

文章编号:1000-582X(2006)09-0068-03

20CrMo 连铸坯高温力学性能和热物理性能分析*

潘艳华, 陈登福, 董凌燕, 温良英

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400030)

摘要:采用 Greeble-1500D 热模拟机和 STA449 综合热分析仪研究 20CrMo 钢连铸坯的高温延塑性和部分热物性能, 获得可靠的基础数据; 找出了该钢种的最佳塑性区温度范围, 在 600~775℃ 范围内, 断面收缩率仅为 30%, 而在 800~1250℃ 范围内断面收缩率均为 80% 以上, 在 1350℃ 至熔点塑性又迅速下降到 60% 以下; 首次绘制了该钢种的热容随温度变化的关系曲线, 分段回归出了比热 c_p 随温度变化的计算公式; 绘制出热膨胀系数随温度变化的关系曲线; 并对研究结果在连铸生产中的应用进行了分析讨论。

关键词:连铸坯; 高温塑性; 热分析; 断面收缩率; 应变速率

中图分类号: TG113.2

文献标识码: A

合金钢在连铸上的生产是连铸发展方向之一, 要想在连铸机上生产出合格的无缺陷的合金钢, 而合金钢的高温力学性能是影响凝固坯壳产生裂纹与否的重要因素, 只有充分认识钢的高温力学性能和热物理性参数, 才能从理论上更准确模拟二冷制度, 才能在设备及工艺操作上采用正确方法, 以减少和防止裂纹的产生, 提高铸坯的合格率^[1-3]。笔者研究了 20CrMo 高温力学性能和部分热物性参数, 可为该钢种连铸生产和二冷模型计算提供理论依据和更可靠的参数。

热试样, 加热至所测试温度以上 50℃ 时, 停止加热, 降温(模拟连铸坯的冷却过程, 按每分钟降低 100℃)至所测温度值, 在所测试的温度下保温 5 min, 待试样内外温度均匀后, 进行热拉伸实验。热拉伸时, 试样的应变率按实际方坯连铸的应变率设定, 本实验中, 选用的应变率为 2×10^{-2} 。

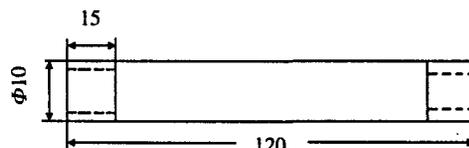


图1 测试试样的示意图 (mm)

1 实验部分

1.1 高温力学性能测试方案

20CrMo 试样取自重庆特钢厂, 对连铸坯纵向取样, 所用试样的化学成分见表 1。

表1 试样钢的化学成分 %

成分	C	Mn	Si	Mo	Cr	P	S
含量	0.21	0.62	0.30	0.20	0.93	0.021	0.022

试样机加工尺寸为 $\phi 10 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times M15$ 的圆棒试样, 如图 1。

测试温度范围: 600~1300℃。

测试步骤^[4]: 将试样夹持在真空度为 1.33×10^{-5} MPa 的真空室的夹头上, 通过大电流以 10℃/s 的速度加

1.2 热物性能的测试方案

本实验测试 20CrMo 钢连铸坯的差热 (DSC)、比热 c_p 、热膨胀性能参数 α 。DSC、 c_p 的测试试样根据实验室的需要取 80 g; 热膨胀性能测试试样加工成如图 2 所示试样。

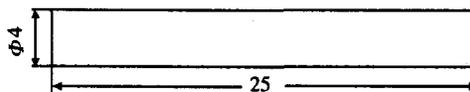


图2 热膨胀性能测试试样的结构示意图 (mm)

热膨胀性能测试步骤^[5]: 将试样放入高温加热炉内升温测试, 升温速率为 10℃/min, 升到 1534℃, 然

* 收稿日期: 2006-04-20

基金项目: 重庆市应用基金资助项目 (6784)

作者简介: 潘艳华 (1975-), 男, 安徽安庆人, 重庆大学硕士, 主要从事钢冶金、连铸和精炼、过程系统仿真与优化的研究。

后以 10 °C/min 速率降温至 115 °C。

比热的测试步骤: 由室温均匀地升至 1 400 °C, 升温速率为 20 °C/min。

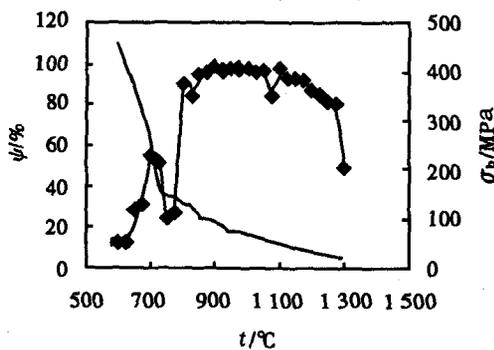
2 结果与分析

2.1 高温塑性的结果与分析

不同温度下的强度极限 σ_b 和断面收缩率 ψ 是表明钢的高温力学性能优劣的 2 个重要指标, 热塑性曲线 ($\psi \sim T$) 及强度曲线 ($\sigma_b \sim T$) 是钢的高温力学性能的特征曲线。按照前述方法和要求, 测得的 20CrMo 钢的高温特征曲线见图 3。

