大口径高压化肥设备用无缝钢管热处理工艺研究*

邬占飞[1],石晓霞[1],米永峰[1],李元军[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010;
2. 沧州中汇钢管制造有限公司,河北省 沧州 061000)

摘 要: 针对1Cr5Mo高压化肥设备用无缝钢管完全退火工艺时间较长,采用正火加回火工艺后,力学性能无法满足标准要求,通过制定合理的热处理工艺参数,经反复试验,最终采取加热温度为880 ℃等温退火的热处理工艺,成功批量生产出性能稳定且满足GB/T 6479—2013标准要求的产品。

关键词: 高压化肥设备用无缝钢管; 新型退火; 1Cr5Mo; 热处理工艺
中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)03-0058-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.016

Study on Heat Treatment Process of Seamless Steel Tube for Large-diameter High Pressure Fertilizer Facility

Wu Zhan-fei[1], *Shi Xiao-xia*[1], *Mi Yong-feng*[1], *Li Yuan-jun*[2]

(1. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Cangzhou Zhonghui Steel Pipe Manufacturing Co., Ltd., Cangzhou* 061000, *Hebei, China*)

Abstract: The reasonable heat treatment process parameters are formulated in view of the problem that the time of full annealing for 1Cr5Mo seamless steel tube for high pressure fertilizer facility is longer and its mechanical properties cannot meet the standard requirements with normalizing and tempering process. Finally, the heat treatment process of isothermal annealing with heating temperature of 880 ℃ is adopted through trial and error so that the products with stable performances meeting the requirements of standard GB/6479—2013 are successfully produced with volume production.

Key words: seamless steel tube for high pressure fertilizer facility; isothermal annealing; 1Cr5Mo; heat treatment process

高压化肥设备用无缝钢管为优质碳素钢和合金钢无缝管,主要用于工作温度为-40~400 ℃、工作压力为10~32 MPa的化工设备和管道,适宜输送合成氨、尿素、甲醇等介质。GB/T 6479—2013[1]标准要求1Cr5Mo高压化肥设备用无缝钢管完全退火或等温退火处理,完全退火是将试验钢加热到A_3以上,保温一定的时间后随炉冷却到室温的热处理工艺。处理时间比较长,不适合工厂大批量生产,需研究开发新的热处理工艺,在满足产品性能要求前提下提高生产效率。

* **收稿日期:** 2021-05-06
作者简介: 邬占飞(1984-),男,内蒙古土默特右旗人,工程师,现从事无缝钢管产品研发工作。

1　试验材料及试验方法

1.1　试验材料

试验钢采用的原料为包钢钢联股份有限公司钢管公司 Φ460 mm 作业区轧制热扩后规格为 Φ530 mm × 19 mm 的 1Cr5Mo 热轧无缝扩管料，其制造工艺为铁水预处理→顶底复吹转炉冶炼→LF 炉精炼→VD 真空处理→连铸缓冷→管坯加热→穿孔→连轧→张减机→冷床冷却→热扩，钢管化学成分要求见表 1。

表 1　1Cr5Mo 钢的化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
≤0.15	≤0.50	≤0.6	≤0.025	≤0.015	4.0 ~ 6.0	≤0.6	0.4 ~ 0.6

1.2　试验设备及方法

1.2.1　试验设备

试验设备选用的沧州中汇钢管有限公司通过式辊道加热炉，正火炉及回火炉加热温度范围是 0 ~ 1 100 ℃。正火炉主要尺寸为炉内长度29 000 mm，内宽 3 500 mm，正火炉共 31 个烧嘴，分 17 个控温区，采用脉冲式燃烧控制方式，炉温控制精度为 ± 10 ℃；回火炉主要尺寸为炉内长度 36 000 mm，内宽 4 500 mm，回火炉共 38 个烧嘴，分 21 个控温区，采用脉冲式燃烧控制方式，炉温控制精度为 ± 10 ℃。

1.2.2　试验方法

设计新型热处理退火工艺，从热处理后所得的试验数据与目标值比对，以试验结果判断工艺制度是否满足生产要求，力学性能目标值要求见表 2。

表 2　1Cr5Mo 力学性能目标要求值

标准	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冲击功/J
GB/T 6479—2013 [1]	≥185	390 ~ 590	≥21	≥40

