

· 工艺技术 ·

成分和热轧参数对 HP295 钢板抗拉强度影响的线性模型及其应用

郑光文

(安徽工业大学材料成型系, 马鞍山 243000)

摘要 在热轧 HP295 气瓶钢板(% : 0.13 ~ 0.18C, 0.80 ~ 1.00Mn, ≥ 0.015Nb, ≥ 0.010Ti) 抗拉强度统计分析的基础上, 采用多元线性回归方法建立了碳当量 $C_{\text{eq}} = C + 0.2426\text{Mn} - 0.353\text{Si}$ 、板厚 h 和卷取温度 CT 与 HP295 钢板抗拉强度 σ_b 之间的线性关系式: $\sigma_b = 499.1C_{\text{eq}} - 17.72h - 0.728CT + 836.68$ 。检验结果表明, HP295 钢板抗拉强度的计算值与测量值之间的相对误差 ≤ 8.67%, 满足计算精度要求。

关键词 HP295 气瓶钢 抗拉强度 线性回归模型

Linear Model for Effect of Chemical Composition and Hot Rolling Parameters on Tensile Strength of HP295 Steel Strip and It's Application

Zheng Guangwen

(Material Forming Department, Anhui Industry University, Maanshan 243000)

Abstract Based on the statistics and analysis on tensile strength of HP295 (0.13 ~ 0.18C, 0.80 ~ 1.00Mn, ≥ 0.015Nb, ≥ 0.010Ti) hot rolled steel strip for gas bottle by using multiple regression analysis method, the linear equation of tensile strength σ_b of HP295 steel strip with carbon equivalent $C_{\text{eq}} = C + 0.2426\text{Mn} - 0.353\text{Si}$, strip thickness h and coiling temperature CT : $\sigma_b = 499.1C_{\text{eq}} - 17.72h - 0.728CT + 836.68$. Examination results showed that relative error between calculated and measured value of tensile strength of HP295 steel strip was ≤ 8.67% to meet the requirement for calculated precision.

Material Index HP295 Steel for Gas Bottle, Tensile Strength, Linear Regression Model

HP295 钢板^[1-4]主要是用于制作 YSP-15 型或 YSP-10 型液化石油气钢瓶的一种钢板。所生产的液化石油气钢瓶特点是焊接性能好, 强度高, 在使用过程中安全可靠。因此用于制作气瓶的母材 HP295 钢, 不仅要有一定的强度, 同时要具有良好的冲压成型性和焊接性。但在生产过程中由于合金元素的变化, 其强度指标(抗拉强度)存在较大偏差, 造成产品的性能指标波动大, 质量不稳定。所以研究强度计算模型, 并根据化学成分的变化来调整工艺对提

高产品质量具有实际应用价值。

1 钢的化学成分、力学性能和控轧控冷技术

开发 HP295 钢所制定的化学成分及产品技术指标如表 1 所示。开发的 HP295 钢均采用了控轧控冷技术和微合金化处理技术。在开发 HP295 产品中采用了低 C-Mn 系列钢, 适当降低硅的含量, 添加少量微合金元素钛。热连轧过程采用控轧控冷技术, 控制坯料的加热、终轧、卷取温度和冷却速度等,

表 1 HP295 气瓶钢的化学成分和力学性能要求

Table 1 Requirement for chemical composition and mechanical properties of HP295 steel for gas bottle

| 化学成分/% | | | | | | | | 屈服强度/ | 抗拉强度/ | 伸长率/ | 屈强比 | 冷弯 180° |
|-------------|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|------|-------|---------|
| C | Si | Mn | P | S | Al | Nb | Ti | MPa | MPa | % | | d = 2a |
| 0.13 ~ 0.18 | ≤ 0.05 | 0.80 ~ 1.00 | ≤ 0.025 | ≤ 0.020 | ≤ 0.040 | ≥ 0.015 | ≥ 0.010 | ≥ 295 | 440 | ≥ 24 | ≤ 0.8 | |

以控制产品质量。

2 HP295 钢强度指标统计分析

根据 516 组统计数据显示, HP295 钢的抗拉强度指标分布规律如图 1 所示。抗拉强度均值 $\sigma_b = 485$ MPa, 抗拉强度指标最大差值 ($\Delta\sigma_b = 90$ MPa) 变化大, 幅度达 20%。显然性能离散度较大, 控制和

缩小离散度对稳定产品质量具有现实意义。

3 强度计算模型研究

材料强度与组织的关系模型反映了问题的本质, 计算精度高, 如 Pickering 公式等。但该公式在使用过程中要首先确定晶粒尺寸以及其他质量分数, 工艺参数的作用不能直观得到体现。材料力学

