

淬回火工艺对马氏体不锈钢 3Cr17Mo 组织和力学性能的影响

赵 亮¹ 马党参² 刘建华² 陈再枝² 雍岐龙² 戴永年¹

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

摘 要 试验研究了 960 ~ 1 140 °C 淬火、200 ~ 650 °C 回火工艺对成分(%)为 0.39C, 16.73Cr, 1.07Mo, 0.25V, 0.09Cu 的塑料模具用马氏体不锈钢 3Cr17Mo 组织和力学性能的影响。结果表明, 3Cr17Mo 钢的淬火组织为板条马氏体 + 铁素体 + (Fe, Cr)₂₃C₆ 碳化物; 经 1 000 ~ 1 060 °C 淬火、260 ~ 300 °C 或 550 ~ 600 °C 回火后, 3Cr17Mo 钢具有良好的综合力学性能。

关键词 塑料模具钢 马氏体不锈钢 3Cr17Mo 淬回火热处理 组织 性能

Effect of Quenching-Tempering Process on Structure and Mechanical Properties of Martensite Stainless Steel 3Cr17Mo

Zhao liang¹, Ma Dangshen², Liu Jianhua², Chen Zaizhi², Yong Qilong² and Dai Yongnian¹

(1 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2 Institute for Structural Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The effect of process of quenching at 960 ~ 1 140 °C and tempering at 200 ~ 650 °C on martensite stainless steel 3Cr17Mo - 0.39C, 16.73Cr, 1.07Mo, 0.25V, 0.09Cu for plastics mould has been tested and studied. The results showed that the structure of quenched steel 3Cr17Mo was lath martensite + ferrite + (Fe, Cr)₂₃C₆ carbide and with quenching at 1 000 ~ 1 060 °C then tempering at 260 ~ 300 °C or 550 ~ 600 °C the steel had excellent comprehensive mechanical properties.

Material Index Plastic Mould Steels, Martensite Stainless Steel 3Cr17Mo, Quenching-Tempering Heat Treatment, Structure, Properties

近年来,塑料模具行业发展迅速,要求成型模具不但具有高的强韧性,而且还应具有一定的耐腐蚀性能,尤其是在生产聚氯乙烯、氟塑料、阻燃性 ABS 等为原料的塑料制品时,塑料在熔融状态下会分解出氯化氢、氟化氢和二氧化硫等气体,对模具型腔有腐蚀作用,因此模具成型件应选用耐蚀塑料模具钢^[1]。Cr17 型马氏体不锈钢 3Cr17Mo 具有优良的强韧性和较高的耐蚀性而获得广泛的应用。

1 试验材料

试验用 3Cr17Mo 钢生产工艺为:30 t 电弧炉 + 30 t VHD 炉外精炼 → 电渣重熔钢锭(480 mm × 480 mm),钢锭经缓冷后退火 → 850 轧机轧制开

坯(钢坯退火) → 精轧机轧制成 245 mm × 75 mm 的扁钢材 → 钢材退火,其化学成分见表 1。该钢退火组织为粒状珠光体,硬度为 191HB。

2 试验结果及分析讨论

2.1 淬火温度对 3Cr17Mo 钢组织和性能的影响

选取 960 ~ 1 140 °C 之间的 10 个淬火温度进行试验,试样尺寸(mm)为:15 × 15 × 10。试验采用箱式电炉加热,升温到淬火温度后将试样入炉,烧透后保温 15 min,油冷,得到试验钢 3Cr17Mo 不同淬火温度与硬度及晶粒度变化曲线(图 1),其中奥氏体晶界采用 5% 铬酸电解腐蚀。

由图 1 可知,3Cr17Mo 在淬火温度 ≤ 1 040 °C 时,晶粒较细,晶粒度可稳定在 10.5 级(ASTM)。当淬火温度超过 1 060 °C 时,晶粒随淬火温度提高而明显粗化,在 1 140 °C 达到 8 级(ASTM)。另一方面淬火硬度随着淬火温度的提高而逐渐提高,在 1 100 °C 左右达到峰值。3Cr17Mo 钢淬火组织为马氏体 + 铁素体 + 碳化物(图 2a)。在光学显

表 1 试验钢 3Cr17Mo 的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test steel 3Cr17Mo /%

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Mo	W	V	Cu
0.39	0.48	0.72	16.73	0.70	0.004	0.021	1.07	0.01	0.25	0.09

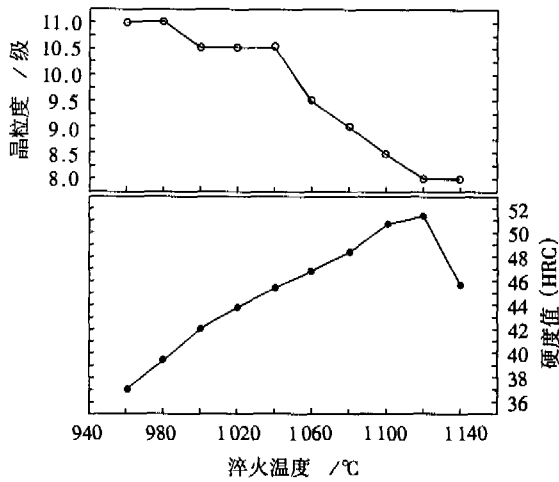


图 1 淬火温度对试验钢 3Cr17Mo 晶粒尺寸和硬度的影响

Fig.1 Effect of quenching temperature on grain size and hardness of test steel 3Cr17Mo