2　试验结果及分析讨论

2.1　正火 + 回火热处理

试验两支钢管，正火温度 950 ℃，回火温度 750 ℃ [2]，辊道速度 36 cm/min，回火出炉后分别在两支钢管头尾取样，力学性能值见表 3。

表 3　1Cr5Mo 力学性能结果(750 ℃回火)

试样编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冲击功/J
1# - 头	597	727	20.5	200、200、205
1# - 尾	594	718	19.5	195、195、175
2# - 头	659	758	22.0	235、225、245
2# - 尾	630	756	18.0	170、175、150

4 个试样抗拉强度均超标准上限要求，其中 3 个试样延伸率低于标准要求，初步推测回火温度比较低，保温时间不够，应力没有完全释放，需提高回火温度，延长回火保温时间。因此对该试验钢进行二次回火，回火温度提高 10 ℃，选用760 ℃高温回火，辊道速度设定为 20 cm/min，装两支钢管试验，回火出炉后分别在两支钢管头尾取样，力学性能见表 4。

表 4　1Cr5Mo 力学性能结果(760 ℃回火)

试样编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冲击功/J
3# - 尾	489	636	22.5	180、200、225
3# - 头	535	651	23.0	225、185、200
4# - 尾	522	650	24.5	220、215、210
4# - 头	527	658	24.5	120、140、130

4个试样抗拉强度均超标准上限要求46～68 MPa左右，但与表3数据相对比，抗拉强度降低67～122 MPa左右，延伸率均符合标准要求，说明提高回火温度，能有效改善抗拉强度及延伸率，可以尝试再次提高回火温度。回火温度分别选用790 ℃及810 ℃，辊道速度设定20 cm/min，各试验两支钢管。回火出炉后分别在4支钢管头尾取样，力学性能见表5（9#、10#为790 ℃试验结果，11#、12#为810 ℃试验结果），另外在10#及11#两支钢管上取样分析金相组织，见图1（790 ℃回火组织）及图2（810 ℃回火组织）。

表5 1Cr5Mo力学性能结果（790 ℃及810 ℃回火）

试样编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冲击功/J
9#	454	607	25.0	195、215、210
10#	461	601	24.5	225、205、240
11#	469	611	21.5	175、195、190
12#	481	601	23.5	230、235、260

4个试样抗拉强度均超标准上限要求，超上限15 MPa左右，但与表4数据相对比，抗拉强度降低25～57 MPa左右，延伸率均符合标准要求，790 ℃回火与810 ℃回火，金相组织几乎没有变化，均为贝氏体组织[3]，再提高回火温度，屈服强度及抗拉强度不会有再大的变化。

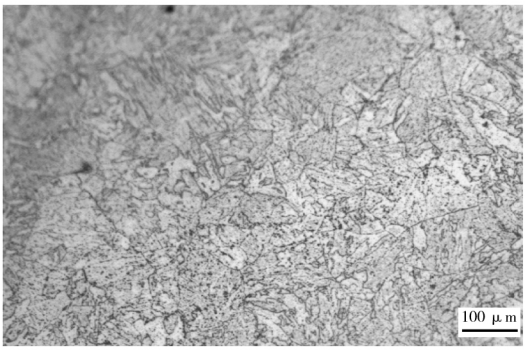


图1 790 ℃回火组织

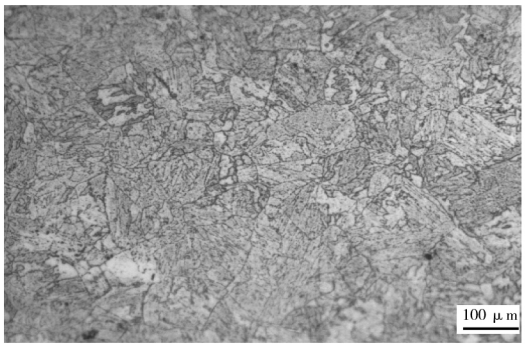


图2 810 ℃回火组织

2.2 等温退火

选用36 000 mm通过式辊道加热炉，试验两支钢管，550 ℃入炉，阶梯升温至880 ℃，保温一定时间，然后阶梯降温，650 ℃出炉，辊道速度20 cm/min，在炉时间180 min，较完全退火工艺时间大大缩短。该热处理炉共分21个控区温，各区温度设定如表6所示。

