

文章编号:1673-9981(2010)02-0120-05

# 淬火温度对含钼马氏体不锈钢组织性能的影响

白鹤<sup>1,2</sup>, 王伯健<sup>1</sup>, 丰振军<sup>1</sup>, 沈志军<sup>3</sup>, 王平怀<sup>4</sup>

(1. 西安建筑科技大学冶金工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 宝鸡石油钢管有限责任公司, 陕西 宝鸡 721008; 3. 咸阳石油钢管钢绳有限责任公司, 陕西 咸阳 712000; 4. 宝鸡石油机械有限责任公司, 陕西 宝鸡 721002)

**摘 要:**根据对马氏体不锈钢耐蚀方面的要求,熔炼出了一种含钼马氏体不锈钢,对该不锈钢进行了淬火试验,研究了淬火温度对该马氏体不锈钢组织性能的影响,发现经 1080 ℃ 淬火,钢的硬度达到最高,其原因是在该温度下淬火,钢中大部分碳化物溶解,且铁素体含量非常低,虽奥氏体晶粒有所长大,但幅度不大.因此,该马氏体不锈钢在 1080 ℃ 左右进行淬火是比较合理的.

**关键词:**淬火; 马氏体不锈钢; 组织; 性能

**中图分类号:** TG113.1

**文献标识码:** A

虽然马氏体不锈钢的硬度和强度较高,耐磨性良好,已被广泛应用于航天、航空、医疗、原子能和机械制造等领域<sup>[1-2]</sup>,但由于其耐蚀性不尽如人意,因此,近年来,如何提高马氏体不锈钢的耐蚀性能成为研究的重要方向之一.对于不锈钢来说增加基体中 Cr 含量或获得单相组织是提高其耐蚀性的重要手段.通过在 2Cr13 马氏体不锈钢中增加 Mo 的含量,使之形成 Mo 的碳化物,可释放出更多的 Cr 进入基体,从而使基体中 Cr 的含量增加,提高材料的耐蚀性.本文针对马氏体不锈钢耐蚀性能方面的要求,冶炼出一种含 Mo 马氏体不锈钢,并探讨了淬火温度对该不锈钢组织性能的影响.

样.其金相组织如图 1 所示.由图 1 可以看出,试样的原始组织为铁素体+碳化物,碳化物数量较多,且尺寸和分布都不均匀.试样的化学成分列于表 1.

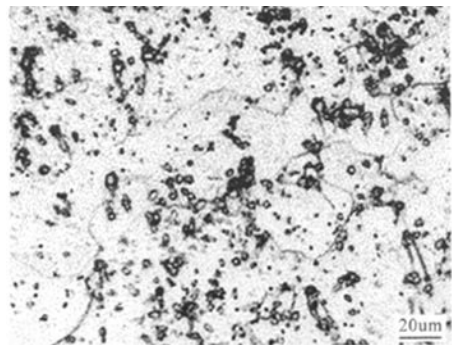


图 1 试样的原始组织

Fig.1 Schematic for bond strength measurement between coating and substrate

表 1 试样的化学成分

Table 1 The chemical composition of the samples

成分	C	Cr	Mo	Mn	V	Nb	Fe
含量 w/%	0.17	13.17	0.40	0.45	0.10	0.01	其余

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验材料

以 2Cr13 不锈钢废料为原料,在 CW-1JJ 型中频感应炉中熔炼,以 1Cr17Ni7 不锈钢和钼铁作为合金化原料,在 2Cr13 熔化后期加入,以提高合金的收得率.出炉前加入纯铝进行脱氧,用钢模浇注成 D40 mm×100 mm 的不锈钢棒后进行锻造、轧制,在 RJX-75-9 型箱式电阻炉中 750 ℃ 保温退火 2 h 后空冷,然后用线切割机加工成 50 mm×20 mm×3 mm 的片状试

收稿日期:2010-01-04

作者简介:白鹤(1983—),男,陕西宝鸡人,硕士研究生.

