

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.02.023

# 铝锭浇注过程中快速判定浮渣较厚处方法研究

蒲振兴,辛舟,吕金虎

(兰州理工大学 机电工程学院,甘肃 兰州 730050)

**摘要:**为提高铝锭生产质量,针对铝锭浇注过程中铝液表层浮渣厚度分布不均的问题,探究不同厚度浮渣表面温度分布情况,从而根据温度不同快速判定出浮渣较厚区域,为后续只对浮渣较厚处进行厚度测量提供目标位置,并且能使捞渣机器人准确又快速地捞渣。该方法提高了整体浮渣厚度检测速度。

**关键词:**浮渣厚度;表面温度;快速判定

中图分类号:TP274 文献标志码:A 文章编号:1671-5276(2024)02-0112-04

## Study on Rapid Determination of Thick Part of Scum in Aluminum Ingot Pouring Process

PU Zhenxing, XIN Zhou, LYU Jinhu

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** To solve the uneven thickness distribution of liquid aluminum surface scum in aluminum ingot casting process and improve the quality of aluminium ingot production, the different thickness of scum surface temperature distribution is explored, the scum thicker areas are quickly identified according to different temperatures, which provides target positions of thickness measurement of scum thicker areas and realizes accurate and quick dregging operation by robot. The proposed method improves detection speed of overall scum thickness.

**Keywords:** scum thickness; surface temperature; quick judgement

### 0 引言

铝锭通常被作为制造火车、汽车、火箭、飞机、地铁等交通工具的原材料,以实现轻量化载重。铝是一种较为活泼的金属,其还原性较强,极易与空气发生化学反应,所以铝液表层在空气中易被氧化<sup>[1]</sup>。在铝锭浇注过程中,由高温混合炉流出铝液,经过溜槽注入到铸模时,铝液表层会生成一层氧化膜渣并随铝液流进铸模中,其表层便形成一层较厚且不均匀分布的灰渣杂物层,简称为浮

渣,主要成分为  $Al_2O_3$ ,如图1所示。

对于所生成的铝液表层浮渣,需要及时捞出,否则会在铝锭的表面凝固形成积渣,如图2所示。可看出,其表面较为粗糙不光滑,凹凸处较为明显,从而严重影响铝锭的品质<sup>[2]</sup>。在铝锭生产线中,普遍采用人工捞渣作业,如图3所示。而人工捞渣存在较多安全隐患,如高温液体(约700℃)飞溅、爆炸及噪声大等,由此可利用机器人进行捞渣。

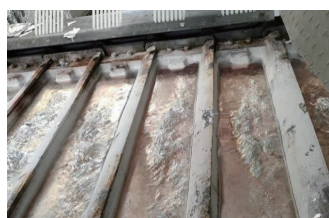


图1 铝液浮渣图

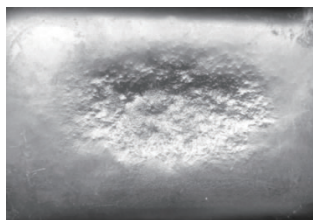


图2 铝锭表面图



图3 人工捞渣图

图4所示为采用机器人捞渣,可提高捞渣效率,但在机器人捞渣时,由于不知浮渣厚度值,渣

铲每次捞渣下降的深度通常设置为固定值,从而造成在出现浮渣较厚或较浅情况时,渣铲捞渣捞

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB1309005)

第一作者简介:蒲振兴(1996—),男,甘肃陇南人,硕士研究生,研究方向为工业机器人应用,1037191870@qq.com。

不尽或过度捞渣而带出部分铝液,严重影响铝锭品质及造成铝液浪费。因此,对浮渣进行厚度测量,使得捞渣机器人根据不同浮渣厚度值下降不同深度进行捞渣意义重大。



图4 机器人捞渣图

在利用非接触测厚法进行厚度测量时,由于铝液表层浮渣分布不均,有薄有厚,如果进行厚度测量,就需对整个不同厚度区域进行检测,从而找出较厚值,这样就会耗时过长,达不到捞渣机器人每次打捞时长(约10s)的要求。因此首先要快速判断出浮渣较厚处,并只对该较厚处进行厚度测量极为重要。

