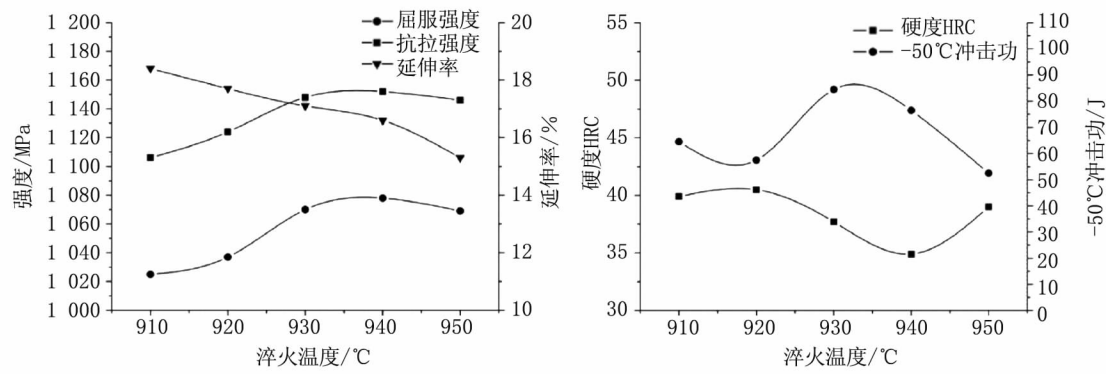


图3 不同淬火温度下34CrMo4材料力学性能的变化

Fig.3 Mechanical properties of 34CrMo4 materials quenched at different temperatures

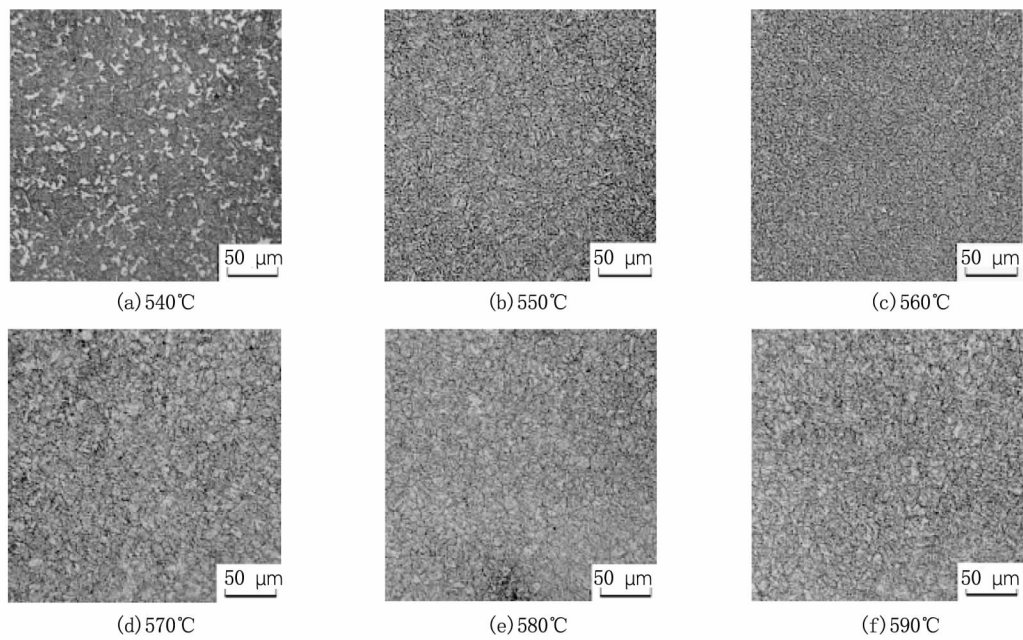


图4 不同的回火温度条件下材料的显微组织

Fig.4 Microstructure of materials tempered at different temperature

火温度的升高,材料的组织较均匀,无明显白色块状铁素体。分析其原因是马氏体组织随着回火温度的逐渐升高而分解更加完全,从而得到的铁素体和渗碳体颗粒分布越均匀<sup>[5]</sup>。

图5是在不同的温度下回火,34CrMo4材料力学性能的变化情况。淬火温度不变的情况下,随着回火温度的提升,硬度的变化趋势为逐渐下降。而当回火温度是560℃时,材料的硬度突然上升,这是由于材料中的Cr、Mo元素可以降低碳原子的扩散能力,增加钢的耐回火性,从而导致了二次硬化现象的出现。

由图5可知,升高回火温度使34CrMo4材料的屈服强度和抗拉强度逐渐降低,延伸率逐渐升高,其原因是34CrMo4钢中的马氏体结构随着回

火温度的升高而逐渐分解,并且伴有大量弥散粒子析出。另外,含有Cr等元素可以使34CrMo4材料组织中的作为强硬相的马氏体含量占绝对优势,而经过回火处理后,马氏体得到大量分解,从而减小了材料的抗拉强度和屈服强度。

随着回火温度的不断提高,材料的-50℃冲击韧性逐渐增大。经过高温回火处理后,34CrMo4材料组织中的碳化物形貌由片状转变成细小颗粒状,且分布由不均匀变化为弥散分布,从而使34CrMo4材料的-50℃冲击韧性得以改善。而当回火温度是550℃和590℃时,材料的冲击韧性变化曲线出现马鞍形变化,说明材料出现了第二类回火脆性。

