

中国金属学会文件 东北大学

金字〔2024〕005号

关于“第二届高品质特殊钢冶金国际会议暨第七届特种冶金技术学术会议”的第一轮通知

各有关单位：

高品质特殊钢是支撑国民经济建设、社会发展和国防现代化的重要基础材料，其产业关联度高、带动作用大、影响面广，全面提升特殊钢产业自主创新能力和技术水平是我国建设特殊钢强国的重要战略任务。在上一届高品质特殊钢国际会议暨特种冶金技术学术会议基础上，2024年将继续召开第二届高品质特殊钢冶金国际会议暨第七届特种冶金技术学术会议。本次国际会议初步定于2024年8月4日-8月7日在沈阳召开。组委会诚挚邀请您参加这次盛会，与国内外同行专家、学者共同分享您的研究成果和技术。本次会议的主旨是加强国际交流，促进技术进步。会议的

技术领域包括:

1. 电渣重熔工艺、技术、装备;
2. 真空感应熔炼工艺、技术及装备;
3. 真空电弧重熔工艺、技术与装备;
4. 电子束熔炼和等离子熔炼工艺、技术与装备;
5. 高品质特殊钢和特种合金的特种熔炼技术及产品质量控制;
6. 特种冶金过程数学模拟和智能控制;
7. 特种冶金新材料的研发、进展及其应用;
8. 其他特种冶金技术等。

会议征集相关领域高水平学术论文, 创新性较强的论文将在大会上宣读交流, 并免费刊登于会议论文集中。经过同行专家评审后, 优秀论文将推荐到《特殊钢》、《材料与冶金学报》等冶金领域核心期刊上发表。

一、会议组织

主办: 东北大学 中国金属学会

承办: 中国金属学会电冶金分会

中国金属学会特殊钢分会

协办: 《特殊钢》杂志社

二、会议日期及地点

8月4日 报到

8月5日 国际分会场

8月6日 国内分会场

8月7日 国内分会场

会议地点：东北大学国际学术交流中心

会议地址：沈阳市和平区文体西路 80 号

三、会议工作语言

本次会议工作语言为汉语和英语。

四、会议论文

本次会议接收中文全文和英文全文两种论文，请严格按照附件一中的论文格式模版撰写论文，4月10日前提交的论文全文，经评审后的优秀论文将推荐到《特殊钢》杂志在2024年7月以“特种冶金”专刊形式正式发表。其他投稿论文截止日期为6月20日，经评审的论文将收录到会议论文集中。论文全文接受电子邮件为：dongyw@smm.neu.edu.cn，会务组收到论文后，会发送确认邮件，若3天内未收到确认邮件，请重新发送。

会议论文联系人：董艳伍，电话：15940207679

五、会议注册

普通参会人员会务费：2800元/人（不含住宿费）

学生参会人员会务费：1000元/人（不含住宿费；需要持学生证证明）

会务费缴纳方式：拟采用线上和线下两种缴费方式，具体链接将在第二轮通知中发布。

六、重要时间

2024 年 4 月 10 日 可推荐至《特殊钢》“特种冶金”专刊发表的论文全文截止日期

2024 年 6 月 20 日 其他会议全文截止日期（逾期将无法保证文集收录）

2024 年 7 月 10 日 参会回执截止日期（逾期将无法保证住宿）

注：请务必于截止日期前将参会回执（附件二）通过电子邮件方式返回会务组（若为手写版可拍照后发送照片），无回执将无法安排住宿，若已回执但无法参会的也请及时反馈给会务组，谢谢合作！