1.2 实验方法

试样在 DRZ-9 型高温箱式炉中以木炭作为保护性气氛进行加热,在油中淬火,淬火温度为 960~1140 ℃,保温 30 min. 淬火后将试样加工成 10 mm×10 mm×3 mm 的小片,在 XQ-2B 型镶样机中镶样. 采用奥林巴斯 GX51 型金相显微镜观测试样,用宝菱 HX-1000TM 显微维氏硬度计测定硬度,打 7 个硬度点,去掉最高和最低硬度值,再求出平均值作为试样在该温度下的硬度值. 硬度计的误差为±10 HV,载荷为 50 g.

2 实验结果及分析

2.1 实验结果

试样经 960~1140 ℃ 不同温度淬火后,含 Mo 不锈钢和 2Cr13 不锈钢的硬度随温度的变化如图 2 所示. 由图 2 可见,随淬火温度的升高,含 Mo 不锈钢的硬度值先升高后降低,在 1080 ℃ 时,达到最大值. 含 Mo 不锈钢经 960~990 ℃ 淬火后,硬度较低

(260~270 HV),且上升的幅度缓慢. 经 1020 ℃ 淬火后,其硬度迅速升高,在 1020~1080 ℃ 淬火后,试样的硬度虽然随温度的上升而升高,但升幅不大(490~540 HV). 经 1080~1140 ℃ 淬火后,试样的硬度随淬火温度的升高而迅速下降,在 1140 ℃ 时降至 353 HV.

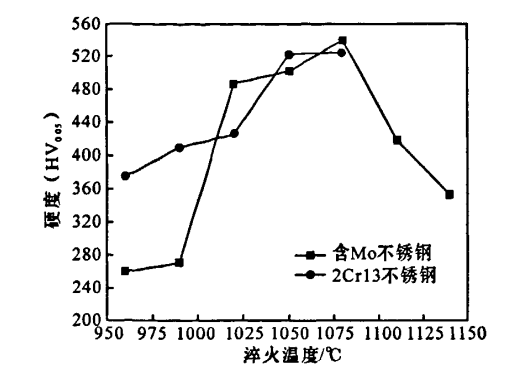


图 2 淬火温度对两种不锈钢硬度的影响  
Fig. 2 The effects of quenching temperature on the hardness of two kinds of stainless steel

