

淬-回火温度对高强度钢 30NCD16 组织和性能的影响

刘湘江^{1,2} 骆 鸿²

(1 上海大学材料科学与工程学院, 上海 200072; 2 宝钢股份特殊钢分公司, 上海 200940)

摘要 试验了电渣重熔高强度钢 30NCD16 (0.31C, 1.41Cr, 4.01Ni, 0.52Mo) 840 ~ 930 °C 淬火, 350 ~ 625 °C 回火时的组织和力学性能。结果表明, 高强度钢 30NCD16 最佳热处理工艺为 840 ~ 870 °C 淬火 + 560 °C 回火, 可获得细致均匀的索氏体组织, 钢的抗拉强度 $\geq 1\ 200$ MPa, 冲击功 $A_{KU5} \geq 50$ J。

关键词 高强度钢 30NCD16 淬-回火温度 组织 力学性能

Effect of Quenching-Tempering Temperature on Structure and Properties of High Strength Steel 30NCD16

Liu Xiangjiang^{1,2} and Luo Hong²

(1 School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072;
2 Special Steel Co, Baosteel Co Ltd, Shanghai 200940)

Abstract Structure and mechanical properties of ESR high strength steel 30NCD16 (0.31C, 1.41Cr, 4.01Ni, 0.52Mo) quenched at 840 ~ 930 °C and tempered at 350 ~ 625 °C have been tested. Results showed that optimum heat treatment process for high strength steel 30NCD16 was quenching at 840 ~ 870 °C + tempering at 560 °C to get fine and homogeneous sorbite structure, tensile strength of steel $\geq 1\ 200$ MPa and impact energy $A_{KU5} \geq 50$ J.

Material Index High Strength Steel 30NCD16, Quenching-Tempering Temperature, Structure, Mechanical Properties

30NCD16 是一种高强度合金钢, 具有较强的抗热性, 经中高温回火后具有较高的强度和韧性。通过对不同的热处理工艺下 30NCD16 钢的性能和组织变化规律的研究, 探索其最佳的淬回火温度, 最终获得良好的综合力学性能。

1 试验材料

30NCD16 钢的化学成分 (%) 为: 0.31C、0.27Si、0.43Mn、1.41Cr、4.01Ni、0.52Mo、0.005S、0.008P。试制工艺流程为: 30 t EF-40 t LFV → 浇 $\Phi 360$ mm 电极圆锭 → 2 t 电渣重熔 [mm: $\Phi(460 \sim 510) \times 1\ 700$] → $\Phi 510$ mm 电渣锭 → 2 000 ~ 4 000 t 锻压机开 170 mm 方坯 → 轧制 $\Phi 90$ mm 棒材 → 退火。

2 试验结果与讨论分析

2.1 淬火温度对组织和性能的影响

30NCD16 是法国牌号, 它的国产化材料牌号为 30CrNi4MoA。亚共析钢一般选择 Ac_3 以上 40 ~ 70 °C 作为淬火温度, 30CrNi3Mo 的 Ac_3 为 770 °C, 考虑到 30NCD16 含有相对较高的 Ni 会使 C 曲线的鼻尖下降^[1,2], 试验中将淬火温度初步定为 840 ~ 930 °C。Cr-Ni-Mo 钢一般在高温回火时 (500 ~ 600 °C) 具有良好的塑性和冲击韧性等综合机械性能, 回火

后可获得回火索氏体组织^[1]。

表 1 列出了 30NCD16 钢 560 °C 回火温度下不同淬火温度的力学性能。由表 1 可以看出, 随淬火温度的升高, 抗拉强度和屈服强度都呈下降趋势, 而塑性和冲击功变化不明显。

表 1 淬火温度对 560 °C 回火的 30NCD16 钢力学性能的影响
Table 1 Effect of quenching temperature on mechanical properties of steel 30NCD16 tempered at 560 °C

淬火温度/ °C	Rm/ MPa	Rel/ MPa	A/ %	Z/ %	A_{KU5} / J
840	1 300	1 190	17.0	60.0	55
870	1 280	1 180	17.5	60.5	52
900	1 240	1 180	17.5	61.0	53
930	1 220	1 120	18.0	62.0	54

淬火温度提高, 钢的晶粒明显增大: 840 °C、870 °C 淬火时晶粒度均为 9.5 级, 930 °C 淬火时晶粒度为 7.0 ~ 9.0 级 (边缘区域有 6.5 级)。

图 1a 为 30NCD16 钢在 840 °C 淬火的微观组织, 即板条状的马氏体组织。图 1b 为 30NCD16 钢经 840 °C 淬火再经 560 °C 回火后的微观组织, 即细致、均匀的回火索氏体组织。淬火油冷到室温不可能获得 100% 的马氏体, 淬火后残余奥氏体含量与

M_s 点温度和淬火后温度 T_q 有关^[3], 由下式计算:

$$V_\gamma = \exp[-1.1 \times 10^{-2}(M_s - T_q)]$$

式中: V_γ - 残余奥氏体含量; M_s - 马氏体相变温度; T_q - 淬火后温度。热膨胀法测定, 试验用 30NCD16 钢的 M_s 点为 320 °C。由上式计算得, 淬火冷却到 25 °C 时残余奥氏体的含量仅为 4% (如图 1)。

