

## 碳含量对 Cr17Mo 型耐蚀塑料模具钢组织和性能的影响

刘建华<sup>1</sup> 赵亮<sup>2</sup> 马党参<sup>1</sup> 陈再枝<sup>1</sup> 康爱军<sup>3</sup>

(1 钢铁研究总院结构材料研究所,北京 100081; 2 昆明理工大学,昆明 650093;

3 东北特钢集团抚顺特钢公司,抚顺 113001)

**摘要** 试验研究了成分(%)为:0.39C,0.70Ni,16.73Cr,1.07Mo 和 0.53C,1.05Ni,16.87Cr,0.96Mo 两种 Cr17Mo 型耐蚀塑料模具钢的淬火回火组织、力学性能和耐蚀性能。试验结果表明,当 Cr17Mo 型钢中碳含量由 0.39% 提高至 0.53% 时,经 1060 °C 淬火,475 °C 回火后该钢的峰值硬度 HRC 值由 46.5 提高到 53.4;两种试验钢在弱酸、氧化性酸和 1% 盐酸中均有较高的耐腐蚀性能。

**关键词** Cr17Mo 型塑料模具钢 碳含量 硬度 耐蚀性

## Effect of Carbon Content on Structure and Properties of Cr17Mo Type Corrosion Resistant Stainless Steel for Plastic Mould

Liu Jianhua<sup>1</sup>, Zhao Liang<sup>2</sup>, Ma Dangshen<sup>1</sup>, Chen Zaizhi<sup>1</sup> and Kang Aijun<sup>3</sup>

(1 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 2 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

3 Fushun Special Steel Co, Dongbei Special Steel Group, Fushun 113001)

**Abstract** The quenched and tempered structure, mechanical properties and corrosion resistance of two Cr17Mo type corrosion resistant stainless steels for plastic mould - 0.39C, 0.70Ni, 16.73Cr, 1.07Mo and 0.53C, 1.05Ni, 16.87Cr, 0.96Mo have been tested and researched. As the carbon content in Cr17Mo type steel increased from 0.39% to 0.53%, the peak HRC hardness value of steel quenched at 1060 °C and tempered at 475 °C increased from 46.5 to 53.4; and the two test steels had better corrosion resistance in weak acid, oxidizing acid and 1% HCl.

**Material Index** Cr17Mo Type Plastic Mould Steel, Carbon Content, Hardness, Corrosion Resistance

在目前国际上广泛应用 Cr17 型马氏体不锈钢的基础上,分步提高其碳含量并调整钢中其它合金元素含量,以期获得高的硬度、强度的同时又具有较高的耐蚀性,以满足耐蚀塑料模具的需求。

### 1 材料的制备

试验用钢的生产工艺为:30 t 电弧炉 + VHD 精炼→电渣重熔钢锭(480 mm × 480 mm),钢锭经缓冷后退火→A 钢经 850 轧机轧制开坯(钢坯退火)→精轧机轧制成 245 mm × 75 mm 的扁钢,C 钢采用锻造成 310 mm × 75 mm 的扁钢→钢材退火,钢材的退火硬度(HB)A 钢为 191,C 钢为 306。试验钢的化学成分见表 1。

表 1 Cr17Mo 型试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of Cr17Mo type test steels /%

试样	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo
A	0.39	0.72	0.48	0.004	0.021	0.70	16.73	1.07
C	0.53	0.36	0.21	0.001	0.011	1.05	16.87	0.96

### 2 试验结果及讨论

#### 2.1 碳含量对淬火组织和性能的影响

共选取了 980~1140 °C 之间 9 个淬火温度,保温 15 min,油冷,试样尺寸(mm)为 15 × 15 × 10。A 钢和 C 钢不同淬火温度与硬度及晶粒度变化曲线见图 1,其中奥氏体晶界采用 5% 铬酸电解腐蚀。

由图 1 可见,A 钢的晶粒比 C 钢细。观察试验钢 C 钢的淬火硬化曲线整体上比 A 钢高,A 钢的淬火硬度(HRC)最高为 51,而 C 钢最高可达 56,C 钢比 A 钢的硬度峰值约提前 40 °C。

