

热处理对马氏体不锈钢 5Cr15MoV 冷轧退火板组织和性能的影响

秦 斌

(宝山钢铁股份有限公司技术中心, 上海 200431)

摘 要 研究了 950 ~ 1 200 °C 正火处理对 5Cr15MoV 钢(% : 0.50C, 14.16Cr, 0.66Mo, 0.12V, 0.39Ni) 2 mm 冷轧退火板的力学性能和 5% NaCl 35 °C 盐雾耐腐蚀性能的影响。结果表明, 当 950 ~ 1 150 °C 正火处理时随温度升高, 钢中碳化物减少, 硬度升高; 1 200 °C 正火处理时, 钢的基体中存在一定量残留奥氏体, 硬度下降; 正火温度超过 1 100 °C 时, 钢的耐蚀性降低, 容易发生晶间腐蚀。在 1 135 °C 正火, 可取得较高的硬度和良好的耐蚀性。

关键词 马氏体不锈钢 5Cr15MoV 正火处理 硬度 耐蚀性

Effect of Heat Treatment on Structure and Properties of Annealed Cold Rolled Sheet of Martensitic Stainless Steel 5Cr15MoV

Qin Bin

(Technology Centre, Baoshan Iron and Steel Co Ltd, Shanghai 200431)

Abstract The effect of normalizing treatment at 950 ~ 1 200 °C on mechanical property and 5% NaCl salt spray corrosion resistance at 35 °C of 2 mm annealed cold rolled sheet of steel 5Cr15MoV (% : 0.50C, 14.16Cr, 0.66Mo, 0.12V, 0.39Ni) has been studied. Results show that as normalized at 950 ~ 1 150 °C with increasing temperature the carbides in steel reduces, while the hardness of steel increases; as normalized at 1 200 °C there is definite amount of residual austenite in matrix of steel led to a decrease of hardness of steel; and as normalized temperature is higher than 1 100 °C the corrosion resistance of steel decreases easily to occur grain-boundary attack. Therefore it is available to get higher hardness and better corrosion resistance by normalizing at 1 135 °C.

Material Index Martensitic Stainless Steel 5Cr15MoV, Normalizing Treatment, Hardness, Corrosion Resistance

马氏体不锈钢通常都被用来制造具有良好机械性能和具有一定耐腐蚀性能的零部件。通常中碳马氏体不锈钢奥氏体化时都应使钢中的未溶碳化物全部溶入基体中, 固溶热处理的目的就是溶解碳化物得到奥氏体, 在随后的冷却过程中奥氏体转变为马氏体组织, 这一过程经常会引起碳化物析出^[1]。碳化物在正火组织中起很大的作用, 它会影响材料的机械和耐蚀性能^[2,3]。对于高碳的马氏体不锈钢, 高的碳含量使基体中固溶碳含量增加并使马氏体开始转变点下降, 从而引起残余奥氏体量的增加^[4,5]。残余奥氏体对于材料的耐磨性、疲劳性能、韧性和耐腐蚀性能都具有重要的影响^[6]。

马氏体不锈钢 5Cr15MoV 是一种重要的工具钢, 其碳含量约为 0.5%, 经常被用来制造各类高档刀具, 尽管用量很大, 但对于这种材料的研究却很少见报道。本文中研究了热处理温度对于 5Cr15MoV 钢的机械性能和耐腐蚀性能的影响, 并用扫描电镜、X 射线衍射分析材料组织的演变。

1 试验材料与方法

研究用的材料是厚度为 2 mm 的 5Cr15MoV 冷

表 1 5Cr15MoV 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel 5Cr15MoV / %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V
0.50	0.59	0.51	0.001	0.030	14.16	0.39	0.66	0.12

轧退火板, 试样的化学成分和金相组织分别见表 1 和图 1。从图 1 中可以看到, 材料的组织为铁素体 + 颗粒状碳化物。

试样首先被切割成尺寸 (mm) 为 20 × 40 × 2 的试样, 然后分别在 950、1 000、1 050、1 100、1 150、1 200 °C 保温 4 min 后空冷。

试样热处理后的机械性能和耐腐蚀性能是通过洛氏硬度和盐雾试验评价的, 在试验以前试样用水砂纸打磨至 600[#]。盐雾试验是在 35 °C 下 5% NaCl 溶液中测试 24 h 后观察试样表面的腐蚀情况。

