

热处理温度对含钼铁素体不锈钢 0Cr17Mo2S 组织及性能的影响

姜方 张孟昀 王刚 白李国 王笑丹 张荣兴
(邢台钢铁有限责任公司不锈钢公司, 邢台 054027)

摘要 不锈钢中添加钼元素可显著改善其耐点蚀能力,但中高铬铁素体不锈钢中添加钼元素后会促进组织中形成富铬、富钼类析出相,会在一定程度上降低材料耐点蚀性能;故制定合理的热处理工艺是生产含钼类铁素体不锈钢时的重要环节。以 0Cr17Mo2S 钢种为例,研究了热处理温度 750 ~ 1 050 °C 对材料内组织、力学性能及析出相的影响。

关键词 热处理 含钼不锈钢 组织 析出相

Effect of Heat Treatment Temperature on Microstructure and Properties of Molybdenum Bearing Ferrite Stainless Steel 0Cr17Mo2S

Jiang Fang, Zhang Mengyun, Bai Ligu, Wang Gang, Wang Xiaodan and Zhang Rongxing
(Stainless Steel Company of Xingtai Iron and Steel Co., Ltd., Xingtai 054027)

Abstract The addition of molybdenum in stainless steel can greatly improve its pitting resistance. However, the addition of molybdenum in medium-high chromium ferritic stainless steel promotes the formation of chromium-rich or molybdenum-rich precipitates in the structure, which can reduce the pitting resistance of the material to a certain extent. So the development of a suitable heat treatment process is an important part of the production of molybdenum-containing ferritic stainless steel. This paper takes the 0Cr17Mo2S as an example, the effects of different heat treatment temperature 750 ~ 1 050 °C on the microstructure, mechanical properties and precipitates of the material.

Material Index Heat Treatment Process, Mo-Containing Stainless Steel, Metallurgical Structure, Precipitate Phase

400 系不锈钢产品耐氯离子环境腐蚀能力较差,故通常向材料中添加一定量钼元素以改善其耐腐蚀性能^[1]。但中高铬铁素体不锈钢中添加钼元素后会极大地促进组织中富铬、富钼类析出相的产生^[2],从而在一定程度上降低材料的耐点蚀性能,故后续合理的热处理工艺就显得尤为重要。

本试验以邢台钢铁公司生产的 0Cr17Mo2S 钢种为例,得出不同热处理工艺与材料内部组织、力学性能及析出相的关系。

1 试验材料及方法

试验用钢牌号为邢钢生产的 0Cr17Mo2S(表 1),生产工艺为:高炉铁水-铁水脱磷-60 t AOD 精炼-60 t LF 精炼-150 mm × 150 mm × 9 100 mm 钢坯浇铸-钢坯加热-Φ16 mm 线材轧制-热处理-抛丸-入库。线材终轧后温度为 900 ~ 1 000 °C,吐丝后空冷。

表 1 试验用 0Cr17Mo2S 钢化学成分 / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
标准成分	≤ 0.04	≤ 1.00	≤ 2.50	≤ 0.04	0.20 ~ 0.25	17.50 ~ 19.50	1.50 ~ 2.50	≥ 0.60
0Cr17Mo2S 钢	0.03	0.7	0.9	0.02	0.22	17.77	1.58	0.11

表 2 试验热处理工艺

工艺	热处理温度 / °C	保温时间 / h	冷却方式
1	750	3	空冷
2	850	3	空冷
3	950	1	空冷
4	1 050	1	空冷

注:高温时保温时间较短,防止铁素体晶粒过度长大。样品保温结束后,出炉空冷。冷却后样品用于力学性能检验及金相组织观察。

将直径为 Φ16 mm 的 0Cr17Mo2S 钢热轧线材切割为长度 300 ~ 400 mm/支的试样若干,设定热处理工艺见表 2 所示。

2 试验结果及讨论

2.1 金相组织及力学性能检验

0Cr17Mo2S 钢常温下为铁素体不锈钢,影响材料内部组织的因素除了化学成分和原始组织外,热处理工艺也有较大影响^[3]。由图 1 可知,该钢种热轧状态下为铁素体组织,且内部晶粒形貌呈现“长条形”分布。由图 2 可见,750 °C 保温 3 h 后,材料内部长条组织依旧存在,但数量较热轧材减少;850、950 °C 保温后,内部晶粒组织进一步趋于均匀,且无长条形组织残留;1 050 °C 保温 1 h 后,材料内部晶