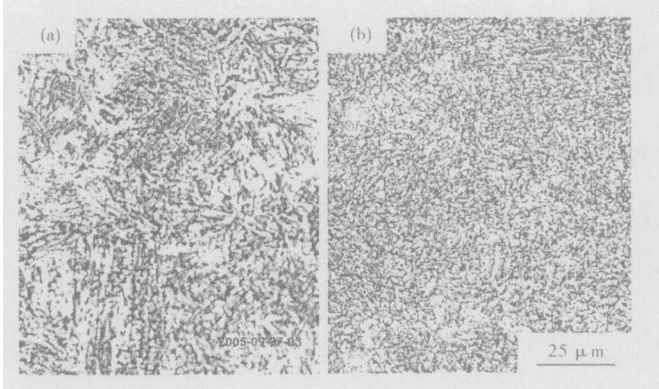


图 1 30NCD16 钢的组织: (a) 840 °C 淬火; (b) 840 °C 淬火 + 560 °C 回火

Fig.1 Structure of steel 30NCD16: (a) quenched at 840 °C; (b) quenched at 840 °C + tempered at 560 °C

2.2 回火温度对组织和性能的影响

图 2 为 840 ~ 870 °C 淬火后回火温度对力学性能的影响, 由图可见, ≤ 450 °C 回火时, 随回火温度的降低, 抗拉和屈服强度上升明显。但随回火温度的降低, 冲击功下降明显, A_{KUS} 一般 ≤ 30 J, 而延伸率和断面收缩率下降不明显。 ≥ 580 °C 回火时, 随回火温度的升高断面收缩率、延伸率和冲击功都有

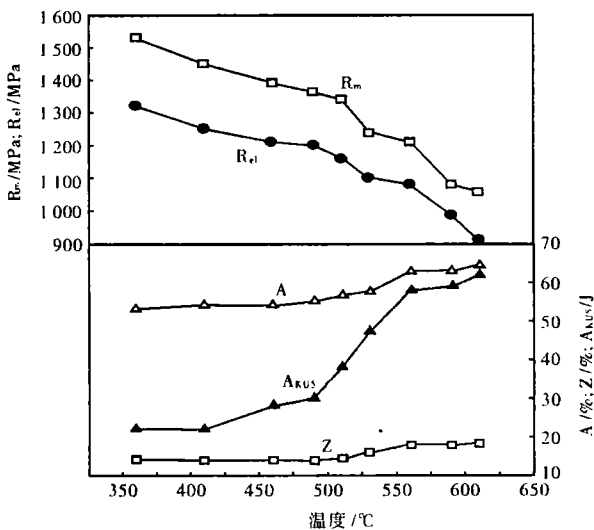


图 2 回火温度对 30NCD16 钢力学性能的影响

Fig.2 Effect of tempering temperature on mechanical properties of steel 30NCD16

明显上升, 但抗拉和屈服强度下降幅度大。在 450 ~ 580 °C 之间回火时, 抗拉和屈服强度下降幅度较小, 但断面收缩率、延伸率和冲击功都有明显上升。

从图 3 所示冲击试样的断口典型形貌可以看出, 当回火温度为 560 °C 时, 断口形貌为典型的韧窝断裂方式, 断口纤维区清晰可见弥散细小的碳化物质点。由于弥散细小的碳化物质点的析出, 当裂纹在晶粒内扩展时, 难于严格地沿一定的晶体学平面扩展, 影响裂纹的形成与扩展。

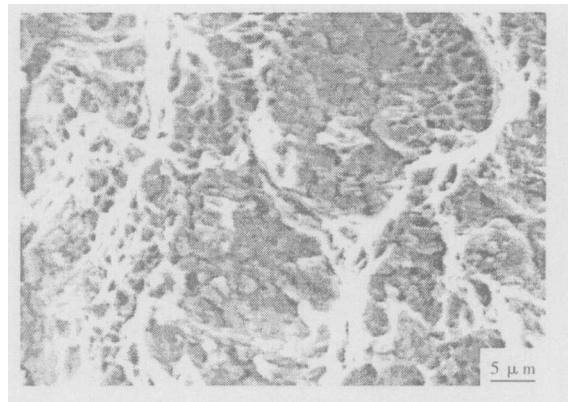


图 3 30NCD16 钢 560 °C 回火冲击断口典型形貌, SEM
Fig.3 Typical Morphology of impact fracture of steel 30NCD16 tempered at 560 °C, SEM

3 结论

随淬火温度的升高, 30NCD16 钢的强度下降, 塑性和韧性变化不明显, 最佳淬火温度范围为 840 ~ 870 °C。随回火温度的升高, 30NCD16 钢的强度下降, 塑性变化不大, 冲击功提高。为获得良好的强韧性, 其最佳回火温度范围为 540 ~ 570 °C。调质后钢的组织为回火索氏体, 其抗拉强度 ≥ 1200 MPa, 冲击功 $A_{KUS} \geq 50$ J。

参考文献

- 1 Shanmugam P, Pathak S D. Some Studies on the Impact Behavior of Banded Microalloyed Steel. Engineering Fracture Mechanics, 1996, 53 (6): 990
- 2 本溪钢铁公司第一炼钢厂, 清华大学机械系金属材料教研组. 钢的过冷奥氏体转变曲线. 1978: 361
- 3 Krauss G. Deformation and Fracture in Martensitic Carbon Steel Tempered at Low Temperatures. Metall Mater. Trans. A, 2001, 32A (4): 861

刘湘江 (1976-), 男, 工程师, 2000 年华东冶金学院钢铁冶金专业毕业, 从事合金钢的新产品开发和研究。

收稿日期: 2006-10-09