

· 组织和性能 ·

热轧钢板桩 SY390BZ 的低温冲击韧性

任安超^{1,2} 桂美文² 周桂峰^{1,2} 袁泽喜¹ 吉玉² 朱敏² 周剑华²

(1 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081; 2 武汉钢铁(集团)公司研究院, 武汉 430080)

摘要 试验用热轧钢板桩 SY390BZ 材料(% : 0.23C、0.44Si、0.91Mn、0.06V、0.010P、0.002S)用 55 kg 真空感应炉冶炼并铸成 $\Phi 170$ mm 圆锭, 轧成 12 mm 板, 平轧最后一道次的压下量为 20%, 终轧温度 880 ~ 900 °C, 空冷。测定了该钢的韧性转变温度, 采用 Quanta 400 型扫描电镜和 Olympus GX71 型光学显微镜观察 20 ~ -60 °C 低温冲击断口和组织形貌。结果表明, 室温时断口为大而多的等轴韧窝, 具有较高的韧性(130 J); -40 °C 时, 断口形貌韧窝比较小, 而且非常浅, 其韧性降低至 30 J; 用能量法计算得出其脆性转变温度为 -30 °C, 钢中出现了带状组织以及 Al_2O_3 夹杂导致冲击韧性较低。

关键词 热轧钢板桩 SY390BZ 低温冲击韧性 带状组织

Low Temperature Impact Toughness of Hot Rolled Steel Sheet Pile SY390BZ

Ren Anchao^{1,2}, Gui Meiwen², Zhou Guifeng^{1,2}, Yuan Zexi¹, Ji Yu², Zhu Min² and Zhou Jianhua²

(1 School of Material Science and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;

2 Research and Development Institute, Wuhan Iron and Steel (Group) Corp, Wuhan 430080)

Abstract Material for test of hot rolled steel sheet pile SY390BZ (% : 0.23C, 0.44Si, 0.91Mn, 0.06V, 0.010P, 0.002S) is melted by a 55 kg vacuum induction furnace, cast to $\Phi 170$ mm round ingot, rolled to 12 mm sheet with 20% reduction in last flat pass and finishing rolling at 880 ~ 900 °C, air cooling. The tough-brittle transition temperature of test steel is measured and the morphology of low temperature impact fracture and structure of steel at 20 °C to -60 °C is observed by using scanning electro-microscope Quanta 400 and optical microscope Olympus GX71. Results show that there are a lot of large equiaxial dimples in fracture at ambient temperature and the steel has higher impact energy (130 J), while there are smaller shallow dimples in fracture at -40 °C and the impact energy of steel decreases to 30 J. The tough-brittle transition temperature of the steel calculated by using energy calculation method is -30 °C. The banded structure with Al_2O_3 inclusion occurs in steel led to lower impact toughness.

Material Index Hot rolled Steel Sheet Pile SY390BZ, Low Temperature Impact Toughness, Banded Structure

钢板桩于 20 世纪初在欧洲开始生产, 1931 年日本开始生产。钢板桩有冷弯薄壁轻型和热轧型, 由于前者具有较大的加工、使用局限性, 因而, 热轧钢板桩成为钢板桩产品发展的主流, 有较大的发展前景。热轧 U 型钢板桩一是作为永久性使用, 另一种为临时性重复使用, 对于重复使用钢板桩存在反复被锤打及撞击现象, 所以在工作过程中承受冲击载荷, 低温环境下比较突出的问题就是低温脆断。因此在严寒环境中对于钢板桩的低温冲击性能有一定的要求, 况且低温冲击性能也是结构设计时的重要依据, 金属材料在低温的力学行为对其服役及安全性均具有重要影响^[1,2]。

针对某些钢厂生产的热轧钢板桩在 -40 °C 时冲击功 A_{KV} 值偏低且波动较大。通过对冲击试样的宏观断口、微观断口、组织形态与夹杂物分布及形貌进行分析, 研究了 SY390BZ 钢板桩 -40 °C 冲击性能偏低的原因, 为提高低温冲击韧性确定了方向。

1 试样制备及试验方法

试验材料采用 55 kg 真空感应炉冶炼、并浇铸成 50 kg 钢锭, 铸锭尺寸为 $\Phi 170$ mm \times 350 mm, 其化学成分(%)为 0.23C、0.44Si、0.91Mn、0.06V、0.010P、0.002S 铸锭。在均热炉中加热至 1 250 °C, 均热 2 h 后开始轧制, 开轧温度为 1 100 °C, 平轧两道次后立轧, 再改为平轧, 平轧最后一道次的压下量为 20%, 终轧时的板厚为 12 mm, 终轧温度为 880 ~ 900 °C, 最后空冷到室温。

