

# 发热保温冒口套在特种焊丝用钢 907A 模铸中的应用研究

成建强, 张靖, 顾晔, 胡显军, 王雷

(江苏省沙钢钢铁研究院有限公司, 江苏张家港 215625)

**摘要:** 针对特种焊丝用钢907A模铸用发热保温冒口的材质进行改良设计, 并对冒口内不同位置钢液的温度进行数值模拟。结果显示, 钢温从1 580 °C降至1 522 °C需要约41 min。将该材质的发热保温冒口套用于9炉907A钢的真空熔铸试验, 浇注温度1 640~1 650 °C, 浇注速度375~400 kg/min, 切除冒口后, 铸锭锭身无二次缩孔, 有效提高铸锭成材率; 将铸锭冒口成分与浇注前钢液成分对比, 未发现冒口套在使用过程中, 会对合金成分和气体含量产生不利影响。

**关键词:** 发热保温冒口; 907A钢; 真空熔铸; 二次缩孔

铸锭中二次缩孔区域通常为铸锭最后凝固位置, 容易形成夹杂物聚集、元素偏析等缺陷。若二次缩孔出现于铸锭锭身, 会造成铸锭纯净度下降, 且会影响到铸锭的致密性, 使其力学性能急剧降低, 导致生产中不得不切除存在缩孔缺陷的部分, 严重时还可能导致整个铸锭报废, 给企业带来巨大经济损失<sup>[1]</sup>。

为了提高铸锭的内部质量和成材率, 保温冒口套在铸锭浇注环节被广泛应用。相比高铝砖材质冒口套, 由于发热冒口套具备更优的保温性能, 近年来已逐渐成为铸造行业内研究的热门对象。张江等人<sup>[2]</sup>在2009年进行了不同材质发热冒口套的放气量和补缩效果研究; 洪美琴等人<sup>[3]</sup>在2015年进行了发热冒口套在球墨铸铁轴箱铸件生产中的应用研究; 许翔等人<sup>[4]</sup>在2017年研究了发热冒口套的组分及其各组分的作用。本文将使用一种全新成分配比的发热冒口套, 用于特种焊丝用钢907A真空感应熔炼的模铸环节, 并对其试验结果进行分析和探讨。

## 1 试验条件

### 1.1 试验钢种

试验钢种牌号为907A, 用于制作 $\Phi 1.5$  mm~ $\Phi 3$  mm规格丝材, 作为焊丝用于舰船制造。化学成分见表1。

表1 特种焊丝用钢907A的化学成分范围  
Table 1 Compositions of the special welding steel 907A

Table 1 Compositions of the special welding steel 907A							$w_B$ /%
C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Ti	S
0.035~0.05	≤0.10	1.20~1.40	≤0.05	1.70~1.90	≤0.03	0.10~0.18	≤0.01
P	Mo	Nb	V	Cu	N	Fe	
≤0.015	≤0.50	≤0.02	≤0.02	≤0.25	≤0.008	余量	

### 1.2 试验设备

试验设备为4.5 t真空感应熔炼炉, 具有氩气熔炼保护功能。

作者简介:

成建强(1986-), 男, 工程师, 研究方向为真空感应熔炼。E-mail: chengjq1986@aliyun.com

通讯作者:

胡显军, 男, 研究员级高级工程师。E-mail: huxjiris@shasteel.cn

中图分类号: TG244+.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)01-0049-04

收稿日期:

2023-11-02 收到初稿,  
2023-12-04 收到修订稿。

### 1.3 试验模具

模具内腔规格为 $\Phi 360 \text{ mm} \times 2\ 800 \text{ mm}$ ，外形尺寸如图1所示，材质为灰口铸铁HT200。

### 1.4 发热保温冒口套

#### 1.4.1 成分设计

发热保温冒口套是用绝热材料与发热材料制作，其结合了保温冒口和发热冒口的优点<sup>[5]</sup>。为提高发热与

保温效果，本试验在前期研究的基础上<sup>[6]</sup>，设计了一种新型发热冒口套，其采用新型高发热材质配比，具体化学成分如表2所示。

这种新型发热冒口套，使用更低含量的煤粉灰和助燃剂，与更高含量的铝粉和纸纤维粉，用于提高冒口套在遇到钢液后的发热和保温效果，同时提高酚醛树脂含量，增加发热冒口套的强度，避免冒口套在制作、搬运环节损坏。