显微镜下,铁素体呈多边形白亮块,碳化物呈颗粒状,由于试验钢材的合金元素含量较高,不易腐蚀,淬火马氏体属隐晶状态,通过 H-800 透射电子显微镜下可清晰观察到马氏体呈板条状(图 2b),并且局部有马氏体孪晶(图 2c),而由电子衍射花样可证实,析出的碳化物为 $(Fe, Cr)_{23}C_6$ 型碳化物(图 3)。

比较 3Cr17Mo 的淬火金相组织可以看出,当淬火温度 ≤ 1020 °C 时,大量的碳化物未完全溶于基体中,而当淬火温度超过 1060 °C 时,晶粒开始长大。综合考虑淬火温度对其晶粒尺寸和硬度的影响,试验钢材 3Cr17Mo 的推荐淬火温度为 1000 ~ 1040 °C。

2.2 回火温度对 3Cr17Mo 组织和性能的影响

马氏体不锈钢低温回火时得到回火马氏体组

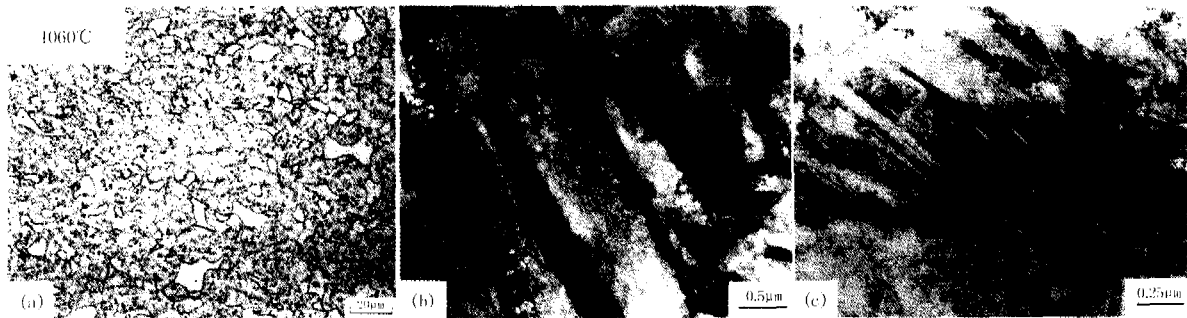


图 2 试验钢 3Cr17Mo 的淬火组织(a),TEM 淬火态板条马氏体(b)和马氏体孪晶(c),

Fig.2 Quenched Structure (a), TEM lath martensite (b) and twin martensite (c) in quenched test steel 3Cr17Mo

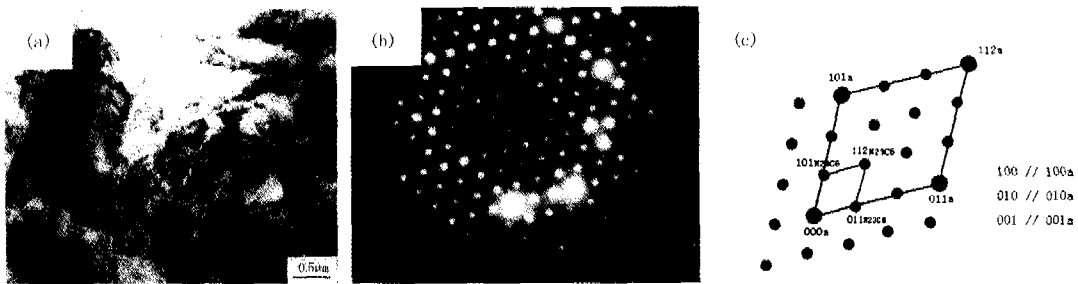


图 3 试验钢 3Cr17Mo 的 $(Fe, Cr)_{23}C_6$ 型碳化物:TEM 形貌(a);衍射斑点(b);标定(c)

Fig.3 Carbide $(Fe, Cr)_{23}C_6$ in test steel 3Cr17Mo: (a) TEM morphology; (b) diffraction spot; (c) spotting

织,而高温回火后得到回火索氏体组织。但由于其抗回火稳定性较高,因而回火索氏体仍保留明显的马氏体位向。而回火时析出碳化物类型的变化将明显影响钢的性能。

根据淬火试验结果,选取淬火加热温度为

1040 °C,保温 15 min,油淬,然后分别在 200 °C、300 °C 回火一次,保温 1.5 h、空冷;在 400, 450, 500, 550, 600, 650 °C 回火两次,每次保温 1.5 h。3Cr17Mo 钢回火温度对力学性能的影响见图 4。