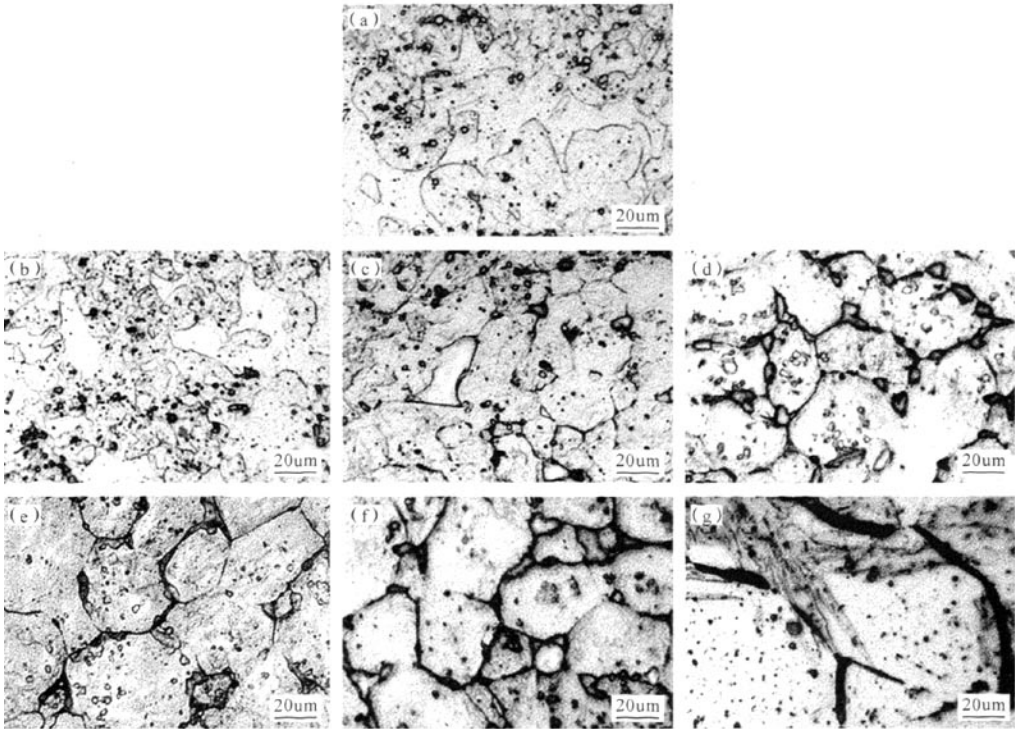


图 3 含 Mo 马氏体不锈钢在不同淬火温度下的金相组织  
(a) 960℃; (b) 990℃; (c) 1020℃; (d) 1050℃; (e) 1080℃; (f) 1110℃; (g) 1140℃  
Fig. 3 The microstructure of martensitic stainless steel containing Mo quenched at different temperatures

不同淬火温度下试样的金相组织如图3所示。淬火温度对试样金相组织的影响可从铁素体含量、从原奥氏体晶粒尺寸、碳化物颗粒的大小及数量等方面来分析。

随淬火温度的升高,钢中铁素体的含量逐渐降低。由图3可见,在960~990℃时钢中有大量连续的铁素体。在1020℃时,虽然铁素体含量明显减少,但依然可见,且为块状。在1050℃时,钢中的铁素体只能在晶界处看到,且为零星不连续的小块。而在经1080℃淬火的试样中,铁素体的含量已非常低。淬火温度高于1080℃后,铁素体含量继续随温度的升高而减少。在1140℃淬火时,试样的晶粒已明显长大。

淬火温度为960~1110℃时,随淬火温度的升高,试样中的原奥氏体晶粒尺寸变化不大。而淬火温度在1140℃时,试样中的原奥氏体晶粒已明显长大。

淬火温度在960~990℃时,钢中碳化物颗粒较大且多,分布不均。在1020℃淬火时,碳化物的数量和直径都较990℃时明显减小。在1050~1110℃淬火时,随着温度的升高,钢中碳化物颗粒的数量和直径继续减小,且分布趋于均匀。而当淬火温度升至1140℃时,钢中碳化物颗粒的大小和数量都已显著减小,且晶粒尺寸明显长大。

## 2.2 结果分析

将图2的硬度与淬火温度的关系曲线和图3的金相组织照片对比后可以看出,淬火温度为960~1140℃时,试样硬度的变化主要取决于未溶碳化物颗粒的大小和数量、铁素体及残余奥氏体的含量。

对于淬火的钢来说,由于铁素体的硬度要远远小于马氏体的硬度,因此,淬火后钢的铁素体含量越少,其硬度就越大。残余奥氏体含量的增加会降低淬火后不锈钢的硬度。对于2Cr13不锈钢来说,淬火温度越高,铁素体含量越低,而残余奥氏体的含量越高。试样在960~990℃淬火时,不锈钢中铁素体含量随温度的升高略有减少。由于Mo是形成铁素体的元素,因此,在此温度段淬火,含Mo不锈钢的硬度比2Cr13钢的硬度还低(图2)。在1020℃淬火时,不锈钢试样中铁素体的含量迅速减少,且由原来连续的带状转变成块状,使得不锈钢的硬度迅速上升。由1020℃和1050℃不锈钢的金相组织可见,随着淬火温度的升高,试样中的铁素体继续减少,因此,硬度继续随温度的升高而升高。在1080℃淬火

时,钢中的铁素体含量已非常低,说明此时钢已基本完全奥氏体化。因此,在1080℃淬火时钢的硬度较1020℃和1050℃的高。当淬火温度在1110℃时,虽然铁素体含量随着温度的升高继续减少,但在该温度下大量奥氏体稳定元素已溶于机体,又由于Mo的加入使钢的Ms点降低,马氏体形核减少,从而导致淬火后残余奥氏体增多,使钢的硬度下降。因此,在1110℃淬火,试样的硬度比1080℃时低。从1140℃淬火试样的金相组织可以看出,由于温度过高,钢组织中存在大量的残余奥氏体和少量的竹叶状马氏体,并伴有明显的晶粒长大现象。所以,经此温度淬火后,钢的硬度降至很低。