七、会务联系人

东北大学：刘聪颖 18842440361 董艳伍 15940207679

中国金属学会：赵欣 13439682609 董树勇 13681139349

Email: dongyw@smm.neu.edu.cn（学术联系）

liucongying163@163.com（会务联系）

附件一：论文模板

附件二：参会代表回执



2024 年 1 月 2 日

附件一（中文论文）：

工艺参数对液态金属电渣浇注空心钢锭的影响研究

董艳伍，姜周华，曹玉龙，侯栋，曹海波，郑立春

（东北大学 材料与冶金学院，辽宁 沈阳 110819）

摘 要：本文建立了液态金属电渣浇注空心钢锭体系三维准稳态数学模型，利用商业软件 ANSYS 与 CFX 进行顺序耦合求解，得到了不同浇注温度、浇注速度、渣池深度及导电体浸入深度等工艺参数对浇注过程温度场及熔池形状的影响规律。计算结果表明：随着浇注温度及浇注速度的提高，金属熔池最大深度及最高温度基本呈线性增加，合理的浇注温度及浇注速度分别为 1600℃、10 mm•min⁻¹ 左右。随着渣池深度及导电体浸入深度的增加，渣池温度最大值均呈逐渐降低趋势，而金属熔池最大深度则随渣池深度的增加而降低，随导电体浸入深度的增加而呈先增大后减小趋势变化并在 12cm 处取得最大值。

关键词：工艺参数；液态金属电渣浇注；空心钢锭；金属熔池；数值模拟

Study on the Influence of Process Parameters on Electroslag Casting of Hollow Ingot with Liquid Metal

DONG Yan-wu, JIANG Zhou-hua, CAO Yu-long, HOU Dong, CAO Hai-bo, ZHENG Li-chun,
(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: In the course of our investigations, a 3D quasi-steady state mathematical model for the electroslag casting of hollow ingot with liquid metal was developed and then solved with the method of sequential coupling using commercial software ANSYS and CFX to obtain the distributions of temperature and the shape of metal molten pool with different technological parameters, such as pouring temperature, pouring speed, depth of slag pool and the immersion depth of conductor. The calculation results indicate that the maximum depth of molten metal pool increases linearly with the increasing of the pouring temperature and pouring speed and the reasonable pouring temperature is about 1600℃ and the reasonable pouring speed is about 10 mm•min⁻¹. The maximum temperature of slag pool increases gradually with the increasing of the depth of slag pool and the immersion depth of conductor. However, the maximum depth of molten metal pool decreases with the increasing of depth of slag pool, and it has a maximum value in the immersion depth of conductor of 12cm and decreases as the immersion depth of conductor increasing or decreasing.

Key words: process parameter; electroslag casting with liquid metal; hollow ingot; metal molten pool; numerical simulation

随着核电、石化、水电等能源领域的迅速发展，对其核心零部件大型空心锻件的需求量越来越大，质量要求越来越高。空心钢锭是生产大型空心锻件的一种有效方法，但是空心钢锭生产过程中容易出现裂纹与偏析两种缺陷，严重影响空心锻件的质量。与传统空心钢锭的生产方法如直接浇注法、焊接法、离心浇注法等相比，电渣浇注的空心钢锭表面质量好，偏析小，杂质去除效果好，且具有良好的机械和热加工性能，优于普通浇铸钢^[1]。然而，该方法仍然用到了自耗或非自耗电电极进行热补缩。液态金

属电渣浇注技术(electroslag casting with liquid metal)，简称 ESC LM，是基于传统电渣冶金并采用导电结晶器技术而发展起来的新一代液态电渣冶金技术^[2]，由乌克兰基辅的 Elmet-Roll、巴顿电焊研究所的 L B Meodvar 教授及其团队于 20 世纪 90 年代发明^[3]。由于使用了导电结晶器及抽锭技术因而兼具传统电渣冶金及连铸的优点，此外，ESC LM 法消除了传统电渣重熔在制造自耗电电极时的所需成本，相对于电渣浇注空心钢锭而言具有成本低、效率高的特点。

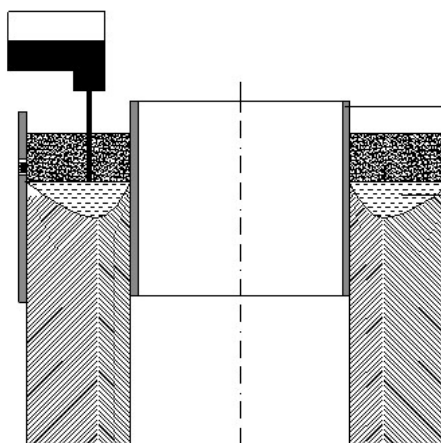
基金项目：国家自然科学基金资助 (*****)