由图 2 可见,由于试验钢材的含碳量在不锈钢中相对较高,钢的淬火组织中还留有一定数量的未溶碳化物。A 钢的淬火组织为马氏体 + 铁素体 + 碳化物,在光学显微镜下铁素体呈多边形明亮块,碳化物呈颗粒状,C 钢的淬火组织为淬火马氏体和碳化物及一定数量的残余奥氏体。在 H-800 透射电子显微镜下则可清晰看出淬火马氏体呈板条状,少数区域还可见到孪晶马氏体。

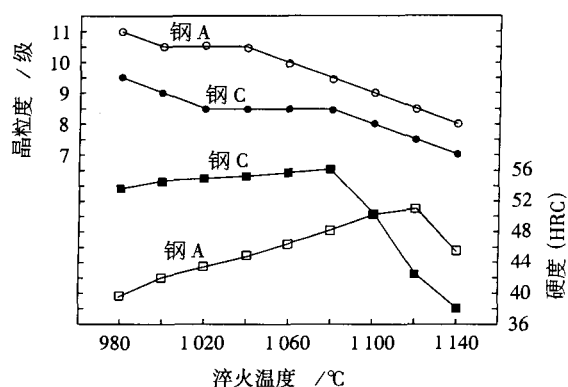


图 1 淬火温度对 Cr17Mo 型钢 A (0.39% C) 和钢 C (0.53% C) 晶粒度和硬度的影响

Fig.1 Effect of quenching temperature on grain size rating and hardness of Cr17Mo type steel A (0.39% C) and steel C (0.53% C)

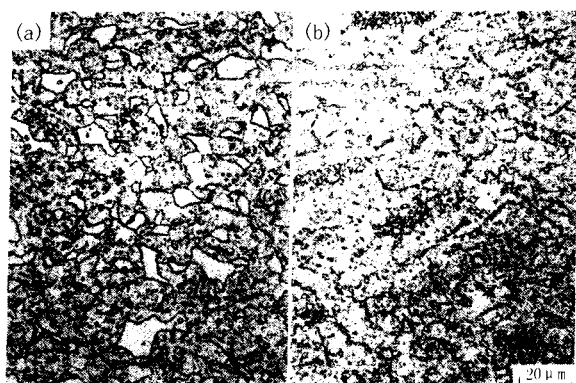


图 2 (a) Cr17Mo 型试验钢 A (0.39% C) 和 (b) 钢 C (0.53% C) 1060 °C 的淬火组织

Fig.2 Structure of test Cr17Mo type steel quenched at 1060 °C: (a) steel A (0.39% C) and (b) steel C (0.53% C)

将两种试验钢材的化学成分换算成铬当量和镍当量, A 钢和 C 钢的化学成分与淬火组织之间的关系与不锈钢的谢夫尔组织图相吻合<sup>[1,2]</sup>。A 钢位于 Schaeffler 组织图的双相区, 铁素体含量约 10%, C 钢则位于奥氏体单相区。可见碳含量对试验钢材的淬火组织和性能有很大的影响。

### 2.2 碳含量对回火组织和性能的影响

图 3 为两种钢材经 1060 °C 淬火, 然后经 200, 400, 600 °C 回火后的金相显微照片(腐蚀剂: 1 g 苦味酸 + 5 ml 盐酸 + 100 ml 酒精), 从图 3 中可见, A 钢 200 °C 回火后的基体组织中的铁素体基本保持不变, 淬火马氏体转变为回火马氏体, 淬火时未溶的碳化物依然保留在钢中。C 钢的基体组织为回火马氏体 + 碳化物 + 残余奥氏体。由于这时的回火温度较低, 大量的铬等合金元素仍保留在固溶体中, 在金相显微镜下观察到的马氏体板条仍不明显。随着回火温度的提高, 钢的基体组织发生分解, 在 300 ~ 400 °C 回火时, 板条内和板条间有较多的碳化物析出, 板条的方向性明显。回火温度进一步提高, 碳化物随之长大, 而且碳化物颗粒与基体之间进行铬的置换, 钢中的碳化物类型由高铁低铬的渗碳体型碳化物 (Fe, Cr)<sub>3</sub>C 逐渐过度成富铬 (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 型碳化物, 基体中的回火马氏体转变为回火索氏体<sup>[3]</sup>。

