

矿用圆环链 25MnV 钢凝固和冷却过程的组织性能预测

贺 静, 朱永丽

(重庆工程职业技术学院 机械工程学院, 重庆 400037)

摘 要:利用 JMatPro 软件计算了 25MnV 钢凝固和冷却过程的组织与性能, 得到室温到熔化温度区间的热物理性能参数和部分力学性能的确定值, 并进行了分析。结果表明: 25MnV 钢室温平衡组织为铁素体+渗碳体+M(C,N)+M₇C₃; 在 360~703℃, 存在高温铁素体相; 在 900~1453℃ 存在 MNS; 奥氏体转变温度 687~798℃, 固液相温度区间 1451~1505℃; 在连续冷却过程中当冷速大于 100℃/s 时, 凝固组织中有少量贝氏体和铁素体生成; 当冷速在 100、0.1℃/s 时, 凝固组织主要为铁素体、贝氏体和珠光体。

关键词: 25MnV 钢; 相图; CCT 图; 热物理性能

中图分类号: TG113.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2013)16-0082-03

Microstructure and Properties Prediction of Mining Used Ring Chain 25MnV Steel in Solidification and Cooling Process

HE Jing, ZHU Yongli

(Department of Electrical and Mechanical Engineering, Chongqing Engineering Polytechnic College, Chongqing 400037, China)

Abstract: The microstructure and properties of 25MnV steel during the solidification and cooling was calculated by JMatPro Software, and the determined value of thermo-physical properties parameters and mechanical properties between room temperature and melting temperature were obtained. The results show that the equilibrium microstructure of 25MnV steel at room temperature is ferrite+cementite+M(C,N)+M₇C₃. At 360~703℃, there are high temperature ferrite phase presented. The MNS exists at 900~1453℃. The austenite transition temperature is 687~798℃, the solid-liquid phase temperature is 1451~1505℃. In the continuous cooling process, when cold speed is greater than 100℃/s. There is small amount of bainite and ferrite appearing in the solidification structure. When the cooling rate is between 100 and 0.1℃/s, the solidification microstructure is mainly composed of ferrite, bainite and pearlite.

Key words: 25MnV steel; phase diagram; CCT diagram; thermo-physical properties

25MnV 钢是国产矿用高强度圆环链主要用钢, 其制造工艺流程为: 下料→加热→编链→焊接→去刺→一次校正→热处理→二次校正→沾漆^[1]。其中, 热处理是决定圆环链整体性能的主要环节。目前, 有关 25MnV 钢圆环链热处理方面的研究报道较多。例如, 李安铭等^[2-3]研究了“零保温”淬火温度对 25MnV 钢组织性能的影响, 发表了一系列有价值研究成果; 马瑞勇^[4]等对 25MnV 钢矿用高强度圆环链的中频感应加热问题进行了, 得出结论 25MnV 钢矿用高强度圆环链在中频感应淬火加热时, 链环直臂温度比顶部温度低。链环顶部加热温度达到 970~993℃ 时(直臂温度为 895~917℃), 淬火组织

为板条马氏体, 晶粒度为 10~10.5 级, 圆环链有最佳强韧性配合。上述研究都是基于传统的实验工艺, 鲜有利用现代材料计算学理论对 25MnV 钢凝固和冷却过程的组织性能进行计算和预测。

本文利用 JMatPro 软件对 25MnV 钢凝固和冷却过程物理性能和相图进行了分析计算, 得出了不同温度下材料的热物理性能参数(如比热容、导热系数、杨氏模量、密度等)和连续冷却转变曲线(CCT 曲线), 并进行了分析。研究结果可为 25MnV 钢焊接和热处理过程的有限元仿真提供必要数据支持, 也可为其实际工艺规范的制订提供理论指导。

1 材料成分

根据 GB3414-82 的规定, 矿用圆环链 25MnV 钢的名义合金成分(质量分数, %) 为 0.21~0.28C, 0.17~0.37Si, 1.20~1.60Mn, 0.10~0.20V, S ≤ 0.035,

