

固溶温度对马氏体时效钢 00Ni14Cr3Mo3Ti 组织和力学性能的影响

杨维宇^{1,2} 丁雅莉² 杨卓越² 李保成¹

(1 中北大学材料科学与工程学院,太原 030051; 2 中国钢研科技集团公司结构材料研究所,北京 100081)

摘要 研究了马氏体时效钢 00Ni14Cr3Mo3Ti (% : 0.002C, 14.06Ni, 3.19Cr, 3.06Mo, 1.32Ti) 750 ~ 1 050 °C 固溶处理的组织和力学性能。结果表明, ≤900 °C 固溶处理, 该钢奥氏体晶粒和强度无明显变化, 固溶温度超过 900 °C 时钢的奥氏体晶粒显著增大, 钢的强度呈下降趋势。当固溶温度由 750 °C 增加至 900 °C 时, 随固溶处理温度提高, 钢中 Fe₂Mo 相量降低, 810 °C 时完全溶解, 钢的冲击功由 32 J 提高至 61 J, 当固溶温度由 900 °C 增至 1 050 °C, 随奥氏体晶粒增大, 钢的冲击功由 61 J 降至 26 J。

关键词 马氏体时效钢 00Ni14Cr3Mo3Ti 固溶处理 奥氏体晶粒 力学性能

Effect of Solution Temperature on Structure and Mechanical Properties of Maraging Steel 00Ni14Cr3Mo3Ti

Yang Weiyu^{1,2}, Ding Yali², Yang Zhuoyue² and Li Baocheng¹

(1 College of Materials and Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051;

2 Institute for Structures Materials, China Iron & Steel Research Institute Group, Beijing 100081)

Abstract Structure and mechanical properties of maraging steel 00Ni14Cr3Mo3Ti (% : 0.002C, 14.06Ni, 3.19Cr, 3.06Mo, 1.32Ti) with 750 ~ 1 050 °C solution treatment have been studied. Results showed that with ≤900 °C solution treatment the austenite grain size and strength of steel wasn't obvious change, as solution temperature was more than 900 °C, with increasing temperature the austenite grain size increased appreciably and the strength of steel presented declining trend. As solution temperature increased from 750 °C to 900 °C, with decreasing Fe₂Mo phase amount in steel and completely dissolving at 810 °C, the impact energy of the steel increased from 32 J to 61 J, and as solution temperature increased from 900 °C to 1 050 °C, with austenite grain coarsening the impact energy decreased from 61 J to 26 J.

Material Index Maraging Steel 00Ni14Cr3Mo3Ti, Solution Treatment, Austenite Grain, Mechanical Properties

马氏体时效钢固溶处理时应使未溶相尽可能少, 同时又不使奥氏体晶粒过于粗大^[1,2], 本文研究了固溶温度对 00Ni14Cr3Mo3Ti 马氏体时效钢组织和力学性能的影响规律。

1 试验材料和制备

采用真空感应炉冶炼实验用钢, 钢锭质量 25 kg, 化学成分为 (%) : 0.002C、0.064Si、0.032Mn、0.002S、0.002P、14.06Ni、3.19Cr、3.06Mo、1.32Ti、0.16Al。冶炼坯经过 1 200 °C 7 h 均质化处理后再加热至 1 150 °C 进行锻造, 终锻温度 850 °C。根据 GB/T228-2002 和 GB/T229-2007 在锻造坯料上分别切取拉伸和 U 型缺口冲击试样, 试样在 930 °C 1 h 正火后, 分别在 750、800、850、900、950、1 000、1 050 °C 固溶处理 1 h, 空冷, 然后经 510 °C 5 h 时效处理。

2 试验结果和分析

2.1 固溶温度对微观组织的影响

X 射线衍射证明: 在 750 ~ 1 050 °C 固溶处理后微观组织主要为 bcc 马氏体, 残余奥氏体 ≤ 1%, 随后经 510 °C 时效处理仅 750 °C 的试样有明显的逆转