金相观察用的试样先用 FeCl₃ + 5HCl + 10H₂O 溶液侵蚀, 而后通过扫描电镜观察。钢中奥氏体通过 X 射线 (铜靶) 分析得到。碳化物的析出规律是通过 Thermo-Calc 软件计算得到的。

2 试验结果与讨论

2.1 加热温度对材料硬度的影响

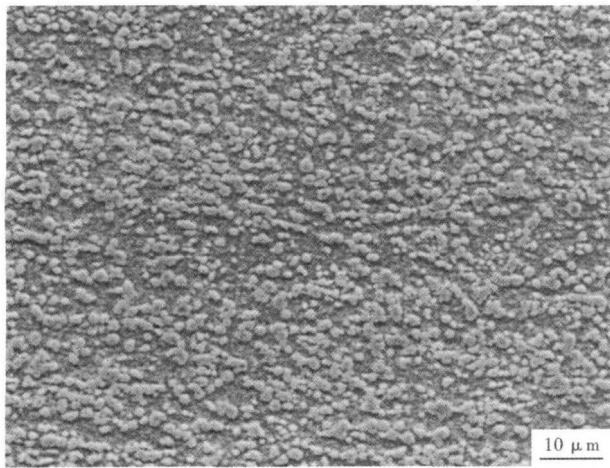


图1 5Cr15MoV 钢冷轧板退火组织形貌

Fig.1 Structure morphology of annealed cold rolled sheet of steel 5Cr15MoV

材料的硬度随着正火温度的变化见图2。从正火曲线可以清楚地看到:(1)材料的硬度由950℃正火时的45HRC逐渐升高至1150℃正火时的60HRC;(2)当正火温度高于1150℃时,材料硬度快速下降,在1200℃正火时降低至44HRC。

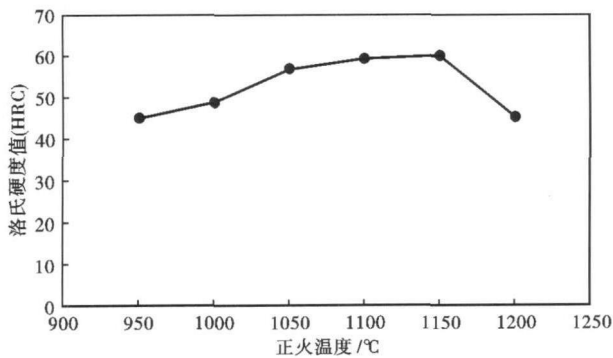


图2 正火温度对5Cr15MoV 钢洛氏硬度值的影响

Fig.2 Effect of normalizing temperature on Rockwell hardness of steel 5Cr15MoV

用 Thermo-Calc 计算得到的 5Cr15MoV 钢热力学平衡相图见图3,计算显示当材料加热至950℃时钢中仍然存在较多的碳化物,这些碳化物的数量随着正火温度的提高而下降。很明显,在正火温度低于1150℃时,材料硬度的增加与碳化物的固溶量有紧密的联系,固溶在基体中的碳越多,钢的硬度值越高。

图4是试样热处理后X射线相分析的结果。1050℃正火的试样中的残余奥氏体的衍射峰不是很明显,但是,当正火温度为1200℃时残余奥氏体的衍射峰出现了。当试样加热至高温时,材料中奥