热轧后的板材沿轧向用线切割加工成 55 mm \times 10 mm \times 10 mm 冲击试样, V 型缺口, 采用 JB30A 冲击试验机, 冲击能量为 150 Nm, 冷却介质为液氮加酒精, 用低温温度计(± 80 °C)测介质温度, 在 -60、-40、-20、0 °C 和 20 °C 共 5 个温度点进行冲击试验, 每个温度点做 3 个试样, 冲击值取其平均值。冲击断口用 3% ~ 4% 硝酸酒精侵蚀后采用 Quanta 400 型扫描电镜观察断口形貌, 然后将冲击试样沿纵向切

开,试样经打磨、抛光,并用3%的硝酸酒精溶液腐蚀,用 Olympus GX71 型光学显微镜进行组织观察。

2 试验结果与分析

2.1 韧脆转变温度测定

根据不同温度所测定的吸收功,绘制韧脆转变温度曲线,从图 1 可以看出,冲击吸收功随温度变化曲线出现 2 个平台,上平台为高冲击吸收功部分,当温度降至约 -20 ℃ 时,随温度的降低,急剧下降,当温度降至 -40 ℃ 以下时, A_{KV} 变化较小,进入低冲击吸收功的下平台。根据标准 GB/T229-2009 规定韧脆转变温度为冲击吸收功上下平台区间 50% 所对应的温度,根据图 1 可得热轧钢板桩的韧脆转变温

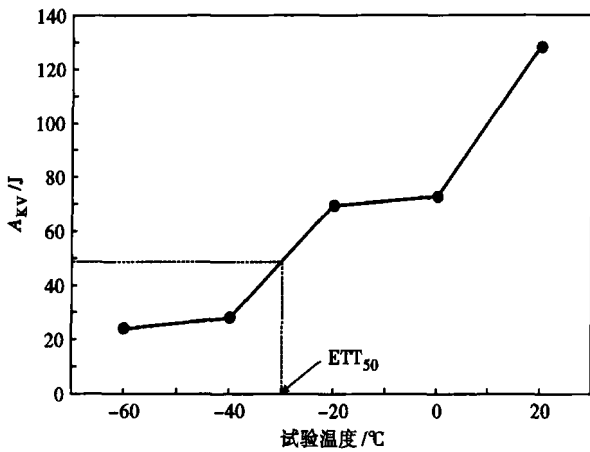


图 1 SY390BZ 钢的韧脆转变温度曲线

Fig. 1 Curve of tough-brittle transition temperature of steel SY390BZ

度(ETT₅₀)约为 -30 ℃。

2.2 宏观断口分析

冲击试样断口在通常情况下除了切口底部的断裂源外,一般由纤维区、放射区和剪切唇 3 部分组成,断口上这 3 个区域所占比例大小,标志着材料韧性的优劣。在试验条件一致的情况下,纤维区和剪切唇越大则材料的韧性越好^[3,4]。

系列温度冲击典型宏观断口形貌见图 2(a₁, b₁, c₁, d₁, e₁),从室温降至 -60 ℃ 的过程中,冲击试样由韧性断裂向脆性断裂过渡,纤维区和剪切唇面积逐渐缩小,放射区逐渐扩大,花纹越来越明显。晶状区面积逐渐扩大直至整个断面, -40 ℃ 以下脆断倾向严重。

2.3 微观断口分析

系列温度冲击微观断口形貌见图 2(a₂, b₂, c₂, d₂, e₂),从图 2(a₂) 可以看出,室温冲击微观断口在整个断面上均呈等轴韧窝状,大而深的韧窝分布比较均匀并且数量也较多,在大韧窝里面还有小韧窝,显示出钢材具有较高的韧性;图 2(c₂) -20 ℃ 时断口形貌韧窝有一定的方向性为撕裂韧窝,各韧窝大小适中,韧窝较浅,形状比较规则,分布较均匀,其韧性比图 2(a₂) 低;图 2(d₂) 温度降至 -40 ℃ 时,断口形貌韧窝比较小,而且非常浅,其韧性与图 2(c₂) 相比已明显降低;图 2(e₂) 温度降至 -60 ℃ 时,断口形貌基本没有韧窝,断口区域皆呈河流条纹的脆断特征。微观断口形貌显示,随着试验温度的降低,断裂