2Cr13中的碳化物大多是 $M_{23}C_6$ (或 $M_7C_3$ ,  $M_3C$ ,  $M_6C$ ),而 $M_{23}C_6$ 中 $w(Cr)$ 一般在65%~70%<sup>[3-6]</sup>,淬火后2Cr13中未溶碳化物的含量越少,溶解于基体中的C和Cr就越高,因此淬火的硬度就越大,耐蚀性也越好。Mo不仅是缩小奥氏体区的元素,更重要的是它是形成中强碳化物的元素,由于Mo与C的亲合力要大于Cr与C的亲合力,在2Cr13钢中加入的Mo会优先与C形成碳化物。因此,含Mo不锈钢的碳化物类型组成应是Mo的碳化物( $MC$ ,  $M_2C$ )、Cr的碳化物( $M_{23}C_6$ )和Mo, Cr的碳化物。另外,Mo碳化物的形成也会使钢基体中的Cr含量增加,从而使不锈钢的耐蚀性增强。当试样在960~990℃淬火时,由于钢中有大量的未溶碳化物,因此,钢的硬度较低。在1020~1050℃淬火时,随着温度的升高,碳化物的数量和直径虽然都在减小,但减小的幅度不大,所以钢的硬度的增幅不大。在1080℃时,钢中碳化物的数量进一步减少,钢的硬度上升较明显。1110℃淬火后,试样中的碳化物数量与1080℃时相比变化不大。1140℃时,虽然组织中的碳化物分布均匀,但此时钢的晶粒尺寸明显变大,已影响到钢的其他机械性能。因此,1140℃已高于该钢的最佳淬火温度。

由此可见,在1050~1080℃左右进行淬火,可以得到未溶碳化物、铁素体及残余奥氏体含量都较少的组织,此时晶粒尺寸长大幅度不大,且钢的硬度较高,所以在这个温度范围内对含Mo马氏体不锈钢进行淬火是比较合适的。

## 3 讨论

图4为2Cr13不锈钢在1050℃的淬火组织。由

图 4 可见,组织中除存在很少量的铁素体外(硬度为 233 HV),其余均为马氏体组织(硬度为 535HV). 2Cr13 不锈钢中碳化物( $M_{23}C_6$ )的数量与高于 1050 °C 淬火的含 Mo 不锈钢相比明显减少. 由于 Mo 的碳化物熔点高于 Cr 的碳化物的熔点,随着温度的升高,Cr 的碳化物逐渐溶解,在 1050 °C 左右基本全部溶解. 因此,可以断定含 Mo 不锈钢在 1050 °C 以上依然存在的碳化物是 Mo 的碳化物.

图 5 为  $w(Cr)=13\%$  的 Fe-Cr-C 三元系相图的垂直截面图<sup>[7]</sup>,当  $w(C)$  约为 0.2% 时,其相变机制如图中的竖线所示. 当淬火温度在 1050 °C 时,2Cr13 不锈钢已完全奥氏体化,这也说明在该温度下淬火,铁素体基本上已全部转变为奥氏体,大部分碳化物也溶解到奥氏体当中,因此,该温度下淬火组织中应只剩下微量的未溶碳化物. 由于 Mo 是铁素体形成元素,能缩小奥氏体区域,当 Mo 加入到不锈钢中

后,相图会发生相应的变化,使奥氏体区域缩小,提高了完全奥氏体化的温度,因此,含 Mo 不锈钢的最佳淬火温度要比 2Cr13 不锈钢的高.

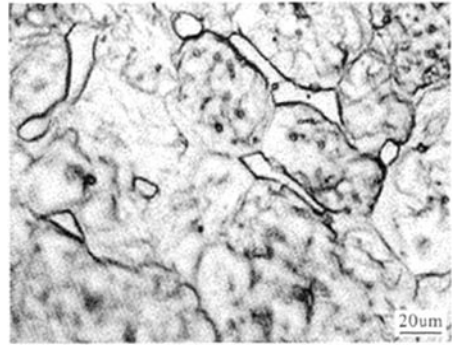


图 4 2Cr13 不锈钢 1050 °C 淬火金相组织  
Fig. 4 The microstructure of 2Cr13 stainless steel quenched at 1050 °C