## 1 铝液浮渣较厚处判定方法

为判断出铝液浮渣较厚区域,基于传热学理论,分析铝液、铝液浮渣及与外部空气传热学现象,探究随着铝液浮渣厚度分布不同时表面相应温度变化,根据不同铝液浮渣厚度与温度变化关系判定浮渣较厚处。

基于仿真软件,建立模型进行模拟仿真探究,依据理论分析得出相关结论,基于测温仪器对铝液浮渣表面进行测温,根据温度不同快速找出浮渣较厚处,从而为后续厚度测量提供目标位置。

## 2 传热学基本原理

传热学是研究系统间热量产生、交换与转换的热力工程学科<sup>[3]</sup>。

### 2.1 热传递

热量传递主要可分为热传导、热对流和热辐射等<sup>[4]</sup>。虽然其传递原理各不相同,但常常会在同一系统发生。其中:热传导指物体各个部分之间所发生的热能传递;热对流指流体通过运动所引起的热量传递;热辐射指通过电磁波传递能量。

研究传热问题的关键因素是获取物体间温度分布场,简称为温度场,其研究原理依据傅里叶定律<sup>[5]</sup>:

$$\phi = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

式中: $\phi$ 为热流量(单位时间通过某一特定面积的热量),W; $\lambda$ 为比例系数,也称导热系数,W/(m·K); $\frac{\partial T}{\partial x}$ 为温度在 $x$ 方向上的变化率,℃/m; $A$ 为热量流经平板面积,m<sup>2</sup>。

傅里叶定律表明了传热现象规律,表面热流传递方向与温度升高方向相反,且单位时间内通过平板的导热热量与导热方向上温度梯度和平板导热面积成正比,比例系数为物体导热系数。

空间温度场中传热问题可根据傅里叶定律建立微元六面体能量平衡三维导热方程:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{\phi} \quad (2)$$

式中: $\rho$ 为微元体密度,kg/m<sup>3</sup>;  $c$ 为微元体比热容,J/(kg·K); $\tau$ 为时间,s; $\frac{\partial T}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial T}{\partial y}$ 、 $\frac{\partial T}{\partial z}$ 分别为温度在 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向上的变化率,℃/m; $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ 为温度随时间的变化

率,℃/s; $\dot{\phi}$ 为单位时间单位体积内生成热,W/m<sup>3</sup>。

根据傅里叶定律可知,对传热问题的分析求解实质上就是对微分方程的求解,其求解条件主要包括初始温度场条件、边界温度条件与换热边界条件。而对于这些边界条件的确定,主要基于不同边界所确定的导热系数、对流换热系数与接触导热系数。这些系数是求解传热问题的关键参数。

### 2.2 有限元分析理论

由于铝液表层浮渣温度变化主要是与外部环境温度形成自然对流,可根据牛顿在1701年通过实验验证所得牛顿冷却定律,去判断对流换热强度,其公式如下:

$$Q = h(T_0 - T_\infty) \quad (3)$$

式中: $Q$ 为单位时间内单位面积的固体表面与流体之间交换的热量,W/m<sup>2</sup>;  $h$ 为传热系数,代表对流换热强弱,W/(m<sup>2</sup>·K);  $T_0$ 为固体表面温度,K;  $T_\infty$ 为流体温度或周围环境温度,K。

通过查阅资料,得到浮渣(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)在700℃时材料性能参数如表1所示。

表1 浮渣在700℃时材料参数

传热系数/ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	恒压热容/ (J/(kg·K))	正切热膨胀系数/ K <sup>-1</sup>
105	1 250	8×10 <sup>-6</sup>