收稿日期: 2012-12-22

作者简介: 贺静(1975-), 女, 重庆铜梁人, 副教授, 硕士研究生, 研究方向为机械制造; 电话: 18908383319; E-mail: hjlth@163.com

$P \leq 0.035$, Fe 余量。采用 Jmatpro 软件进行计算时, 合金成分取值(质量分数, %)为 0.25 C, 0.2 Si, 5.152 Mn, 0.14 V, 0.015 S, 0.008 P, Fe 余量。

2 计算原理

JMatPro 软件是基于合金热力学数据库的开发建立物理模型动态求解材料性能的, 并通过关键实验验证从而保证计算结果的准确性。对于多元合金系, 计算固溶相吉布斯自由能时采用的方程为:

$$G_m = \sum_i X_i G_i^0 + RT \sum_i X_i \log X_i + \sum_i \sum_{j>i} X_i X_j \sum_V \Omega_V (X_i - X_j)^V \quad (1)$$

方程(1)中, 第一项 $\sum_i X_i G_i^0$ 表示纯组元的吉布斯自由能; 第二项 $RT \sum_i X_i \log X_i$ 表示理想状态下的熵; 第三项 $\sum_i \sum_{j>i} X_i X_j \sum_V \Omega_V (X_i - X_j)^V$ 表示基于两两之间的相互作用。

相转变动力学模型的计算采用 TTT 计算的一般方程(Kirkaldy et al.), 即

$$\tau(x, T) = \frac{1}{\alpha D \Delta T^q} \int_0^x \frac{dx}{x^{2(1-q)/3} (1-x)^{2q/3}} \quad (2)$$

式(2)中, $\alpha = \beta 2^{(G-1)/2}$, β 是经验系数, G 为晶粒大小 (ASTM 标准), D 是有效扩散系数, ΔT 是过冷度, q 是取决于有效扩散机制的指数, X 是转变的百分比。

在 JMatpro 软件中, 有关材料力学性能的计算, 采用式(3)、(4)两个方程来判定。对于微小 γ 粒子对合金的屈服强度的强化效果可用以下方程来衡量:

$$YS_1 = YS_0 + M \frac{\gamma}{2b} \left[A \left(\frac{\gamma d}{\tau} \right)^{1/2} - f \right] \quad (3)$$

式(3)中, YS_0 和 YS_1 表示晶格屈服强度和合金屈服强度; M 为泰勒系数; b 是柏氏矢量; A 是形状因子常量; d 为析出粒子直径; τ 为位错的线张力; f 是 γ 体积分数。

对于大尺寸的粒子, 强化效果用方程(4)来衡量:

$$YS_1 = YS_0 + 1.72 M \frac{\tau f^{1/2}}{2bd} (1.28 \frac{\gamma d}{\omega \tau} - 1)^{1/2} \quad (4)$$

式(4)中, ω 表示一个表明析出物内部位错间斥力的常数(实质上是一个经验系数)。

3 计算结果分析

3.1 平衡相图和 CCT 图

图 1 为通过 JMatPro 软件计算得到的 25MnV

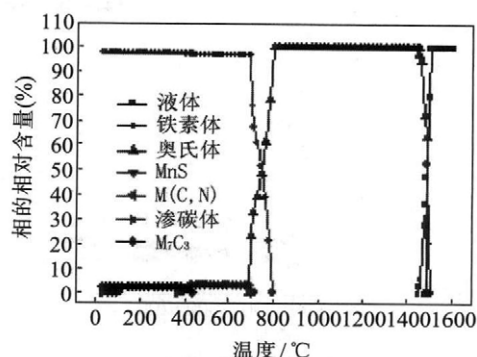


图 1 25MnV 钢凝固过程的相图

Fig.1 Phase diagram of 25MnV steel in solidification

钢凝固过程的平衡相图。相图显示, 25MnV 钢室温平衡组织为铁素体 + 渗碳体 + M(C, N) + M_7C_3 , 这和文献[5]的研究结果相近。在 360~703 °C 存在高温铁素体相, 在 900~1453 °C 存在 MNS, 奥氏体转变温度为 687~798 °C, 固液相温度区间为 1451~1505 °C。