变奥氏体形成 (体积分数为 3.2%), 其余试样时效后总的奥氏体体积分数仍未超过 1%。图 1(a) 为用线性截距法测到的奥氏体晶粒尺寸变化, 可以看出: 900 °C 以下固溶时, 奥氏体晶粒随着温度的上升没有显著的长大, 而 900 °C 以上固溶, 奥氏体晶粒随着温度的上升却显著长大。如 900 °C 固溶后奥氏体平均晶粒直径约 22 μm, 但 1 050 °C 固溶后奥氏体平均晶粒直径约 70 μm。

2.2 固溶温度对力学性能的影响

图 1(b) 为不同温度固溶后经 510 °C 5 h 时效后的拉伸力学性能曲线, 可以看出 900 °C 以下固溶、随后经 510 °C 时效处理, 钢的强度 (尤其是抗拉强度) 变化较小, 但固溶温度高于 900 °C, 强度具有下降的趋势, 这可归结为 900 °C 以上固溶, 奥氏体晶粒的快速长大。钢的伸长率和断面收缩率在 900 °C 固溶后出现峰值。图 1(c) 为不同温度固溶后经过 510 °C 5 h 时效处理的 U 型缺口冲击韧性, 同样在 900 °C 固溶出现冲击韧性峰值。从对应的断口形貌上可以看出 900 °C 以下固溶尽管均存在解理或准解理

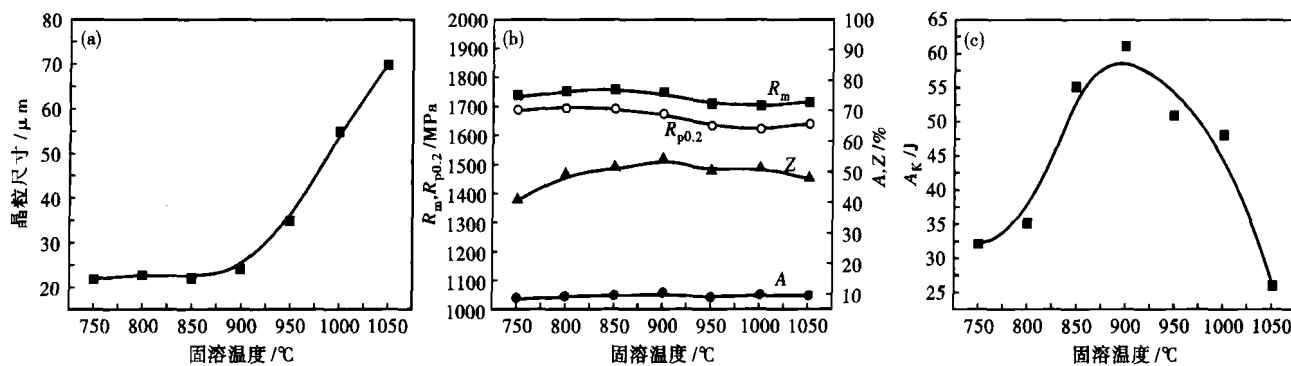


图 1 固溶温度对马氏体时效钢 00Ni14Cr3Mo3Ti 奥氏体晶粒尺寸(a)、拉伸性能(b)和冲击韧性(c)的影响

Fig.1 Effect of solution temperature on austenite grain size (a), tensile properties (b) and impact toughness (c) of maraging steel 00Ni14Cr3Mo3Ti

断裂,但 750 °C 固溶试样韧性断裂区域韧窝极细、塑性扩展不充分(图 2a),这应与存在未溶相有关。用 Thermo-Calc 热力学软件计算,结果表明,虽然在 750 ~ 900 °C 未溶的 TiCN 的含量几乎不变,但另一种未溶相 Fe₂Mo 则随固溶温度的提高明显减少,如 750 °C 固溶未溶相 Fe₂Mo 质量分数为 2.4%,而 800 °C 固溶未溶相 Fe₂Mo 质量分数下降到 0.37%,810 °C 以上固溶不再有未溶相 Fe₂Mo。由此可以确定 900 °C 以下固溶奥氏体晶粒尺寸变化不显著,但未溶相