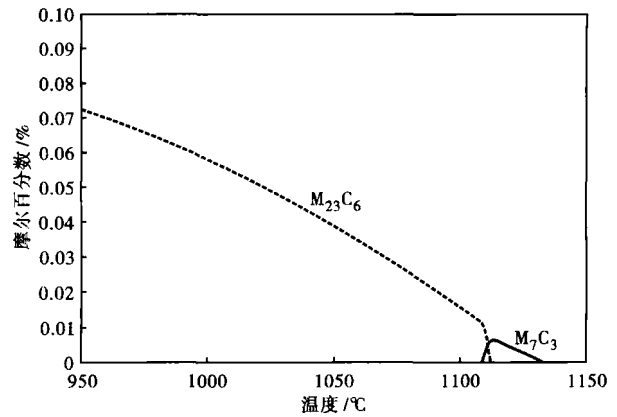


图3 计算的5Cr15MoV 钢平衡相图

Fig.3 Calculated equilibrium phase diagram of steel 5Cr15MoV

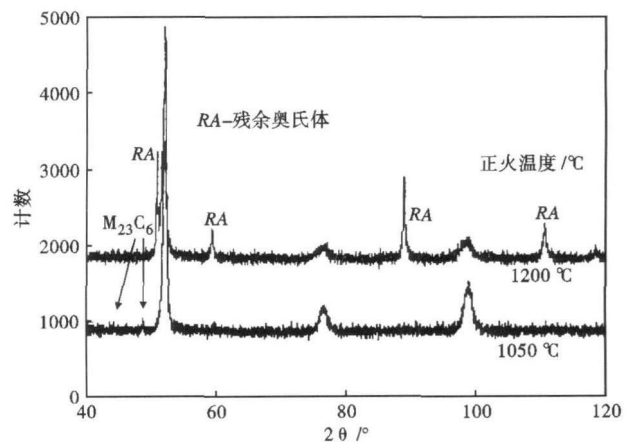


图4 正火后5Cr15MoV 钢X射线衍射分析结果

Fig.4 X-ray diffraction analysis results of normalized steel 5Cr15MoV

氏体的稳定性增加导致残余奥氏体的比例增加,而残余奥氏体的增加必然会引起硬度的下降。

2.2 加热温度对于耐蚀性的影响

图5是经过950~1200℃正火后的试样的盐雾试验结果。经过950~1100℃热处理的试样表面的腐蚀坑在尺寸上小于、在数量上少于在1150℃和1200℃热处理的试样。也就是说,在1150~1200℃热处理的试样的耐蚀性比在950~1150℃热处理的试样差。

图6是用扫描电镜观察到的经过1050、1200℃正火的试样的金相组织。从图6(a)中可以看到,1050℃正火后的试样中有许多粗大的碳化物颗粒嵌在基体中。这些粗大的碳化物形成于退火阶段,在低温正火时没有完全固溶(图3),因而不会在碳化物周围形成贫铬区而使材料的耐蚀性下降。与之不同,1200℃正火后的试样中很少看到这类粗大的碳化物颗粒,但是却发生了严重的晶间腐蚀(图6b)。

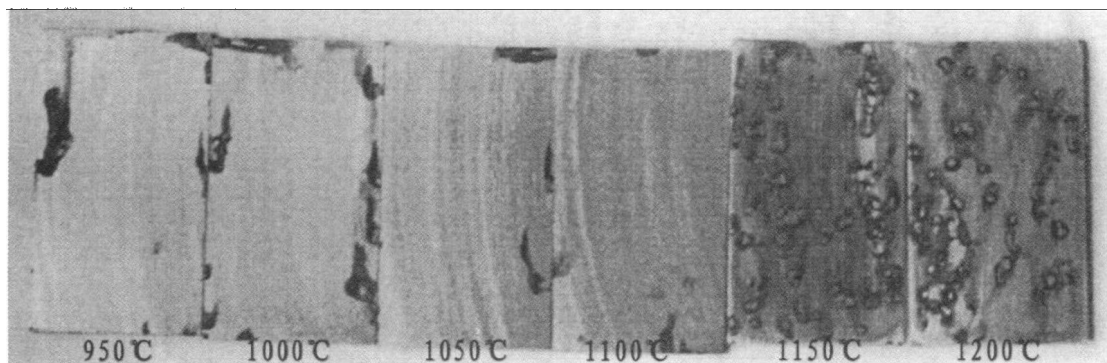


图 5 正火温度对 5Cr15MoV 钢盐雾试验耐蚀性的影响

Fig. 5 Effect of normalizing temperature on salt spray test corrosion resistance of steel 5Cr15MoV

高温时碳在基体中的固溶量较大,在低温时固溶量较小,从高温冷却的过程中碳化物不可避免地会在 5Cr15MoV 钢中析出,从图 3 可以看到, M_7C_3 的析出温度约为 1 135 °C,并在 1 110 ~ 1 115 °C 转变成 $M_{23}C_6$,这一过程会形成很多的贫铬区。碳化物的形成和转变主要是通过扩散形成的,而晶界是原子扩散的快速通道,因此贫铬区首先在晶界形成,使晶界特别容易被腐蚀。加热温度越高,原子的扩散速度也更快,这就更加剧了高温正火试样耐蚀性能的恶化。