粒进一步长大、均匀,但组织中碳化物析出量减少。

该钢种线材力学性能要求及热轧线材、热处理线材力学性能检测结果见表 3 和表 4。热轧线材具有较高的抗拉强度、硬度及较低的延伸率、断面收缩率指标,综合力学性能较差。对热轧线材进行热处理后,其力学性能有了明显改善,这主要与材料内部晶粒组织尺寸逐渐增大有关。但样品硬度值曲线呈现先平稳后升高的趋势;分析主要原因为样品在 1 050 ℃ 保温 1 h 后空冷过程中,钢中的碳和钼元素对材料产生了固溶强化^[4-5],进而使材料硬度升高。

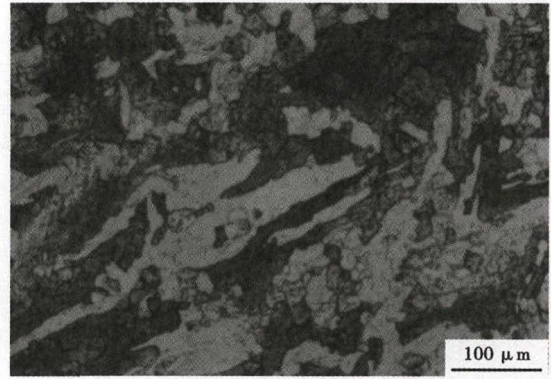


图 1 0Cr17Mo2S 钢热轧材的组织形貌
Fig. 1 Morphology of hot-rolled product of steel 0Cr17Mo2S

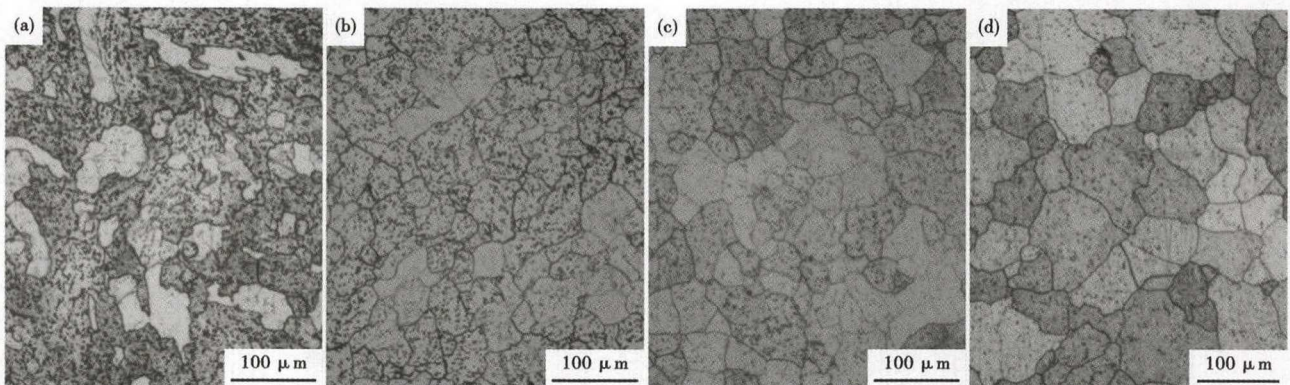


图 2 热处理工艺 750 ℃ 3 h(a), 850 ℃ 3 h(b), 950 ℃ 1 h(c) 和 1 050 ℃ 1 h(d) 对 0Cr17Mo2S 钢热轧材组织的影响
Fig. 2 Effect of heat treatment process 750 ℃ 3 h (a), 850 ℃ 3 h (b), 950 ℃ 1 h (c) and 1 050 ℃ 1 h (d) on structure of hot-rolled product of steel 0Cr17Mo2S

表 3 0Cr17Mo2S 热处理线材力学性能(企业标准)
Table 3 Mechanical properties of 0Cr17Mo2S heat treated wire (Enterprise Standard)

抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	断面收缩率/ %	HV 硬度值	组织 要求
450 ~ 500	>25	>50	>170	铁素体