作者简介：董艳伍 (1978—)，男，辽宁铁岭人，东北大学教授，博士生导师，Email: dongyw@smm.neu.edu.cn

1 数学模型

1.1 几何模型的建立

下图为 ESC LM 工艺生产空心钢锭的原理示意图, 由于导电结晶器技术的运用, 其导电路径为: 变压器→导电结晶器→渣池→金属熔池→钢锭→底水箱→变压器。



1-底水箱; 2-钢锭; 3-外结晶器; 4-金属熔池;
5-绝缘区; 6-分离区; 7-渣池; 8-导电结晶器; 9-内结晶器。

图 1 液态电渣浇注空心钢锭模型示意图

Fig.1 Scheme of the ESC LM process for producing hollow ingot

液态金属电渣浇注生产空心钢锭过程涉及热、电、磁、流多个物理场, 目前的商业软件很难对其进行直接耦合求解, 为此本文采用 ANSYS 与 CFX 进行顺序耦合求解。考虑到系统的周对称性, 为简化计算取 0.15° 的薄片建立三维有限元模型, 如图 2 所示, 采用六面体网格对模型进行划分, 纵切面网格大小为 $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$, 薄片厚度为一个网格。

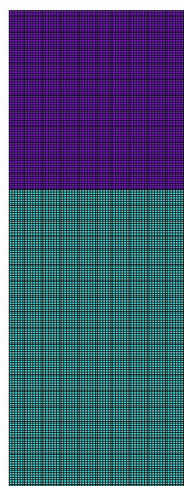


图 2 有限元网格划分

Fig.2 Finite element mesh generation

同时为简化计算, 对模型作如下假设:

- (1) 浇注过程为准稳态过程;
- (2) 渣池与金属熔池的界面为水平面;
- (3) 浇注钢水通过渣池温度变化可忽略不计;
- (4) 浇注过程渣池和金属熔池物理性质均是各向同性;
- (5) 金属熔池对流换热简化为热传导, 对流作用以等效导热系数来估计。

1.2 控制方程

(1) 连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

(2) 动量守恒方程

$$\frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla \vec{P} + \mu_e \nabla^2 \vec{V} + \rho \vec{g} + S \quad (2)$$

(3) 钢锭的导热方程

$$r \rho_i C_{pi} V_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_i r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i r \frac{\partial T}{\partial z} \right) + r q_i \quad (3)$$

对于钢锭内热源 q_i , 金属液相区为液态金属带入的钢液过热热量, 固液两相区为液态金属的潜热。

$$q_i = \begin{cases} -\frac{v_z \rho \Delta H_l}{T_c - T_l} \frac{\partial T}{\partial z} & T > T_l \\ -\frac{v_z \rho \Delta H_m}{T_l - T_s} \frac{\partial T}{\partial z} & T_s \leq T \leq T_l \end{cases} \quad (4)$$

式中, λ_i 为导热系数, $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; q_i 为钢锭内热源, $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$; i 表示钢锭不同的相, $i = l, m, s$ 。其中 l, m 及 s 分别为金属液相区、固液两相区及固相区。 T_c, T_l 及 T_s 分别为液态金属的浇注温度、液相线温度及固相线温度。

2 研究方案

本文选择 $40\% \text{CaF}_2 + 30\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 30\% \text{CaO}$ (以质量分数计) 渣系与 45 号钢进行模拟计算。有关熔渣、钢锭的物性参数诸如电阻率、导热系数等根据文献 [6-8] 中的值而定。本模拟过程分别以浇注温度、浇注速度、渣池深度及导电体浸入深度等工艺参数对 ESC LM 法生产空心钢锭过程温度场及金属熔池形状的影响, 其参数变量的设置如表 1 所示

4 结论

本文利用商业软件 ANSYS 与 CFX 进行顺序耦合求解模拟计算了不同工艺参数变化对熔池温度及形状的影响规律,在采用了导电结晶器技术而使得 ESC LM 法生产空心钢锭过程的通电回路为变压器→导电结晶器→渣池→金属熔池→钢锭→底水箱→变压器的条件下,通过各参数间的合理匹配,可以获得相对较为“浅平”的金属熔池,“浅”可实现快速凝固,则化学元素的有效分凝系数趋于 1,凝固后化学元素分布均匀。金属熔池呈“浅盘状”,则凝固结晶方向与纵向几乎平行,即生长出的柱状晶方向为纵向,有利于提高空心钢锭各物理和力学性能的各向同性。