### 3 浮渣表面温度变化仿真探究

#### 3.1 进行建模

在铝锭浇注过程中,当铝液浇注到铸模中时,铝液表面会与空气发生氧化反应,从而形成铝液浮渣,其主要成分为氧化铝( $Al_2O_3$ ),用二维示意图表示(图5)。

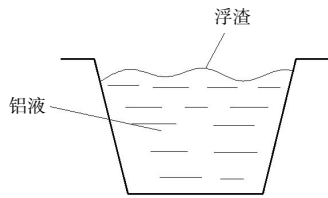


图5 二维示意图

在实际的铝锭浇注过程中,铝液表面浮渣厚度分布不均匀,其浮渣厚度范围在0~25 mm之间。建立三维模型图时,由二维图可知,铝液模型为梯形体,为减少计算量,去掉铸模建模过程,只建立铝液及浮渣三维模型。由于浮渣呈不规则形状,且厚度不一,为便于三维模型建立,利用圆锥体代表浮渣,此优点可展现出浮渣厚度由薄到厚各部分,因此用圆锥体模拟铝液浮渣,通过改变圆锥体高度 $z$ ,便可得到铝液浮渣最厚处到最薄处之间厚度分布。通过参考实际生产线中铝锭尺寸,设置为长850 mm,上宽为185 mm,下宽为95 mm,高为110 mm的铝液梯形块。圆锥体高度 $z$ 取变量,如图6所示。

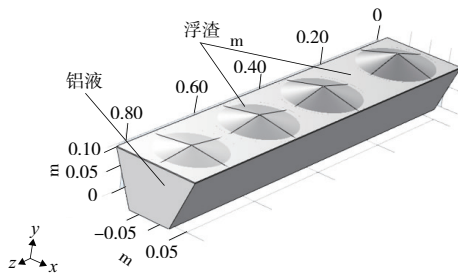


图6 三维建模图

#### 3.2 有限元分析

实际生产铝锭生产线上,25 kg 铝锭尺寸为: 顶面长×宽=850 mm×185 mm,高110 mm,底面宽95 mm;矩形高温熔炉外形尺寸为6 200 mm×5 560 mm×4 650 mm,熔池深度为600 mm;最高工作温度为1 200 ℃。高温铝液流入铸模,伴随着浮渣的生成,铸模依次经由传送链带动直至冷却。而捞渣机器人安装在传送链侧边,与其铝液流入铸模初始运动存在一定距离,当运动到捞渣机器

人捞渣处时,需经过一段时间,时长约为10 s。由此取总时长为10 s分析这段时间铝液浮渣表面温度变化,在这段时间中,铝液浮渣表面温度会与外部环境形成自然热对流,表面各处温度会随时间延长发生变化。由于控制高温炉中铝液在700 ℃左右时,所浇注冷凝而成的铝锭品质更好,由此设定初始浮渣表面温度为700 ℃,对流传热系数取 $h=105 W/(m^2 \cdot K)$ ,分别取变量高度 $z$ 值为10 mm、15 mm、20 mm、25 mm来分析铝液浮渣表面温度变化。

取 $z=10$  mm时,通过有限元分析得浮渣表面不同位置表面随温度变化情况,主要选取表面较低点、中间点及顶点处温度随时间变化情况,如图7所示。

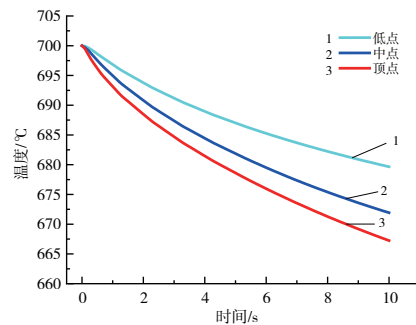


图7 温度随时间变化图( $z=10$  mm)

取 $z=15$  mm时,取其中3点处,如图8所示。

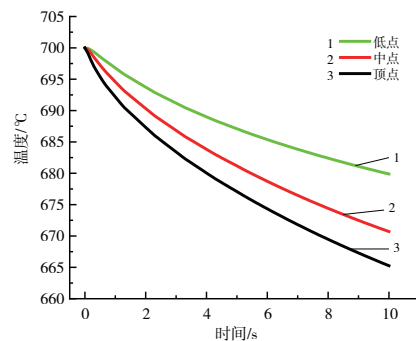


图8 温度随时间变化图( $z=15$  mm)