当回火温度在540℃~590℃范围内时,34CrMo4

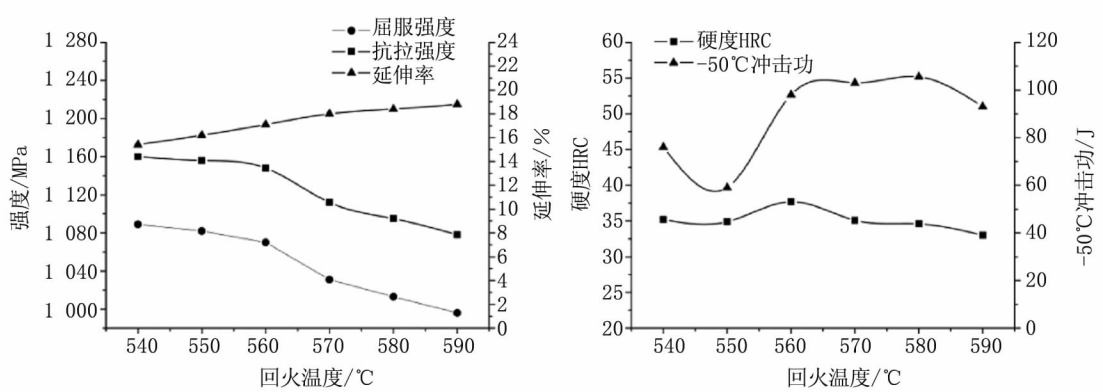


图5 不同的回火温度下34CrMo4材料的力学性能

Fig.5 Mechanical properties of 34CrMo4 materials at the different tempering temperature

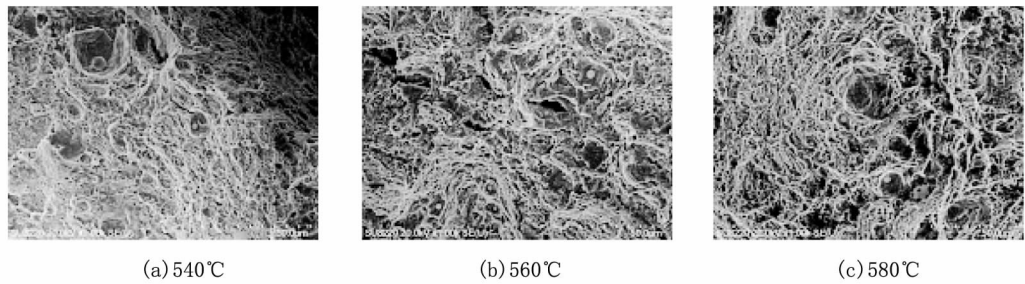


图6 不同回火温度下试样的冲击断口显微形貌的SEM照片

Fig.6 SEM images of the impact fracture surface morphologies of sample tempered at different temperatures

材料的硬度以及延伸率变化趋势较平稳。在540℃~550℃范围内回火时,材料的抗拉强度、屈服强度较高,但冲击韧性较低;回火温度为570℃~590℃时,材料的冲击值较高,但抗拉强度和屈服强度较差。回火温度为560℃时,34CrMo4钢的冲击韧性、抗拉强度、屈服强度均相对较高,且硬度值最大,此时材料的力学性能配合最佳。

图6是回火温度分别为540℃、560℃、580℃下材料的冲击断口显微形貌。通过电镜扫描和能谱仪分析可知,材料的断口形貌都呈典型的韧性断裂,断口中有大小不同的等轴状的韧窝和少量的撕裂纹,韧窝的中心存在着第二相粒子,并且含有夹杂物S和Mn等元素。随着回火温度的升高,材料韧窝的面积逐渐地增大,因此34CrMo4材料的-50℃低温韧性逐渐增加<sup>[6]</sup>。

3 结论

综合分析可知,当淬火温度930℃,保温时间60 min,冷却方式选择水冷,回火温度560℃,保温时间120 min,冷却方式选择空冷时,34CrMo4低合

金钢的组织 and 综合力学性能达到最佳。采用本热处理工艺,有利于34CrMo4大直径无缝钢质气瓶的应用和安全性的提高。

参考文献:

[1] 郑津洋,李静媛,黄强华,等. 车用高压燃料气瓶技术发展趋势和我国面临的挑战[J]. 压力容器,2014,31(2):43-51.

[2] 张宇斌,张志波. 压缩天然气用34CrMo4高压气瓶开裂分析[J]. 压力容器,2014,31(8):59-62.

[3] 翟春海. 34CrMo4钢冲压气瓶的成形工艺优化[D]. 重庆:重庆大学,2014.

[4] 惠卫军,董瀚,王毛球,等. 淬火温度对Cr-Mo-V系低合金高强度钢力学性能的影响[J]. 金属热处理,2002,27(3):14-16.

[5] 安治学,李勇,张银凤,等. 35CrMoA车轴钢回火工艺研究[J]. 机车车辆工艺,2014,4(2):23-24.

[6] 钟群鹏,赵子华. 断口学[M]. 北京:高等教育出版社,2005.

(责任编辑 王利君)