图 4 为两种试验钢材 1060 °C 淬火, 然后经不同温度回火后的力学性能。从图 4 中的回火硬化曲线可看出, 两种钢材都存在明显的二次硬化现

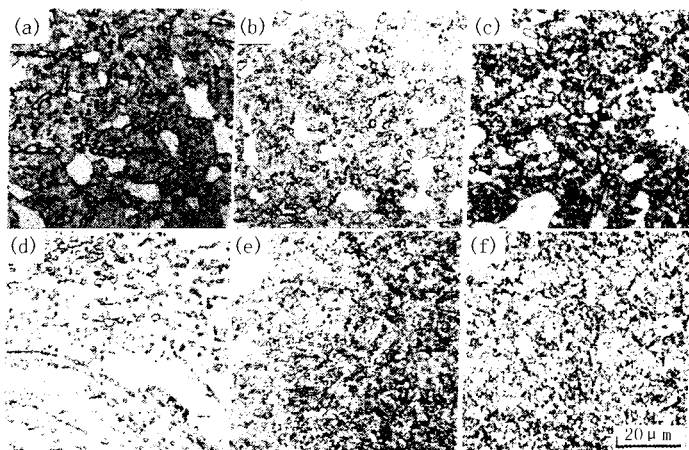


图 3 Cr17Mo 型钢不同温度回火后的组织: 钢 A (0.39% C) - 200 °C 回火 (a), 400 °C 回火 (b), 600 °C 回火 (c); 钢 C (0.53% C) - 200 °C 回火 (d), 400 °C 回火 (e), 600 °C 回火 (f)

Fig.3 Structure of Cr17Mo type steel: steel A (0.39% C) tempered at 200 °C (a), 400 °C (b) and 600 °C (c); steel C (0.53% C) tempered at 200 °C (d), 400 °C (e) and 600 °C (f)

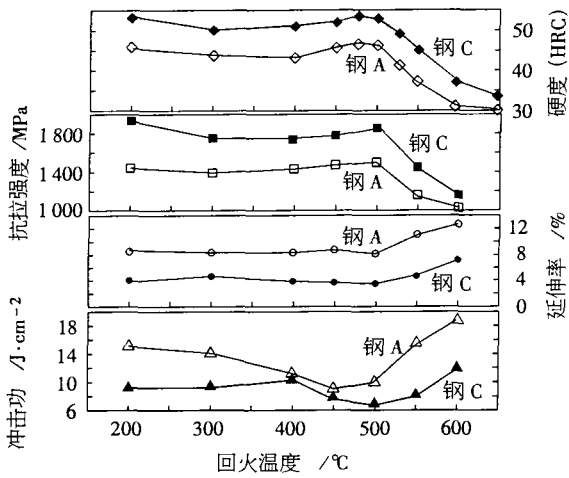


图 4 Cr17Mo 型钢回火钢 A(0.39% C)和钢 C(0.53% C)力学性能

Fig. 4 Mechanical properties of tempering Cr17Mo type steel A(0.39% C) and steel C(0.53% C)

象,由于含碳量不同,C钢的回火硬度明显高于A钢,两种钢的回火硬化趋势基本一致,峰值温度都在475℃左右,在这个温度下钢的硬度很高,A钢的回火硬度(HRC)最高达到46.5,C钢的硬度最高达53.4。而此时却出现较大的回火脆性,A钢和C钢的冲击吸收功分别为10 J和7 J;这一现象同样在钢的拉伸性能中得到证实,在500℃回火后,A钢的抗拉强度最高达到1503 MPa,C钢的抗拉强度达1870 MPa,而这时的塑性指标也达到了最低点。由此可见,两种试验钢材在500℃左右温度范围都存在很大脆性,这种脆性倾向随钢中含碳量的提高而敏感性增大。