CCT 图反映了在连续冷却条件下过冷奥氏体的转变规律, 是分析转变产物组织与性能的依据, 也是制订热处理工艺和判断焊缝组织的重要参考资料。图 2 为 25MnV 钢冷却过程的 CCT 图。可看出, 在连续冷却过程中当冷速大于 100 °C/s 时, 凝固组织中有少量贝氏体和铁素体生成; 当冷速在 100~0.1 °C/s 时, 凝固组织主要为铁素体、贝氏体和珠光体。

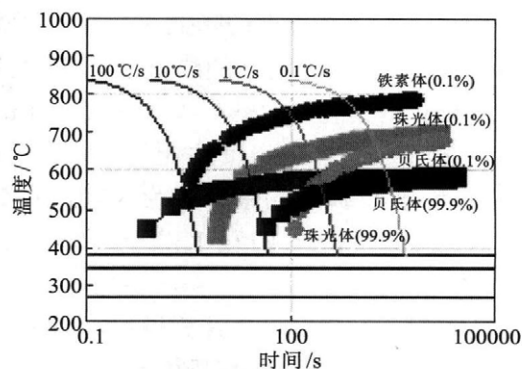


图 2 25MnV 钢冷却过程的 CCT 图

Fig.2 CCT diagram of 25MnV steel in cooling

3.2 热物理性能

图 3 给出了通过 JMatPro 软件计算得到的 25MnV 钢不同温度下电阻率和电导率。可看出, 25MnV 钢的电阻率随温度的降低而降低, 室温条件下有最小电阻率 $0.15 \times 10^{-6} (\Omega \cdot m)$; 25MnV 钢的电导率随温度的降低而逐渐增大, 室温条件下有最大电导率为 $6.74 (S \cdot m^{-1})$ 。

图 4 为通过 JMatPro 软件计算得到的 25MnV

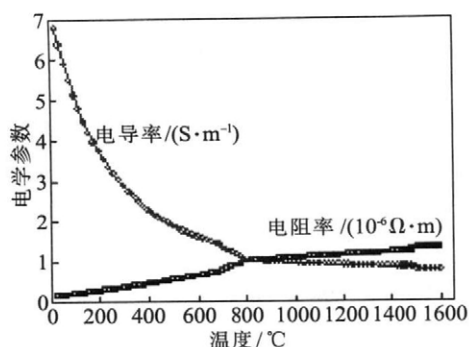


图3 电阻率和电导率

Fig.3 Resistivity and conductivity

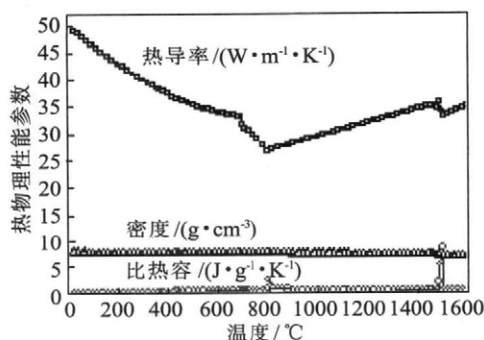


图4 热物理性能参数

Fig.4 Thermo-physical properties parameters

钢不同温度下的热物理性能参数(热导率、比热容和密度)。可看出,合金处于液体状态时(1505~1600℃),随温度的降低,热导率逐渐减小;在固液相温度区间(1451~1505℃),热导率随温度的降低逐渐增大;在800~1451℃,热导率随温度的降低逐渐减小;当温度低于800℃时,热导率随温度的降低逐渐增大,室温状态时,25MnV钢具有最大热导率为49.2 W/(m·K)。整体来说,密度和比热随温度的变化不大,比热在1500℃温度点,有个孤立的最大值为8.53 J/(g·K),在其他温度点比热值维持在1 J/(g·K)以下。