Fe₂Mo 质量分数却有较大的变化。时效后强度较小的变化显然与奥氏体晶粒尺寸相对稳定有关,但韧性主要受未溶相 Fe₂Mo 质量分数的影响。

用 Thermo-Calc 热力学软件计算,大约在 1 020 °C TiCN 完全溶解,也不存在未溶的 Fe₂Mo 相,由于 900 °C 以上随固溶温度提高使奥氏体晶粒显著长大,在这前提下,强度具有下降倾向是必然的^[3,4]。900 °C 固溶钢的冲击断口上韧窝尺寸明显增加(图 2b)和较高的冲击韧性是一致的。1 050 °C 固溶的试样解理或准

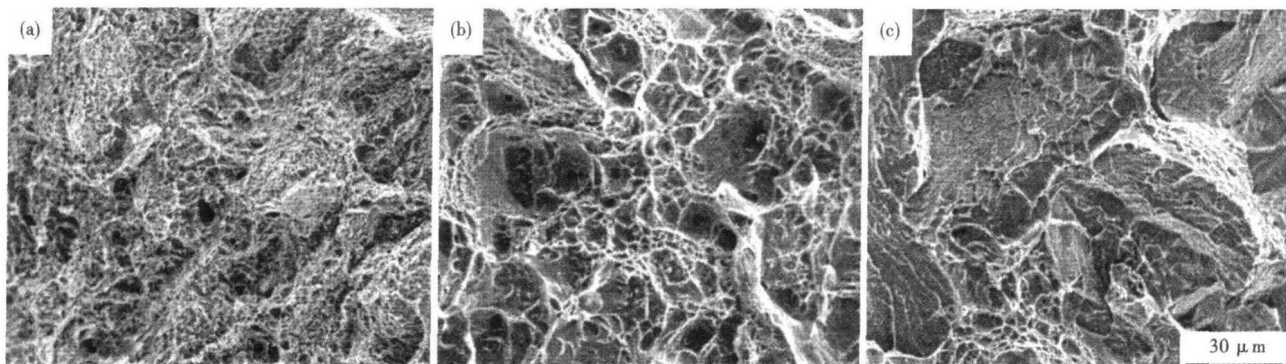


图 2 马氏体时效钢 00Ni14Cr3Mo3Ti 冲击断口形貌,固溶温度:(a) 750 °C; (b) 900 °C; (c) 1050 °C

Fig.2 Morphology of impact fracture of maraging steel 00Ni14Cr3Mo3Ti, solution temperature: (a) 750 °C; (b) 900 °C; (c) 1050 °C

解理成为主要断裂机制(图 2c),韧性下降。

3 结论

00Ni14Cr3Mo3Ti 马氏体时效钢在 750 ~ 900 °C 固溶处理奥氏体晶粒细小,热力学计算表明存在未溶的 Fe₂Mo 相,因此直到 900 °C 固溶韧性达到最高值;固溶温度超过 900 °C 奥氏体晶粒快速长大,强度和韧性均降低。

参考文献

1 He Y, Yang K, Qu W S, et al. Effect of Solution Treatment Temperature on Grain Growth and Mechanical Properties of High Strength

18% Ni Cobalt Free Maraging Steel. *Materials Science and Technology*, 2003, 19(1):117
 2 Sinha P P, Tharian T, Sivakumar D, et al. Effect of Solution Treatment Temperature on Microstructure, Tensile and Fracture Properties of Cobalt-free 18 Ni Maraging Steel. *Steel Research*, 1994, 65(11):494
 3 刘宗昌,任慧平,宋义全.金属固态相变教程.北京:冶金工业出版社,2003
 4 Sinha P P, Sreekumar K, Natarajan A, et al. Grain Growth in 18Ni 1800 MPa Maraging Steel. *Journal of Materials Science*, 1991, 26: 4155

杨维宇(1982-),男,硕士研究生,主要从事无钴马氏体时效钢强韧化机理的研究。

收稿日期:2008-11-17