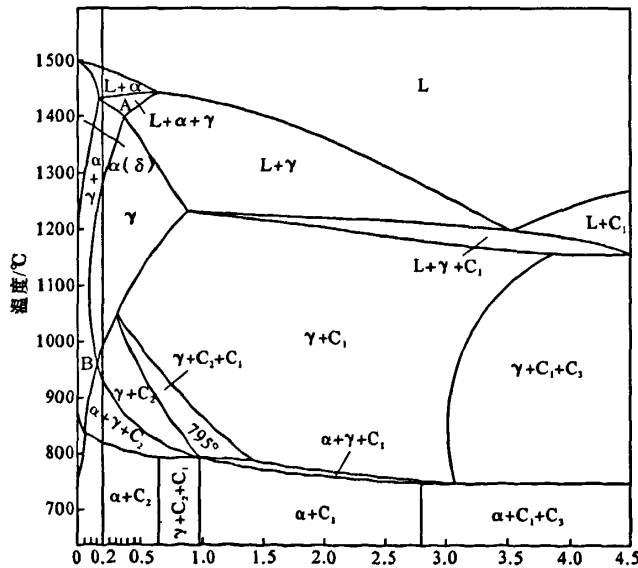


图 5  $w(Cr)=13\%$  的 Fe-Cr-C 三元系相图的垂直截面图  
Fig. 5 The vertical section of Fe-Cr-C ternary phase diagram contained 13% Cr

## 4 结 论

(1)含 Mo 马氏体不锈钢在 960~1080 °C 淬火时,其硬度随温度的升高而升高. 在 1080~1140 °C 淬火时,该不锈钢的硬度随淬火温度的升高而迅速

下降,主要原因是残余奥氏体的增加.

(2)1050 °C 以后淬火,钢中存在的未溶碳化物为 Mo 的碳化物.

(3)含 Mo 马氏体不锈钢在 1050~1080 °C 左右进行淬火比较合适.

## 参考文献:

- [1] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [2] 姜越, 尹钟大, 朱景川, 等. 马氏体时效不锈钢的发展现状[J]. 特殊钢, 2003, 24(3): 1-5.
- [3] 王平怀, 王伯健, 宋景娜. 淬火温度对 2Cr13 不锈钢组织和性能的影响[J]. 热加工工艺, 2008, 37(4): 71-73.
- [4] 胡正飞, 杨振国. 长期高温时效 F12 耐热合金钢中碳化物形态和组分变化[J]. 金属学报, 2003(2): 131-135.
- [5] EGGELER G. The Effect of long-time creep on particle coarsening on tempered martensite ferritic steel[J]. Acta Metall, 1983, 37: 3225.
- [6] THOMSON R C, BHADSHIA H K D H. Carbide precipitation in 12Cr1MoV power plant steel[J]. Metall Trans, 1992, A23: 1171.
- [7] 石德珂. 材料科学基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

## Effect of quenching temperature on microstructure and properties of martensitic stainless steel containing Mo element

BAI He<sup>1,2</sup>, WANG Bo-jian<sup>1</sup>, FENG Zhen-jun<sup>1</sup>, SHEN Zhi-jun<sup>3</sup>, WANG Ping-huai<sup>4</sup>

(1. School of Metallurgy Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, China; 2. Baoji Petroleum Steel Pipe Co. Ltd., Baoji, 721008, China; 3. Xianyang Petroleum Steel Tube and Wire Rope Co. Ltd., Xianyang, 712000, China; 4. Baoji Oilfield Machinery Co. Ltd., Baoji, 721002, China)

**Abstract:** A kind of martensitic stainless steel containing Mo element was smelted to improve the corrosion resistance properties. The microstructure and properties of the martensitic stainless steel quenching in oil were studied. It was found that the harness of the martensitic stainless steel reached the peak value when the quenching temperature was at 1080℃. This is due to the most of carbide was dissolved and a small quantity of ferrite existed. Austenite grain began to grow but too slowly at 1080℃. Therefore the reasonable quenching temperature for this kind of martensitic stainless steel is about 1080℃.

**Key words:** quenching; martensitic stainless steel; microstructure; properties