从图4可见:(1)200 ~ 400 °C 回火后试验钢

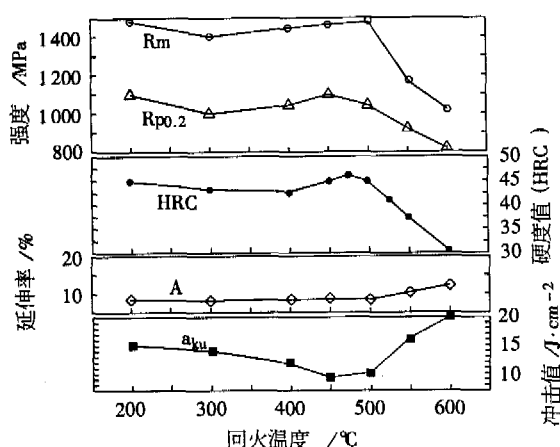


图 4 回火试验钢 3Cr17Mo 的力学性能曲线
Fig. 4 Mechanical properties of tempered test steel 3Cr17Mo

材强度高, 韧性、塑性也较好, 其中 200 ~ 300 °C 回火时, 强韧性指标配合很好; (2) 400 ~ 500 °C 回火时, 产生二次硬化现象, 强度提高, 塑性、韧性明显下降, 并且在 450 °C 左右韧性降至最低, 出现“中温回火脆性”现象; (3) 当回火温度超过 500 °C 时, 其强度、硬度急剧下降, 而此时的塑性和韧性迅速上升。

利用光学显微镜扫描电镜分别对 1 040 °C 淬火、不同温度回火的 3Cr17Mo 钢进行金相组织分析(图 5)和对一次、二次碳化物析出的电镜组织分析发现: (1) 3Cr17Mo 钢 200 ~ 400 °C 回火后的组织为回火马氏体 + 铁素体 + 碳化物。淬火马氏体因碳化物析出, 使晶格正方度减小, 变为回火马

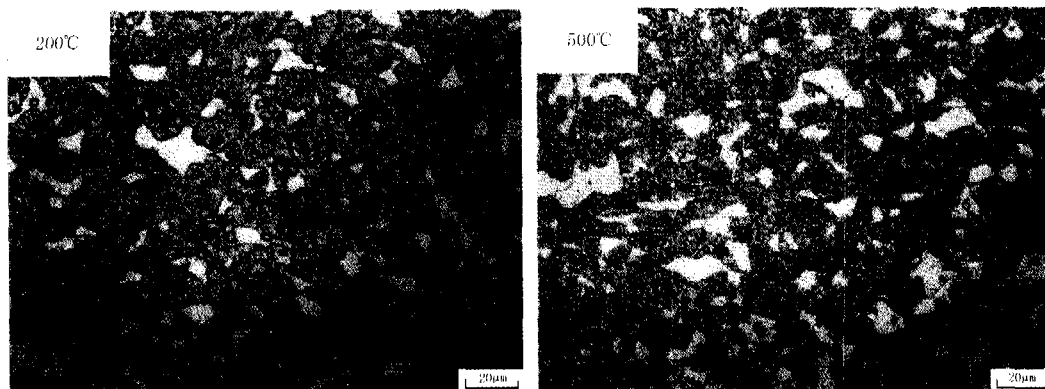


图 5 试验钢 3Cr17Mo 200 °C 和 500 °C 回火组织
Fig. 5 Structure of tempered tested steel 3Cr17Mo at 200 °C and 500 °C

氏体。板条马氏体内残留着一定量的一次碳化物, 受合金元素扩散的限制, 析出富铬的渗碳体型 $M_3C^{[2]}$ 碳化物, 但由于这时回火温度较低, 析出的特殊碳化物不多, 大量的铬仍保持在固溶体中, 使钢保持高硬度的同时, 仍具有较高的耐腐蚀性。(2) 在 400 ~ 500 °C 时, 铬逐渐置换 M_3C 中的铁而增加浓度, 并由 M_3C 变为 $M_7C_3^{[2]}$ 型碳化物, 此时中温回火的温度不足以使基体中富铬区的铬向贫铬区扩散, 贫铬区的存在使钢的耐腐蚀性显著降低。(3) 在超过 500 °C 高温回火温度范围内, 基体组织转变为回火索氏体组织, 强度、塑性及冲击韧性得到最佳的配合, 二次碳化物析出显著增多且聚集长大。

综合考虑 3Cr17Mo 钢的回火力学性能及模具对材料使用性能的需求, 推荐钢的回火温度为 260 ~ 300 °C。若对该钢硬度和强度要求不高, 可

采用较高温度回火。

3 结论

耐蚀塑料模具钢 3Cr17Mo 具有优良的综合力学性能。3Cr17Mo 钢的最佳热处理工艺为: 1 000 ~ 1 040 °C 淬火, 260 ~ 300 °C 回火或 550 ~ 600 °C 回火。

参考文献

- 1 陈再枝, 蓝得年. 模具钢手册. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 3
- 2 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

赵 亮(1979-), 男, 昆明理工大学研究生, 从事工模具钢研究。

收稿日期: 2005-11-08