表 4 热轧线材热处理样品力学性能
Table 4 Mechanical properties of heat treated samples of hot-rolled wire

工艺	热处理工艺	抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	断面收缩率/ %	HV 硬度值
原工艺	热轧线材	513	8.0	19	183
1	750 ℃ × 3 h	464	30.0	62	178
2	850 ℃ × 3 h	460	28.5	66	175
3	950 ℃ × 1 h	461	29.0	62	175
4	1 050 ℃ × 1 h	460	28.0	55	217

2.2 组织中析出相检验

对热轧线材进行金相组织检验时,组织内未发现析出相存在,但对采用 750 ~ 950 ℃ 进行热处理的样品进行金相组织检验时,发现晶界及晶粒内部存在明显析出相,数量分布随着热处理温度的升高先增加后减少。析出相形貌见图 3 所示。

Fe-Cr 合金和工业铁素体不锈钢中析出相主要为 σ 、 χ 、Laves 和 α' 相。其中 σ 相成分主要为 FeCr、 χ 相成分主要为 FeCrMo、Laves 相成分主要为 Fe_2Mo 、 α' 相即为 475 ℃ 脆性^[5]。

析出相在扫描电镜下形貌见图 4 所示。

通过表 5 对比分析可知,750 ℃ 保温 3 h 后,材料中会形成 χ 相、Laves 相,850 ℃ 保温 3 h 后,材料中会形成 χ 相、 σ 相混合相,950 ℃ 保温 1 h 后,材料中主要形成的 σ 相,1 050 ℃ 保温 1 h 后,材料中无析出相产生。

表 5 析出相成分及类型
Table 5 Component analysis and classification of precipitates

热处理 工艺	析出相成分 /%			类型
	Cr	Mo	Fe	
1	21.20	22.48	56.31	χ 相
750 ℃ 3 h	6.16	40.23	21.49	Laves 相
2	52.40	6.61	37.99	σ 相
850 ℃ 3 h	13.69	19.51	45.42	χ 相
3	52.93	7.17	29.38	σ 相
950 ℃ 1 h	49.90	6.12	43.87	σ 相

注:1 050 ℃ 保温 0.5 h,样品中未见析出相。

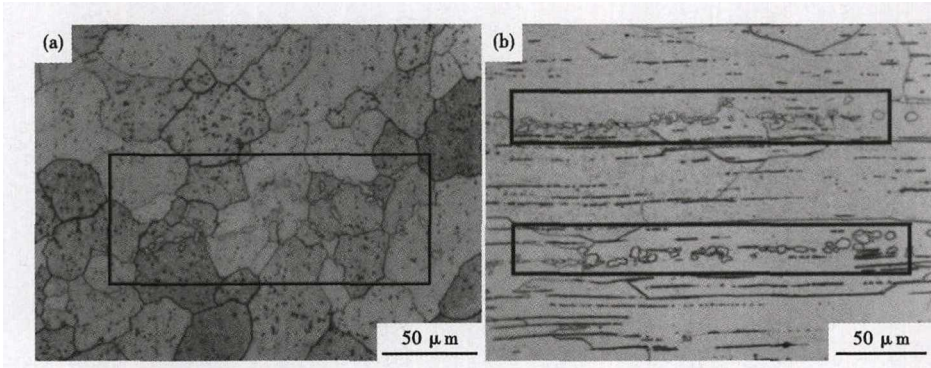


图 3 热轧材横截面(a)和纵截面(b)析出相形貌

Fig. 3 Morphology of precipitates at cross-section (a) and longitudinal section (b) of hot-rolled products