从图 3 中可以看出试验温度明显影响材料的高温力学性能, 20CrMo 的断面收缩率在 600 ~ 775 °C 范围内出现第 1 个低谷, 断面收缩率的值仅为 30%, 在 800 ~ 1 250 °C 范围内保持良好的塑性, 断面收缩率的值均在 80% 以上, 在 1 350 °C 至熔点 T_m 以后塑性又迅速下降 (第 1 脆性区) [6], 根据铃木等人对经过半熔化后冷凝固钢的研究报告, 将断面收缩率 > 60% 定义为高塑性, < 60% 为低塑性 [7], 20CrMo 钢的第 1 脆性区约为熔点至 1 300 °C, 第 3 脆性区约为 600 ~ 775 °C。

从图 3 中也可以看出 20CrMo 抗拉强度随着温度升高而降低, 在 600 ~ 750 °C 温度范围内抗拉强度下降很快, 而在 750 ~ 1 300 °C 下降较为平缓。



◆ 断面收缩率曲线; — 抗拉强度曲线

图 3 20CrMo 钢的热塑性曲线和抗拉强度曲线

2.2 热物性能及热膨胀性能的结果与分析

图 4 中 2 线曲线分别表示 DSC 和 c_p , 从图 4 中可以看出 20CrMo 钢在 785 °C 左右时, 存在一明显晶型转变, 其中 DSC 差热分析说明有急剧的热量变化, 其热容也有较大的升高, DSC 和 c_p 均有较大的峰值出现。而正是在这个温度区间, 钢的脆性极高。所以在控制二冷区表面温度时, 最好将温度控制在 800 °C 以上, 以避免大的晶型转变产生裂纹。

热容测试结果说明, 在 0 ~ 785 °C 内 20CrMo 钢的

比热随着温度的逐渐升高而不断增大, 而在 785 ~ 1 400 °C 内比热随着温度的逐渐升高而不断降低, 从已有资料来看, 一般是将 c_p 回归成一条直线来处理, 而实际所测值与直线相差很远, 说明了回归成直线处理与实际相差较大, 笔者针对所测数据进行了分段回归, 这样回归出的数据就非常接近真实值。回归的公式见表 2。

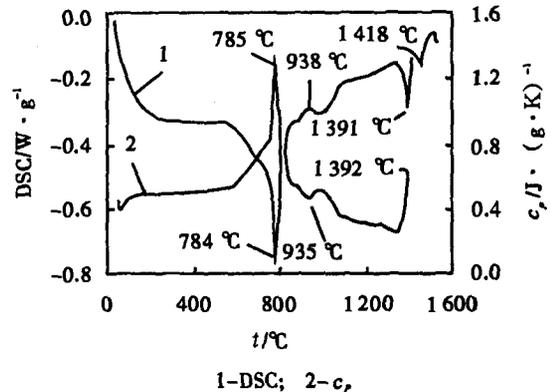


图 4 20CrMo 钢差热和比热测试结果

表 2 比热 c_p 分段回归公式

温度范围/°C	回归公式
45 ~ 70	$c_p = (3 \times 10^{-4} T^2 - 0.031 5T + 1.304 2) \times 1 000 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$
70 ~ 545	$c_p = (-4 \times 10^{-7} T^2 + 0.000 4T + 0.431) \times 1 000 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$
545 ~ 750	$c_p = (3 \times 10^{-6} T^2 - 0.002 5T + 0.969 2) \times 1 000 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$
750 ~ 785	$c_p = (1 \times 10^{-4} T^2 - 0.161 8T + 56.426) \times 1 000 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$
785 ~ 880	$c_p = (1 \times 10^{-4} T^2 - 0.243 1T + 104.89) \times 1 000 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$
880 ~ 985	$c_p = (2 \times 10^{-5} T^2 - 0.044 4T + 21.303) \times 1 000 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$
985 ~ 1 340	$c_p = (3 \times 10^{-6} T^2 - 0.006 7T + 4.563 3) \times 1 000 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$

图 5 中, 上部的曲线是升温时测得的热膨胀 (试样的相对伸长量 dL/L_0) 变化情况, 下部的曲线是降温时测得的热膨胀变化情况。升温曲线有 2 个拐点, 其中 757 °C 左右的点为 A_{c1} 点, 828 °C 左右的点为 A_{c3} 点。降温曲线也有 2 个拐点, 其中 767 °C 左右的点为 A_{r3} 点, 669 °C 左右的点为 A_{r1} 点。