取 $z=20$  mm时,取其中3点处,如图9所示。

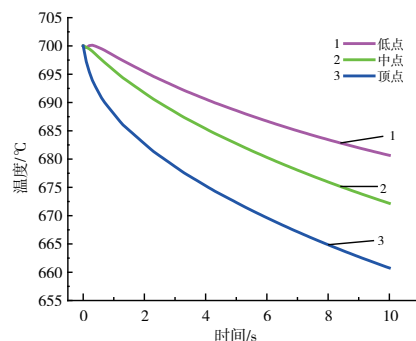


图9 温度随时间变化图( $z=20$  mm)

取  $z=25\text{ mm}$  时,取其中 3 点处,如图 10 所示。

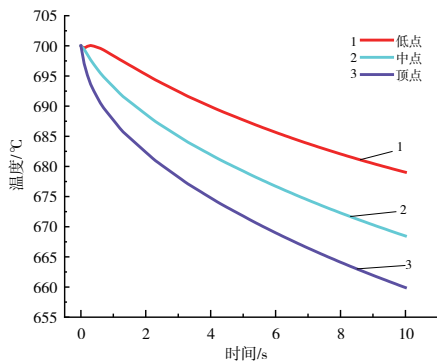


图 10 温度随时间变化图 ( $z=25\text{ mm}$ )

由图 7—图 10 可看出,各取有代表性的 3 个点分析其温度随时间变化,都有相同的变化规律:浮渣表面温度随时间增加而降低,并且浮渣越厚,温度下降速度越快。

由于浮渣大小分布存在随机性,改变底部半径大小,取  $z=25\text{ mm}$ ,同以上原理分析浮渣表面温度随时间变化,如图 11 所示。

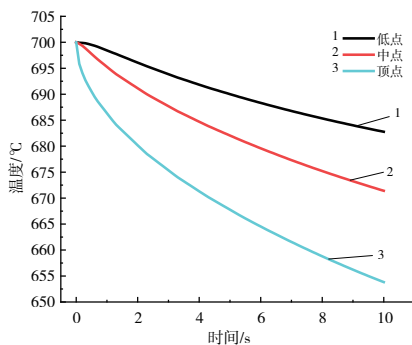


图 11 温度随时间变化图

由图 11 可知,通过改变底部半径大小,依然在最厚顶点处温度下降最快。

根据上述仿真结果,后续采用红外热成像测温仪对浮渣表面进行全局测温,取其温度最小值目标点即可找到浮渣最厚处,实现快速判定浮渣最厚处,并只对该处进行厚度检测,从而缩短浮渣厚度检测时间,再将检测厚度数值传输给捞渣机器人进行更为准确的捞渣。

## 4 结语

铝液表层浮渣,在  $0\sim 25\text{ mm}$  厚度范围内,由于各处浮渣厚度不同,经过时长  $10\text{ s}$ ,铝液浮渣表面温度会随时间呈现不同的下降趋势,并且在浮渣最厚处表面温度下降更快,即在温度最低点处便可代表浮渣最厚处。

## 参考文献:

- [1] 陈祥. 提高重熔用铝锭质量的措施[J]. 材料与冶金学报, 2010(增刊 1):3-5.
- [2] 马明,张圣栋. 重熔用铝锭铸造过程的质量控制[J]. 科技信息, 2011(24):471.
- [3] 何棱云. 基于红外无损检测技术的涂层厚度检测方法研究[D]. 成都:电子科技大学, 2018.
- [4] 陈则韶,李川,王刚. 热力学与传热学的共性理论基础——可逆与不可逆过程普适的有效能方程[J]. 工程热物理学报, 2017, 38(8):1589-1596.
- [5] 杨逢春. 面向板料挤压工况的关键传热学参数实验确定及成形温度场研究[D]. 上海:上海交通大学, 2020.

收稿日期:2022-08-01