该两支钢管回火炉出炉后，采用气焊切割的方式，分别在两支钢管头尾取样，力学性能见表7。

表6 等温退火各区温度设定 ℃

1#	2#	3#	4#—6#	7#—8#	9#—12#	13#	14#
550	650	750	850	860	880	850	850
15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#	
830	800	770	740	710	680	650	

表 7　1Cr5Mo 力学性能结果(880 ℃等温退火)

试样编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冲击功/J
13#	225	471	29.5	220、190、100
14#	221	489	31.0	210、220、235
15#	240	480	31.5	230、230、225
16#	214	467	33.0	255、270、235

由试验数据可以看出,4 个试样各项指标均符合标准要求,说明该热处理工艺是可行的,可以批量生产,经批量装炉取样后,试验结果各项指标均符合标准要求,且性能比较稳定。

退火后,显微镜及扫描电镜下组织照片,如图 3 和图 4 所示。

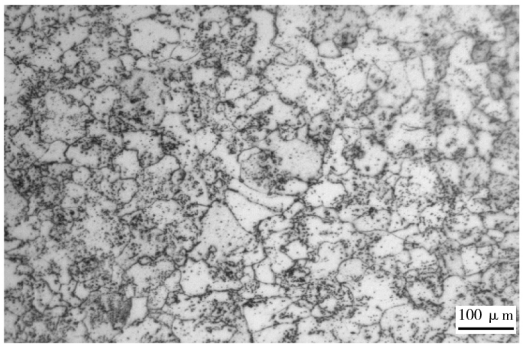


图 3　显微镜下金相组织

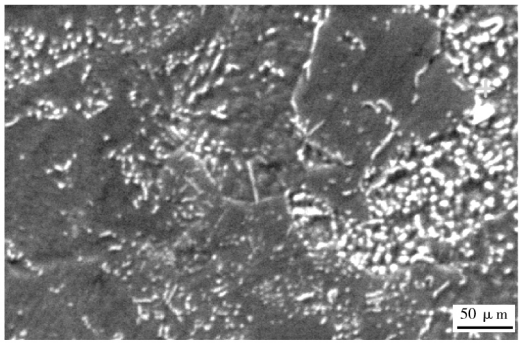


图 4　扫描电镜下金相组织

从微观形貌上可以看出,在该热处理工艺制度下,组织为球状珠光体 + 铁素体[4],从而得到良好的延展性及冲击性能,并具有一定的强度性能[5]。

3　结论

(1) 材质为 1Cr5Mo 高压化肥设备用无缝钢管,正火后,回火温度从 750 ℃提升至 790 ℃,屈服强度及抗拉强度随温度升高而降低,但回火温度超过 790 ℃以后,屈服强度及抗拉强度基本没有变化。

(2) 采用阶梯升温及阶梯降温的新型退火方式,可以替代完全退火热处理工艺,能够有效提高生产效率。

(3) 材质 1Cr5Mo 高压化肥设备用无缝钢管热处理工艺为 550 ℃入炉,阶梯升温至 880 ℃,保温一定时间,然后阶梯降温,650 ℃出炉是可行的。

参　考　文　献

[1] GB/T 6479—2013,高压化肥设备用无缝钢管[S].

[2] 陈文琢,石晓霞,孙轶伦. 1Cr5Mo 合金钢管热处理工艺[J]. 世界金属,2012,(3):56 - 59.

[3] 刘宗昌. 贝氏体相变机制的探讨[J]. 包头钢铁学院学报,2005,24(3):45 - 49.

[4] 陈景榕,李承基. 金属与合金中的固态相变[M]. 北京:冶金工业出版社,1997.

[5] 刘宗昌. 贝氏体铁素体形核机理[J]. 求索,2007,28(1):65 - 74.