从图 5 中可以看出, 升温过程中相应的相变点的温度较高, 降温过程中相应的相变点的温度较低, 这一差异主要是由于存在升温的速度和降温的速度引起的。如果要使这一差异消失, 其升温的速度和降温的速度必需十分缓慢, 即要基本达到平衡状态来升降温。

从已有的资料来看, 对钢的热膨胀性能的测试得出的热膨胀系数随温度的变化关系基本为一直线, 并且没有标注是升温过程获得的还是降温过程获得的,

升降温的速度也不知道. 要应用这些资料的数据可能存在数据的准确性问题. 因此, 从这一方面来说, 笔者测得的数据具有重要的参考价值.

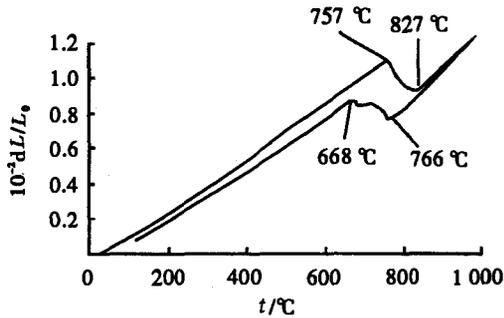


图5 20CrMo 钢的热膨胀与温度的变化关系

根据热膨胀的计算公式和测试的具体数据进行计算, 获得了 20CrMo 钢的热膨胀系数随温度的变化关系, 见图 6.

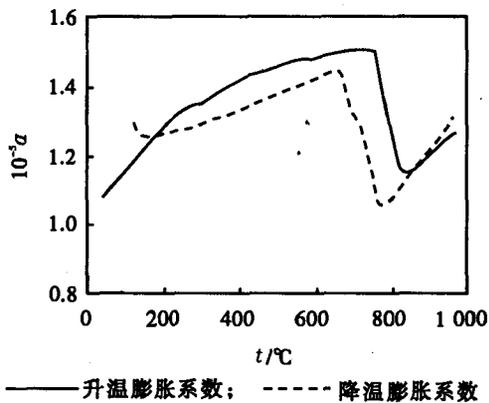


图6 20CrMo 钢的热膨胀系数随温度的变化关系

3 研究结果在连铸生产中的实际应用

1) 连铸结晶器中初生坯壳的凝固冷却和应力应变位于高温脆性区, 利用数值计算, 可以得出结晶器中钢液及坯壳中的温度场、速度场和应力场, 从而分析得出影响铸坯应力的主要因素. 根据测量的高温力学性能, 对铸坯应力的主要影响因素进行调整和控制^[8].

2) 在连铸二次冷却区, 由于间断地喷雾冷却作用, 使铸坯表面温度呈周期性变化, 容易产生一定的热应力, 根据 20CrMo 钢塑性温度范围, 控制铸坯表面温度高于 800 °C, 减少纵裂纹缺陷^[9].

3) 根据钢的高温力学特性研究, 铸坯矫直温度应避开低温脆性区, 该温度范围与钢的化学成分密切相关, 通过对 20CrMo 钢的高温力学性能测试, 可以准确地确定矫直温度范围为 800 ~ 1 100 °C, 为制定二次冷却制度提供了理论依据.

4) 由于钢的比热 c_p 对二次冷却制度的模拟计算精度影响比较大, 文献中对比热采用一条直线回归, 这样计算不够精确, 笔者对比热进行了分段回归, 在连铸二冷模拟计算中采用这些回归公式, 使得计算结果更精确, 二冷仿真更实用.

5) 使用测量的热膨胀系数, 铸坯高温状态下的内部应力研究能取得更精确的结果.

4 结论

1) 测试了 20CrMo 钢的高温力学性能, 获得了 20CrMo 钢的脆性温度范围, 在 600 ~ 775 °C 范围内, 断面收缩率仅为 30%, 而在 800 ~ 1 250 °C 范围内断面收缩率均为 80% 以上, 在 1 350 °C 至熔点塑性又迅速下降到 60% 以下.

2) 测试 20CrMo 钢的部分热物理性能, 绘制了该钢种的热容随温度变化的关系曲线, 分段回归出了比热随温度变化的计算公式; 绘制出热膨胀系数随温度变化的关系曲线.

3) 利用测得的 20CrMo 的高温力学性能和热物理性能, 对连铸生产 20CrMo 操作, 二冷制度的确定、优化及矫直温度提供了理论依据; 利用测得的 20CrMo 钢的热膨胀系数, 可以在连铸坯热应力计算中提供精确基础数据.