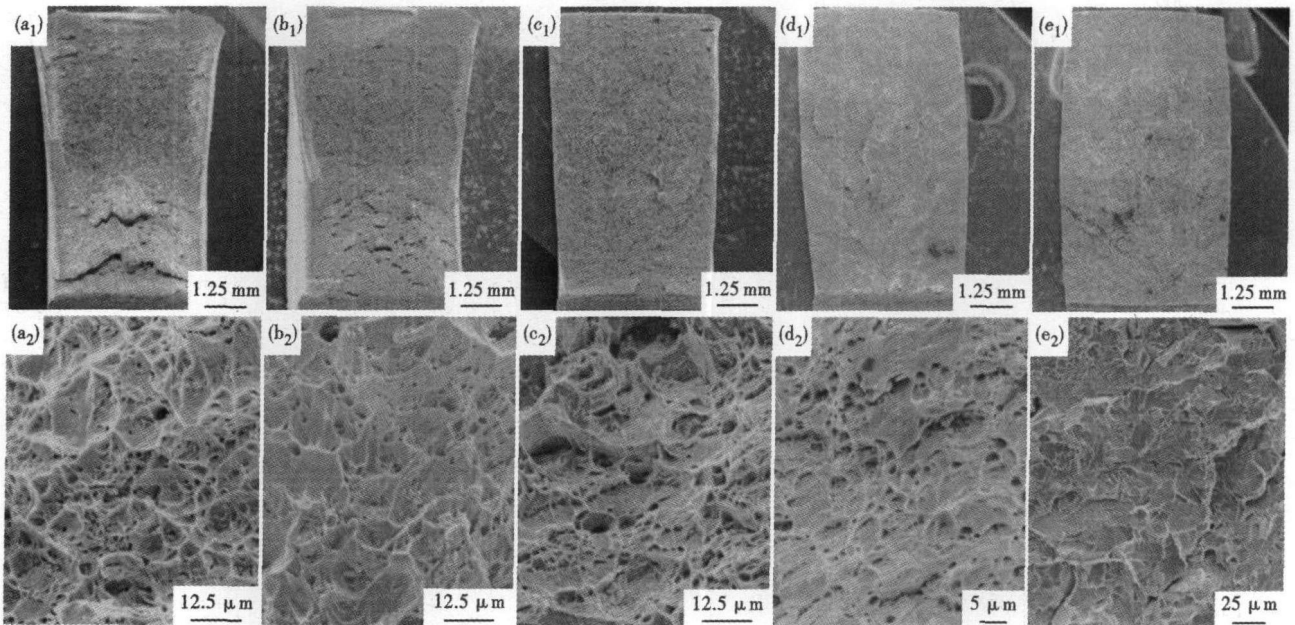


图 2 热轧钢板桩 SY390BZ 冲击断口形貌:(a₁, a₂) 室温;(b₁, b₂) 0 ℃;(c₁, c₂) -20 ℃;(d₁, d₂) -40 ℃;(e₁, e₂) -60 ℃

Fig. 2 Morphology of impact fracture of hot rolled steel sheet pile SY390BZ at ambient (a₁, a₂), 0 ℃ (b₁, b₂), -20 ℃ (c₁, c₂), -40 ℃ (d₁, d₂) and -60 ℃ (e₁, e₂)

机制逐渐由韧窝断裂转变为解理断裂。

2.4 脆性转变温度偏高的原因分析

从试样的金相组织图 3(a) 观察发现, 热轧钢板桩的组织为铁素体 + 少量珠光体, 且带状组织较严重。带状组织对钢的性能也有较大的影响, 由于带状组织相邻带的显微组织不同, 其性能也不相同, 在外力作用下性能低的条带易暴露出来, 而且强弱条带之间会产生应力集中, 故而造成总体力学性能降低, 并具有明显的各向异性。产生带状的原因主要是因为终轧温度过高所致。钢在凝固过程中产生的枝晶偏析经热轧后, 仍有部分保留下来被延伸成条

带状组织称为一次带状; 在一次带状的基础上, 通过奥氏体先共析铁素体的转变最终形成铁素体珠光体交替相间的组织为二次带状。钢中的二次带状组织形成于最后一次热加工工序的冷却过程, 即先共析铁素体通过固态相变(扩散型)从过饱和的奥氏体中脱溶出来并使碳及合金元素重新分布^[5]。为减轻钢中带状组织, 在生产中: (1) 连铸过程要加强电磁搅拌和降低过热度、拉速, 减轻原始带状的偏析程度; (2) 钢坯加热要均匀, 加大轧制过程冷却速度, 降低终轧温度, 减少先共析铁素体的析出^[6]。