### 2.3 碳含量对耐蚀性能的影响

耐蚀试验的试样尺寸(mm)为70×40×6,表面加工至 $\text{Ra}0.8$ ,然后经1040℃,保温30 min油冷,280℃回火保温2 h,空冷。由表2可见,试验材料在弱酸和氧化性酸中(醋酸和硝酸)均表现出良好的耐蚀性能,经50%高浓度硝酸浸泡120 h,15%醋酸浸泡48 h后,试样表面光亮如初,质量也没有变化,只是由于酸的氧化性使试样表面的氧化膜加厚,出现增重现象。但是在盐酸介质浸泡中两种钢材均出现一定的点腐蚀和均匀腐蚀现象,试样表面失去金属光泽,出现腐蚀坑。并随着盐酸浓度的增加,点蚀坑数量增加,腐蚀失重量增加。两种钢材在低浓度盐酸(1%)溶液中,腐蚀性差异不大,均腐蚀失重3 g左右。随着盐酸浓度由1%升至5%,C钢的腐蚀率明显高于A钢。

表 2 Cr17Mo 型钢 A(0.39% C)和钢 C(0.53% C)浸泡实验结果

Table 2 Immersion test results for Cr17Mo type steel A (0.39% C) and steel C (0.53% C)

腐蚀介质	溶液浓度/ %	实验温度/ ℃	实验时间/ h	腐蚀失重/g	
				A 钢	C 钢
HNO <sub>3</sub>	10	50	120	-0.001	-0.003
	50	50	120	-0.636	0.629
醋酸	15	室温	48	-0.002	-0.003
HCl	1	室温	48	3.710	3.878
	5	室温	48	13.442	21.641

注:腐蚀失重为试样失重的平均值。

在腐蚀形貌上,C钢出现典型的高碳钢常见的边部腐蚀行为。对C钢出现点腐蚀坑的内外材料成分进行能谱分析,发现腐蚀坑外的元素分布为 $[\text{Cr}] = 15.67\%$ , $[\text{Fe}] = 61.11\%$ , $[\text{O}] = 12.21\%$ ,说明坑外试样表面未出现金属铬的富集,试样表面依然存在氧化膜,腐蚀行为是均匀腐蚀。坑内能谱分析 $[\text{Cr}] = 23.92\%$ , $[\text{Fe}] = 72.22\%$ , $[\text{O}] = 1.68\%$ ,说明试样已出现金属铬的富集,坑内产生缺氧现象,使得试样表面钝化速度低于腐蚀速度,坑内发生局部腐蚀。

### 3 结论

(1) 碳含量对Cr17Mo型耐蚀塑料模具钢的组织 and 力学性能影响很大。碳含量从0.39%提高到0.53%,钢的HRC硬度值可提高8,抗拉强度可提高300~400 MPa,完全可以满足塑料模具对钢材硬度和强度的需求。

(2) 两种试验钢材在弱酸和氧化性酸中(15%的醋酸和10%、50%硝酸)及低浓度1%的盐酸介质中均具有良好的耐蚀性能,可以满足塑料模具对材料耐蚀性能的要求。

(3) 试验钢材在500℃左右存在明显的回火脆性,这种脆性倾向随着钢中含碳量的提高而敏感性增大。

### 参考文献

- 1 陆世英,张延凯,康熙范,等. 不锈钢. 北京:原子能出版社,1995:9
- 2 布赖恩,皮克林,刘嘉禾,等. 钢的组织与性能(材料科学与技术丛书:第7卷). 北京:科学出版社,1999:6
- 3 上海市机械制造工艺研究所. 金相分析技术. 上海:科学技术文献出版社,1987:7

刘建华(1953-),女,高级工程师,清华大学毕业,模具材料研究。

收稿日期:2006-01-16