参考文献:

- [1] 吴冬梅. 中碳铝硅镇静钢连铸坯的高温延塑性[J]. 北京科技大学学报, 1998, 18(4): 19-20.
- [2] SANTOS C A, SPIM J A, GARICIA A. Mathematical Modeling and Optimization Strategies Applied to the Continuous Casting of Steel[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2003, 16(8): 511-527.
- [3] SPINELLI J E, TOSETTI J P, SANTOS C A. Microstructure and Solidification Thermal Parameters in Thin Strip Continuous Casting of a Stainless Steel[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 150(8): 255-262.
- [4] 郑芳, 宋红梅. Grebble 3800 热模拟试验机在宝钢的典型应用与功能开发[J]. 宝钢技术, 2003, 5: 29-30.
- [5] 张国栋. 材料研究与测试方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.
- [6] 王浦江. 小方坯连铸[M]. 北京: 北京钢铁设计研究总院, 1998.
- [7] SUZUKI H G. Trans[J]. ISIJ, 1984, 24: 54-59.
- [8] 袁伟霞, 董汉雄, 袁桂莲. 中碳钢高温力学性能研究及在连铸生产中的应用[J]. 炼钢, 1999, 15(1): 28-31.
- [9] 张立, 徐国栋, 王新华, 等. 集装箱用钢连铸坯表面纵裂纹的研究[J]. 钢铁, 2002, 37(1): 19-21.

参考文献:

- [1] 杨成. 最高阶元素个数不同的有限群[J]. 数学年刊, 1993, 14A(5): 561-576.
- [2] 刘奉举. 最高阶元素个数为 ~ 8 的有限群[J]. 河北大学学报版(自然科学版), 1996, 16(3): 57-59.
- [3] 姜友谊. 最高阶元素个数小于 ~ 20 的有限群是可解群[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1998, 23(4): 379-384.
- [4] 姜友谊. 最高阶元素个数为 ~ 32 的有限群是可解群[J]. 河北大学学报版(自然科学版), 1999, 19(3): 215-219.
- [5] 韩章家, 陈贵云. 最高阶元素个数为 $2pq$ 的有限群可解[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2004, 29(2): 198-200.
- [6] 何承春. 最高阶元的个数为 $2m$ 的有限群, 其中 $(m, 15) = 1$ [D]. 重庆: 西南大学, 2004.
- [7] 徐明曜. 有限群导引[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [8] BRANDL, SHI WUJIE. Finite Groups Whose Elements Order are Consecutive Integers [J]. J Alg, 1991, 143(2): 388-400.
- [9] SHI WJ. On simple K_4 -groups [J], Chinese Sci. Bull, 1991, 36(7): 1281.
- [10] CONWAY JH, CURTIS RT, NORTON S P, et al. ATLAS of Finite Groups [M]. Oxford: Clarendon Press, 1985.
- [11] HERZOG M. On Finite Simple Groups of Order Divisible by Three Primes Only [J]. J Algebra, 1968, 10: 383-388.

Finite Groups With $52p$ Elements of Maximal Order

YAN Yan-xiong¹, CHEN Gui-yun², HE Li-guan³

(1. Department of Mathematics, Chongqing Education College, Chongqing 400067, China;

2. School of Mathematics and Finance, Southwest Department of Mathematics University, Chongqing 400715, China;

3. Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: The authors discuss the finite groups with $52p$ elements of maximal order, and get a theorem as follows: Suppose G is a finite group with $|M(G)| = 52p$ elements of maximal order, where p is a prime and $p > 5$, then G is solvable.

Key words: finite groups; solvable groups; the order of elements

(编辑 张小强)

(上接第70页)

Mechanical Performance and Thermology Performance of 20CrMo Steel at High Temperature

PAN Yan-hua, CHEN Deng-fu, DONG Ling-yan, WEN Liang-ying

(College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Employing the Gleeble-1500D thermal analogue machine and the STA449 synthesis thermal analyzer, the study on hot ductility and parts of thermology performance of 20CrMo steel has been carried out, many consulted foundation data has been obtained, the optimum ductility temperature arrange has been found, contraction of cross sectional area is only 30% between 600 degree and 775 degree, but contraction of cross sectional area is more than 80% between 800 degree and 1250 degree, contraction of cross sectional area drops to under 60% rapidly between 1350 degree and melting point, a curve is drawn showing the relationshi P between heat capacity and the variation of temperature for the first time, the counting formulas of the heat capacity are regressed by disjunction. A curve is drawn showing the relationshi P between the coefficient of thermal expansion and the variation of temperature, and their application in continuous casting is discussed herein.

Key words: continuous casting billet; brittleness at high temperature; thermal analysis; contraction of cross sectional area; strain rate

(编辑 李胜春)