由图 3(b) 可见, 对断口分析进一步放大观察,

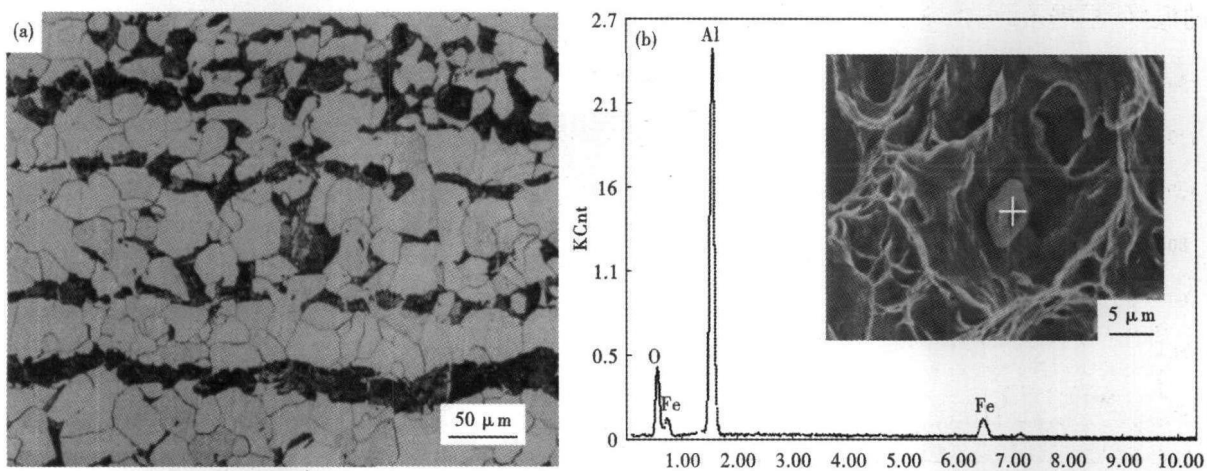


图 3 热轧钢板桩 SY390BZ 组织(a) 和夹杂物分析(b)

Fig. 3 Morphology of structure of hot rolled steel pile SY390BZ (a) and analysis of inclusion (b)

在韧窝底部发现存在夹杂, 通过能谱分析夹杂主要为 Al_2O_3 夹杂, 为脆性夹杂, 在钢材内部作为亚微观缺陷, 在受力的情况下, 由 Al_2O_3 夹杂萌生微裂纹, 微裂纹在应力的作用下进入基体造成解理, 直至断裂。钢中脆性夹杂物对钢的韧性危害较大, 破坏了钢基体的均匀连续性, 造成应力集中, 促进了裂纹产生, 并在一定条件下加速了裂纹的扩展, 从而加速材料的破坏过程, 造成低温冲击功急剧降低。

3 结论

(1) 采用能量法计算, 得出热轧钢板桩的韧脆转变温度为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

(2) 试验钢冲击韧性较低的原因是由于钢中存在严重的带状组织及含有大量的 Al_2O_3 夹杂。

(3) 适当加大轧后冷却速度, 以避免钢中带状组织产生; 优化脱氧方式, 以减少大量的 Al_2O_3 夹杂。

武汉市科技计划项目资助(20061002085)

参考文献

- 1 Dong Chang-xing, Cheng Mei, Shi Zhen-ming. Analysis on Reasons of Low Impact Toughness at $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ of Q345E Big Size H-beam. Shandong Metallurgy, 2004, 31(2): 40
- 2 Menzemer C C, Srivatsan T S, Al-Hajri M, et al. The Impact Toughness and Tensile Properties of 8320 Steel. Mater Science Engineering, 2000, A289: 198
- 3 Zhang Xin-ping, Shi Yao-wu. How to Obtain a Complete Dependence Curve of Impact Toughness or Fracture Toughness vs Temperature on Nuclear Pressure Vessel Steel by using Only One Charpy-size Specimen. International Journal of Pressure Vessel Piping, 1996, 32(8): 7
- 4 Yin Yong-jing, Zhu Yue-feng, Zhao Xu-ping. Impact Property of 20SiMn2MoV Steel at Low Temperature. Steel and Iron, 2006, 31(4): 12
- 5 Liu Bo, Sun Guang-ping, Yang Zhan-kui. Study on Impact Section of Low-Temperature Steel. Automobile Technology & Material, 2004, 29(6): 105
- 6 Guo Zhen, Wen Yong-hong, Hu Shui-ping. Microstructure and Mechanical Properties of Acicular Ferrite Steel. Materials Science and Engineering, 2006, A422: 159

任安超(1976-), 男, 工程师, 博士生, 高性能型钢研究。

收稿日期: 2010-06-21