3.3 力学性能

图5为通过JMatPro软件计算得到的25MnV钢凝固和冷却过程不同温度下的杨氏模量、剪切模量和体

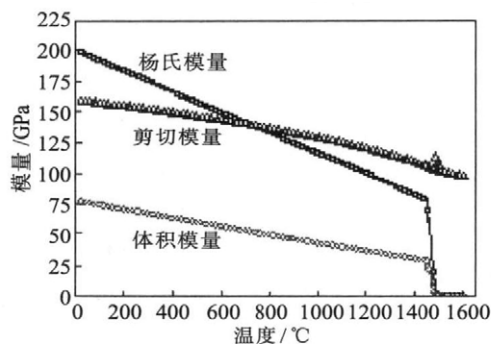


图5 不同温度下试样的模量

Fig.5 Modulus at of samples different temperatures

积模量。可看出,合金处于液体状态时(>1500℃),杨氏模量和剪切模量近似为零;当合金完全凝固为固体时,杨氏模量和剪切模量陡然增大。在凝固过程中,杨氏模量、体积模量和剪切模量均随温度的降低逐渐增大。

图6给出了25MnV钢凝固和冷却过程中不同温度下的热膨胀系数和线膨胀系数。可看出,两者均随温度的降低而减小。其中,热膨胀系数在液固温度区间(1451~1505℃)出现第一个突降,由42.61减小至25.16;在奥氏体转变温度(687~798℃)区间,热膨胀系数发生第二次突降,由23.74减小至17.22。在相同的温度区间,线膨胀系数具有相近的变化趋势,但变化量较小。

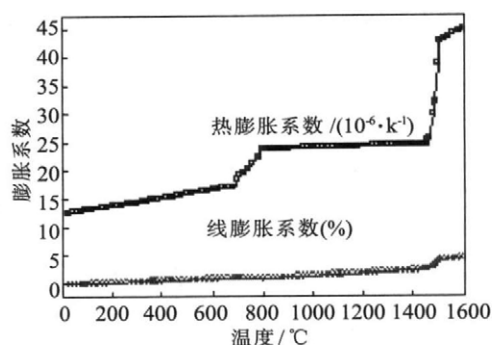


图6 不同温度下试样的膨胀系数

Fig.6 Expansion coefficient of samples at different temperatures

4 结论

(1) 利用JMatPro软件可以获得矿用圆环链25MnV钢凝固和冷却过程的热物理性能和部分力学性能、平衡相图和连续冷却曲线(CCT图)。

(2) 25MnV钢室温平衡组织为铁素体+渗碳体+M(C,N)+M₇C₃,在360~703℃存在高温铁素体相,在900~1453℃存在MNS,奥氏体转变温度为687~798℃,固液相温度为1451~1505℃。

(3) 在连续冷却过程中当冷速大于100℃/s时,凝固组织中有少量贝氏体和铁素体生成;当冷速在100、0.1℃/s时,凝固组织主要为铁素体、贝氏体和珠光体。

参考文献:

- [1] 徐新芳,孙斌,赵秉章. 34×126矿用高强度圆环链制造工艺研究[J]. 中原工学院学报,2005,16(5):69-71.
- [2] 李安铭,赵晓运,杨红保. 25MnV钢“零保温”淬火组织与性能的研究[J]. 金属热处理,2006,31(4):62-64.
- [3] 李安铭. 25MnV钢零保温奥氏体逆相变淬火[J]. 煤炭学报,2006,31(1):129-132.
- [4] 马瑞勇,王维喜,张兵军,等. 25MnV钢矿用高强度圆环链的中频感应加热淬火[J]. 金属热处理,2004,29(11):65-67.
- [5] 付士军. 淬火温度对25MnV钢组织及性能影响[J]. 热加工工艺,2010,39(20):156-157.