参考文献

- [1] 赵沛. 电渣浇注空心锭研究[D]. 北京: 北京科技大学, 1987.
- [2] 姜周华, Medovar L, Stovpchenko G, 等. 第二代液态电渣冶金技术的发展[J]. 钢铁研究学报, 2013, 25(3): 1-7.
- [3] Medovar L B, Tsykulenko A K, Saenko V Y, et al. New Electroslag Technologies[C], Proceedings of Medovar Memorial Symposium. Ukraine, Kyiv: Elmet-Roll Medovar Group Company, 2001: 49.
- [4] 郑立春, 董艳伍, 姜周华, 等. 电渣液态浇注空心钢锭的数值模拟[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2012, 33(8): 1162-1166.
- [5] Dong Y W, Li Z B, Jiang Z H, et al. Mathematical modelling of producing hollow ingot by electroslag casting with liquid metal[J]. Ironmaking & Steelmaking, 2013, 40(2): 153-158.
- [6] 姜周华. 电渣重熔的物理化学及传输现象[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 172-223.
- [7] Choudhary M, Szekely J. The modeling of pool profiles, temperature profiles and velocity fields in ESR systems[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1980, 11(3): 439-448.
- [8] 马新生. 电渣熔铸中凝固过程的有限元数值模拟及基础研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2005

附件一（英文论文）：

TITLE

First Author¹, Co-author², Corresponding Author^{3,*}

¹ Author Name

Affiliation (e.g. School of Metallurgy, Northeastern University)

Address (e.g. No. 3-11, Wenhua Road, Heping District, Shenyang, Liaoning 110819, P. R. China)

Email

² Author Name

Abstract

The abstract should be in one paragraph containing no more than 200 words for the Full Paper submission and 300 to 400 words for the Abstract submission.

Keywords: Keyword1, Keyword2, Keyword3.....(a maximum of 5 keywords)

Introduction

Start to type the introduction.....

Experimental

A brief description of the experimental information should be included.

Results and Discussion

The main results and relevant discussion should be given. Figures in high resolution (a minimum of 300 dpi) and Tables as editable texts instead of images are required.

Conclusions

The most important conclusions drawn from the present research should be clearly summarized here.

Acknowledgments (optional)

The communities, organizations, and individuals who have contributed to the research in the form of either financial support or academic assist could be acknowledged here.

References

- [1] Z. H. Jiang, D. Hou, Y. W. Dong, et al. Effect of slag on titanium, silicon, and aluminum contents in superalloy during electrosag remelting. Metallurgical and Materials Transactions B, 2016, 47(2): 1465-1474.
- [2] C. Wagner. Thermodynamics of Alloys, Addison-Wesley Press, Cambridge, 1952.
- [3] J. P. Wang. Ph.D thesis. The study on a new kind of low nickel and high nitrogen stainless steel coronary stent. Jilin University, Changchun, China, 2019.
- [4] T. Saito, Y. Shiraishi, M. Ismail. Mass spectrometric study of the gaseous phase in equilibrium with molten iron-phosphorus alloys. Proceedings of the fourth International Conference on Vacuum Metallurgy, Tokyo, June 4-8, 1973.

附件二：

第二届高品质特殊钢冶金国际会议暨第六届特种冶金技术学术会议参会代表回执

姓 名		性 别		联 系 电 话		邮 箱 地 址		住 房	标准间□ 包房□ 合住□	大床房□	入住时间： 离店时间：
							标准间□ 包房□ 合住□		大床房□	入住时间： 离店时间：	
							标准间□ 包房□ 合住□		大床房□	入住时间： 离店时间：	
							标准间□ 包房□ 合住□		大床房□	入住时间： 离店时间：	
							标准间□ 包房□ 合住□		大床房□	入住时间： 离店时间：	
单位全称 (会务费发票名头)											
论文题目										是否宣读	
会务费 缴纳方式		线上 □ 线下□									
备 注											

注：请您尽可能确认填写住房信息，以便会务组安排房间。参会代表请将附件回执表通过 E-mail 方式（若为手写版可拍照后发送照片）于 **2024 年 7 月 10 日** 以前发到组委会！E-mail: liucongying163@163.com （刘聪颖）