

铸铁表面改性热力学分析及改性层深度预测

杨德良, 高海伟, 赵景山, 邵波, 黄诚

(山东省冶金科学研究院, 山东 济南 250014)

摘要: 对铸铁件表面高能弧束改性处理进行了热力学分析, 得到了其简化模型, 并依据该模型建立了改性层深度的预测公式, 实验证明上述公式与实测结果比较接近。

关键词: 铸铁; 改性; 热力学模型

中图分类号: TG156.99 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620(2000)05-0038-02

Thermodynamic Analysis on the Surface Modification Processing of Cast Iron and Its Evaluation of Remelted Depth

YANG De-liang, GAO Hai-wei, ZHAO Jing-shan, SHAO Bo, HUANG Cheng

(Shandong Metallurgical Science Research Institute, Jinan 250014, China)

Abstract: Through thermodynamic analysis on the process of High energy Beam modification of cast iron, the simplified models of heat transfer have been established. By above models, an equation to evaluate the remelted depth was obtained. The experiment on QT60-2 has proved that above mentioned models are very exact.

Key words: cast iron, surface modification, thermodynamic model

高能弧束表面重溶处理可以使铸铁表面获得具有高耐磨性的重熔白口层, 极大地提高铸铁件在磨损情况下的使用寿命, 因而具有广泛的应用前景和良好的社会效益。但由于高能弧束加热体积小, 温度变化快, 用试验方法难以直接测定其改性处理过程中的传热过程^[1], 使这项技术无论是理论上还是实践上都需要完善和发展。

本实验利用瞬时热源法建立了高能弧束改性过程的温度场的简化模型, 并用来预测重熔层深度, 计算的结果与试验结果相当吻合, 证明了简化模型的正确性, 为改性处理工艺设计创造了简化、实用的理论基础。

1 试验条件

试验所用设备为NSA4-300钨极氩弧焊机; 试验材料为QT60-2, 试样尺寸为20mm×20mm×70mm; 深度检测时垂直于扫描方向切取试样, 在显微镜下测量。

2 热力学模型

高能弧束改性过程是一个快速加热快速冷却的过程，它遵循傅立叶定律^[2, 3]：

$$\alpha \nabla^2 T / \alpha t = \lambda / c \rho (\alpha^2 T / \alpha x^2 + \alpha^2 T / \alpha y^2 + \alpha^2 T / \alpha z^2) = \alpha \cdot \Delta T^2 \quad (1)$$

式中 ρ — 密度, kg/m^3 ; c — 比热, $\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$; λ — 导热系数, $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$; t — 时间, s ; T — 温度, $^\circ\text{C}$; α — 热扩散系数, m^2/s , $\alpha = \lambda / c \rho$; $\Delta^2 T$ — 拉普拉斯算子, $\Delta^2 T = \alpha^2 T / \alpha x^2 + \alpha^2 T / \alpha y^2 + \alpha^2 T / \alpha z^2$ 。

为了计算方便，作如下假设：

(1) 加热热源，即高能弧束为一点状热源；(2) 试件上表面绝热，忽略上表面向环境的散热；(3) 试件为一半无限大物体；(4) 相及组织转变时无潜热发生；(5) 高能弧束加热功率 q 恒定；(6) 热源运动中产生的热作用看作是相继瞬时作用于不同点的无数热作用的集合，且彼此不发生联系；(7) 试件的热物性参数不随温度变化。

在上述假设的基础上，建立图 1 所示坐标系，热源移动方向与 x 轴正向一致，运动速度为 V ，热源功率为 q ，试件初始温度 T_0 为 0°C ， O_0 为热源开始作用点，经时间 t 后到达 O 点，试件上任一点 $P(x, y, z)$ 的温度为 $T(x, y, z, t)$ 。取任一点 O' ，则在 dt' 时间后瞬时作用于表面的热量为 dQ ，由于上表面绝热，所以：

$$dQ = 2q dt' \quad (2)$$

这个热量使温度升高 dT 。借助于瞬时热源法，解得

$$dT_{(x_0, y_0, z_0, t')} = 2q dt' / c \rho (4\pi \alpha (t - t'))^{3/2} \cdot \exp \quad (3)$$