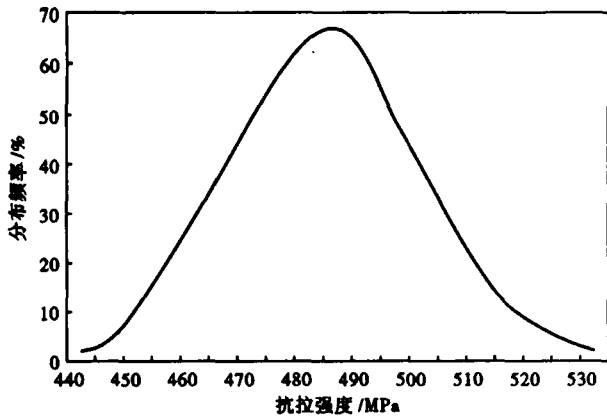


图 1 HP295 气瓶钢带抗拉强度分布曲线

Fig. 1 Distribution curve of tensile strength of HP295 steel strip for gas bottle

性能与化学成分和工艺参数的关系模型是间接反映了与化学成分、组织结构的关系,但是在模型中参数之间表现直观,便于计算和分析,可以直接用于指导生产工艺的分析与调整。

3.1 计算模型的研究方法

由于金属的力学性能是化学成分和工艺参数等多种因素作用的结果,关系比较复杂。目前建模所采用的主要方法是回归建模和神经网络建模两种方法。采用多元回归分析方法,可以建立各个影响因素与预测值之间比较明确的解析关系。

人工神经网络建模,可以建立复杂的非线性关系模型,具有很高的求解精度,但模型为数据结构。与解析模型相比不直观,综合两种建模方法并结合研究目标,拟采用多元线性回归方法建模。

3.2 多元线性模型回归分析

采用多元回归方法建立模型,自变量特征参数的选择要能全面而准确地反映与因变量的关系。根据热轧工艺理论和分析比较,采用化学成分和料厚、卷取温度作为回归的特征变量。

运用 MATLAB 工具箱的回归分析模型计算公式,对原始数据进行了逐步多元回归分析,建立了 HP295 钢抗拉强度 σ_b 与化学成分、工艺参数的线性模型。

$$\sigma_b = 499.1C + 121.1Mn - 675.5Si - 17.72h - 0.728CT + 836.68 \quad (1)$$

回归方程通过显著性检验,方程具有意义。

按以上回归方程折算的计算 σ_b 的碳当量 (C_{chp}) 计算式为:

$$C_{\text{chp}} = C + 0.2426Mn - 0.353Si \quad (2)$$

则以碳当量公式为元素计算抗拉强度 (σ_b) 公式:

$$\sigma_b = 499.1C_{\text{chp}} - 17.72h - 0.728CT + 836.68 \quad (3)$$

式中: h - 板料厚度/mm; CT - 卷取温度/°C。

3.3 回归模型的检验

为了检验回归模型的预测精度,采用新样本数据进行强度计算,并进行对比。以下为品种钢的模型预测结果及精度。

HP295 钢抗拉强度预测数据 224 组,经检验,误差大于 $\pm 5\%$ 有 26 组,约占检验数据的 11.6%;误差大于 $\pm 10\%$ 0 组,占检验数据的 0%;最大误差为 8.67%。

由检验模型预测误差表明,多元线性回归模型计算精度较高,完全可以满足现场实际要求,可以作为控制参量的理论依据,表 2 为部分检验数据。

表 2 HP295 气瓶钢化学成分、轧制参数及抗拉强度的实测值和预测计算值

Table 2 Chemical composition, rolling parameters, measured and calculated value of tensile strength of HP295 steel strip for gas bottle

| 化学成分/% | | | 轧制厚度/mm | 卷取温度/°C | 抗拉强度/MPa | 预测抗拉强度/MPa | 线性回归预测误差/% |
|--------|-------|-------|---------|---------|----------|------------|------------|
| C | Si | Mn | | | | | |
| 0.156 | 0.026 | 0.896 | 3 | 637 | 455 | 488.54 | 7.37 |
| 0.168 | 0.026 | 0.895 | 3 | 637 | 460 | 494.40 | 7.48 |
| 0.157 | 0.021 | 0.826 | 3 | 636 | 455 | 484.71 | 6.53 |
| 0.163 | 0.026 | 0.889 | 3 | 639 | 460 | 489.68 | 6.45 |

4 结论

通过多元逐步回归法得出了回归方程,在模型中碳和合金元素的变化将促使材料强度的变化。工艺参数中板料厚度和卷取温度对性能的影响也较显著。由此可见,在强度变化较大的情况下,改变板料厚度和卷取温度是减小性能离散度的有效方法。所以模型的建立为现场调控工艺技术参数,稳定产品质量提供了很好的技术方法和手段。应用表明,使用该模型计算和调整工艺提高了控制精度,达到了控制性能(抗拉强度)偏差 10% 之内超过 90% 的精度要求。

参考文献

- 1 初元璋,赖显忠,孟 晔. 热轧卷温度场模拟在 CSP 生产 HP295 钢相变分析中的应用. 特殊钢,2004,25(6):39
- 2 赵建伟. 焊瓶钢 HP295 热轧卷板的试制. 冶金丛刊,2004(5):1
- 3 郭合义. 改善 HP295 力学性能工艺. 山西冶金,2000(2):39
- 4 刘 靖,鹿守理. 低碳钢组织与力学性能关系. 北京科技大学学报,2002(2):208

郑光文(1962-),男,教授,北京科技大学毕业,材料成型新工艺、新技术的研究。

收稿日期:2008-01-09