为了取得较高硬度和良好的耐腐蚀性能,必须特别规定 5Cr15MoV 钢的正火温度。试验表明,较高的正火温度可以促进碳化物溶入基体,从而提高材料的硬度,但是当正火温度高于 1 150 °C 时,硬度又会因残余奥氏体的存在而下降。试验还证明正火温度高于 1 135 °C 时,5Cr15MoV 钢晶界容易受腐蚀。因此,1 135 °C 是试验钢合适的正火温度。

3 结论

(1) 当正火温度从 950 °C 上升至 1 150 °C 时,材料的硬度随着固溶碳含量的增加而提高,但是正火温度超过 1 150 °C 时,材料的硬度因残余奥氏体的存在而降低。

(2) 盐雾试验表明,950 ~ 1 100 °C 正火时材料比 1 150 ~ 1 200 °C 正火时具有更优的耐腐蚀性能。当材料从较高的正火温度冷却下来时,碳化物的形成和转变会形成许多贫铬区,这使材料的耐蚀性下降。

(3) 1 135 °C 正火可取得较高的硬度和良好的耐蚀性能。

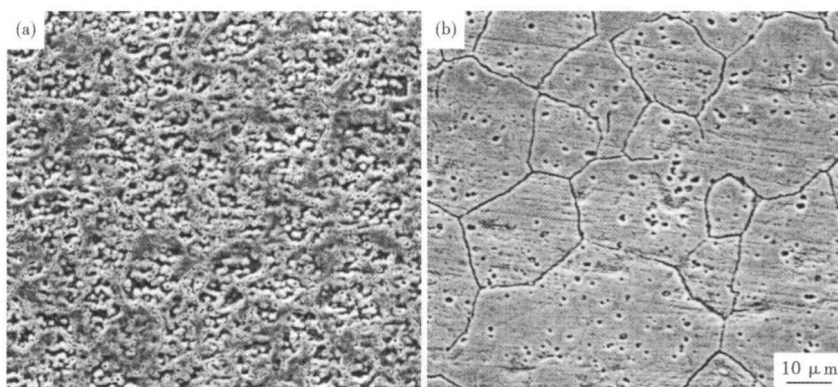


图 6 正火温度对 5Cr15MoV 钢组织的影响:(a)1 050 °C;(b)1 200 °C

Fig. 6 Effect of normalizing temperature on structure of steel 5Cr15MoV: (a) 1 050 °C; (b) 1 200 °C

参考文献

- 1 Choi Y S, Kim J G, Park Y S, et al. Austenitizing Treatment Influence on the Electrochemical Corrosion Behavior of 0.3C-14Cr-3Mo Martensitic Stainless Steel. *Materials Letters*, 2007, 61: 244
- 2 Tsuchiyama T, Ono Y, Takaki S. Microstructure Control for Toughening a High Carbon Martensitic Stainless Steel. *ISIJ International*, 2000, 40(Supplement): S184
- 3 Garcia de Andres C, Caruana G, Alvarez L F. Control of $M_{23}C_6$ Carbides in 0.45C-13Cr Martensitic Stainless Steel by Means of Three Representative Heat Treatment Parameters. *Materials Science and Engineering A*, 1998, 241: 211
- 4 Park Y, Park Y S. The Effect of Heat-treatment Parameters on Corrosion Resistance and Phase Transformations of 14Cr-3Mo Martensitic Stainless Steel. *Materials Science and Engineering A*, 2007, 449-451: 1131
- 5 Yang J R, Yu T H, Wang C H. Martensitic Transformations in AISI 440C Stainless Steel. *Materials Science and Engineering A*, 2006, 438-440: 276
- 6 Neri M A, Colas R. Analysis of a Martensitic Stainless Steel That Failed Due to the Presence of Coarse Carbides. *Materials Characterization*, 2001, 47: 283

秦 斌(1978-),男,博士,高级工程师,2006 年重庆大学毕业,不锈钢研究与开发。

收稿日期:2010-11-23