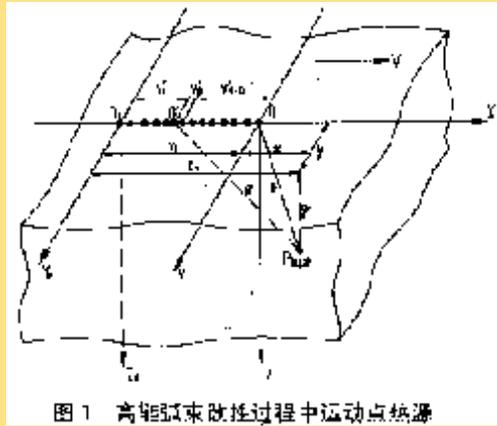


图 1 高能弧束改性过程中运动点热源

以当前热源所在点 O 为坐标原点进行坐标变换，并解 (3) 式得：

$$T_{(R, t)} = 2q / \exp(4\pi \alpha)^{3/2} \cdot \exp[-V \cdot x / 2a] \cdot \int_0^t dt'' / (4) \cdot \exp[-V^2 \cdot t'' / 4\alpha - R^2 / 4\alpha]$$

式中 $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$; $x = x_0 - V \cdot t$; $y = y_0$; $z = z_0$; $t'' = t - t'$ 。

由于加热速度很快，热量不会传递到试件边缘，认为 $t \rightarrow \infty$ ，因此，某点的温度为：

$$T_{(R)} = q / 2\pi \lambda R \cdot \exp[-V / 2 a (x + R)] \quad (5)$$

该式描述的是试件上任一点在某一改性处理工艺下可能达到的最高温

3 重熔层深度

对于上述热力学模型的准确性目前尚无法用实际测温验证，但可以通过深度预测的准确性来进行证实。

高能弧束改性处理层为一月牙形状⁽⁴⁾，重熔层深度是指最大深度，由于弧束能量密度分布为高斯分布，所以弧束中央处最深。由图1可以看出，重熔层深度就是 $x=0, y=0, T_{(R)}=T_m$ 时的R值，借助热力学模型可解得：

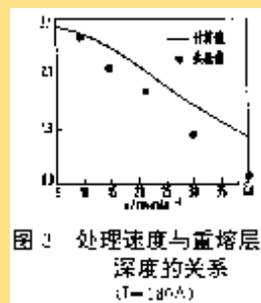
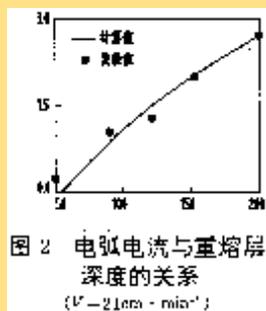
$$H=2\alpha/V\ln[q \cdot V/4\pi\alpha \cdot \lambda \cdot T_m] \quad (6)$$

由于所用高能弧束为钨极氩弧，据经验，热作用效率为0.7，电弧电压15V，则上式可近似写为：

$$H=2\alpha/V\ln[5V \cdot I / 2\pi\alpha\lambda \cdot T_m] \quad (7)$$

由(7)式看出，影响弧束重熔处理深度的因素是材料热物性参数和处理速度V以及电弧电流I。

为了验证上述模型、公式的准确性，制作了QT60-2试样，在50~200A电流和5~40cm/min的工艺参数范围内进行了不同组合的试验，并在显微镜下进行了实测，与计算结果进行了对比，结果如图2、图3所示。



计算时取QT60-2热物性参数为^[5]：

$$\alpha=7.2 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}; \quad \lambda=0.42 \text{w}/\text{cm} \cdot \text{°C}; \quad T_m=1140 \text{°C}。$$

由图2和图3可以看出，计算结果与实测结果非常接近。但在速度增大时，误差偏大，表现为计算深度大于实测深度，这是由于上表面绝热的假设在速度大时与现实相差较大造成的。

4 结论

4.1 在一系列假设的基础上，利用瞬时热源法建立的简化模型是准确和实用的，并可推广到利用激光、电子束、等离子弧束的表面改性中。

4.2 本算法可以准确地预测低速处理时的表面改性层深度，在速度增大时，误差也随之增大，应进一步完善。

4.3 高能弧束改性处理对于提高铸铁件寿命具有极大的意义，值得推广和研究。

参考文献：

(1) 杨德良, 等。灰铸铁表面的钨极氩弧快速熔凝处理。球铁, 1991, (3): 13

(2) 陈伯蠡。金属焊接性基础。北京: 机械工业出版社, 1982

(3) 铃木春义。焊接金属学。北京: 机械工业出版社, 1982

(4) Yang Deliang, etc. The Surface Modification of Cast Iron Rollers by Tungsten Electrode Argon arc Beam, In: Zhu Rizhang. Proceedings of the international conference on S. S. E, 北京: 万国学术出版社, 1995, 5: 102

[返回上页](#)