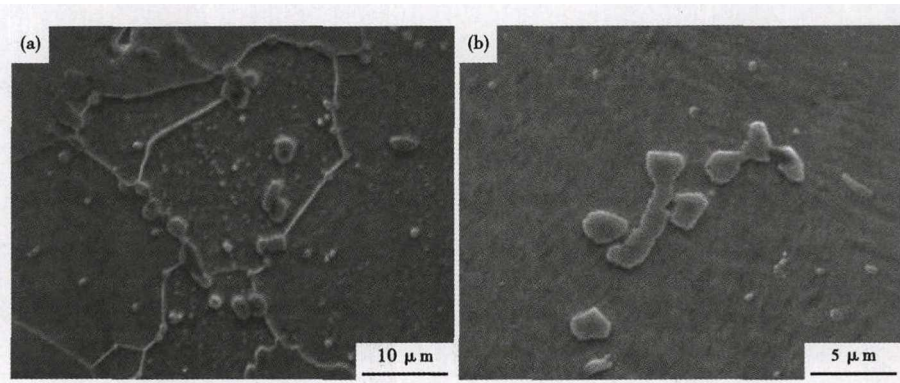


图 4 扫描电镜下析出相形貌

Fig. 4 Appearance of precipitates, scanning electron microscope

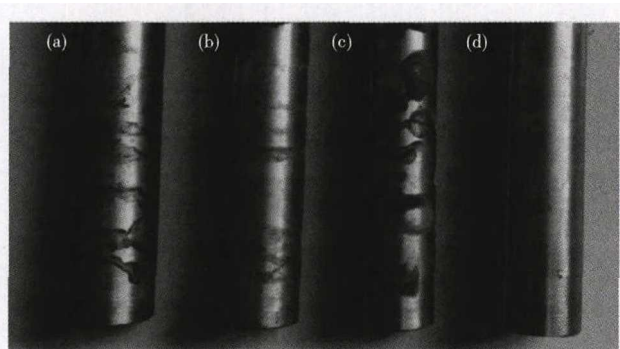


图 5 热处理温度对 0Cr17Mo2S 钢耐蚀性的影响:(a)750 °C 3 h;(b)850 °C 3 h;(c)950 °C 1 h;(d)1 050 °C 1 h

Fig. 5 Effect of heat treatment temperature on corrosion resistance of steel 0Cr17Mo2S: (a)750 °C 3 h;(b)850 °C 3 h;(c)950 °C 1 h and (d)1 050 °C 1 h

750 ~ 950 °C 热处理过程中形成的析出相均为富铬、富钼的金属化合物,会在一定程度上降低材料的局部耐蚀性。通过盐雾试验机(试验环境:5% NaCl 水溶液、温度 25 ~ 35 °C)对不同热处理样品进

行耐蚀性试验,48 h 后试验结果见图 5 所示。

由图 5 对比可知,图 (a) ~ (c) 样品表面均出现了不同程度的锈蚀,样品 (d) 表面未发生明显锈蚀。故该类钢种在后续热处理时应采用高温空冷工艺,使析出相全部溶解于基体中,防止其大量析出,以保证材料的良好耐蚀性。

3 结论

(1) 中铬含钼铁素体不锈钢在 750 ~ 1 050 °C 进行热处理时,随温度的升高,抗拉强度、延伸率及断面收缩率逐渐降低,硬度先保持稳定后升高。

(2) 中铬含钼铁素体不锈钢在 750 ~ 950 °C 进行热处理时,材料内部存在富铬、富钼类 σ 相、 χ 相和 Laves 相。

(3) 中铬含钼铁素体不锈钢需采用“高温快冷”工艺(如 1 050 °C 保温 1 h 空冷)进行热处理,以保证其组织内部无析出相产生。

参考文献

- [1] 孙增森,姜方,白李国,等. 3Cr13 线材耐蚀性改善与研究 [J]. 北京:第十一届中国钢铁年会论文集,2017:200-205.
- [2] 屈华鹏,朗宇平,陈海涛,等. 热处理及 Mo、Nb 含量对 00Cr22Mo2Nb 铁素体不锈钢组织和性能的影响 [J]. 金属热处理,2015,40(8):20-25.
- [3] 刘向艳,杨建华,唐 滢,等. 退火温度对刀具钢 6CrW2Si 组织和硬度的影响 [J]. 特殊钢,2018,39(4):63-65.
- [4] 李 见. 材料科学基础 [M]. 北京:冶金工业出版社,2006:173-175.
- [5] 康喜范. 铁素体不锈钢 [M]. 北京:冶金工业出版社,2012:31-48.

姜方(1984-),男,博士(2013年北京科技大学),工程师,2007年北京科技大学(本科)毕业,不锈钢工艺研究。
E-mail:bestvkin@126.com

收稿日期:2019-02-15