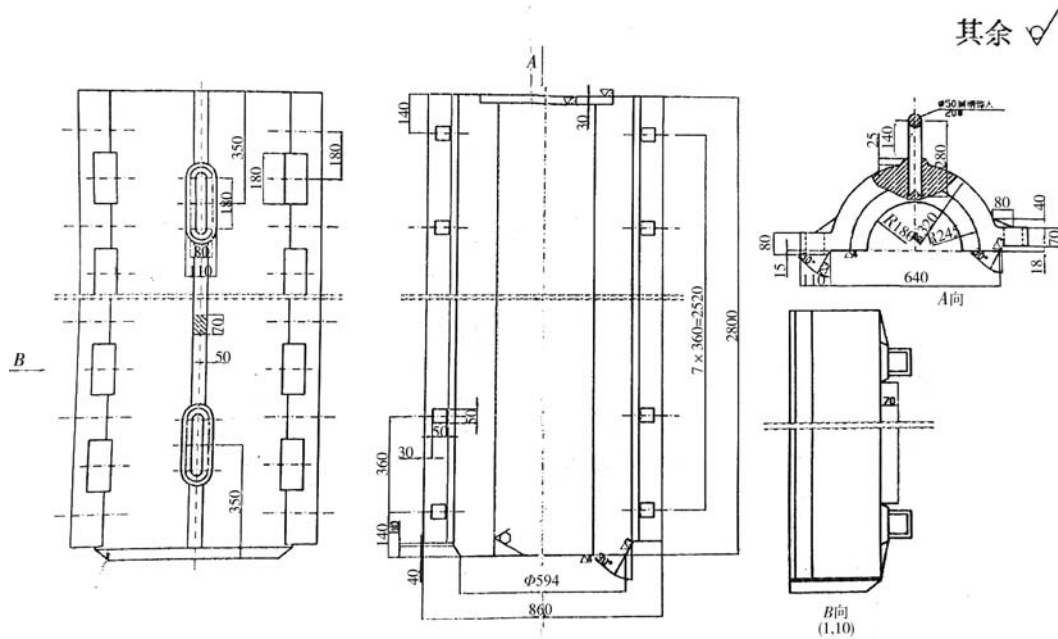


图1 模具图纸

Fig. 1 Mold drawing

表2 发热保温冒口套化学成分

Table 2 Compositions of the exothermic insulated riser

$w_B / \%$						
煤粉灰	铝粉	助燃剂	酚醛树脂	刚玉粉	纸纤维粉	柠檬酸
4~10	35~45	5~8	10~20	20~30	7~20	0~1

#### 1.4.2 外形设计

发热保温冒口套的主要功能是强化补缩，其设计的第一原则是确保冒口中的钢液晚于铸锭凝固；第二原则是确保冒口中有足够的钢液来补偿铸锭收缩的体积亏损<sup>[3]</sup>。本试验中，发热保温冒口套内壁带斜度，其尺寸如图2所示。

安装步骤：将发热保温冒口套放置于铸模上端；在发热保温冒口外圈套置铸铁冒口套；在发热保温冒口套和铸铁冒口套之间的缝隙填充干燥镁砂，并捣实。组装好的发热冒口套如图3所示。

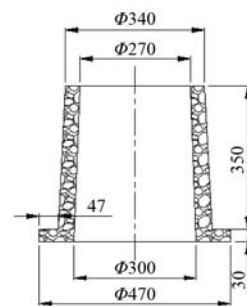


图2 发热冒口套剖面示意图

Fig. 2 Profile diagram of the exothermic insulated riser

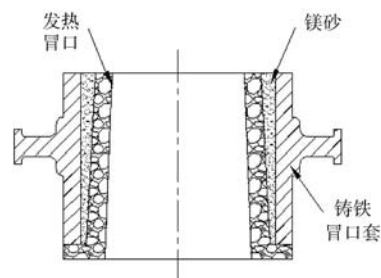


图3 组装完成的发热冒口套

Fig. 3 The installed exothermic insulated riser

#### 1.4.3 数值模拟分析

为分析新型发热冒口套的发热和保温性能，使用

数值模拟软件, 计算发热保温冒口套不同位置的钢液温度变化, 发热冒口内钢液温度变化趋势如图4所示。

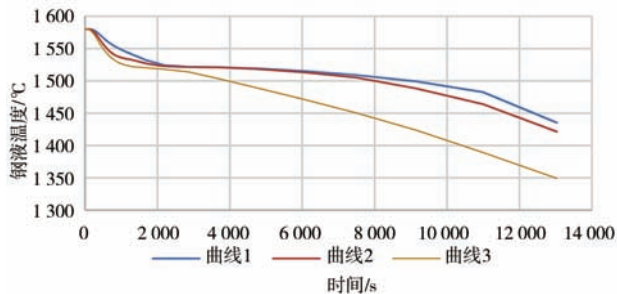
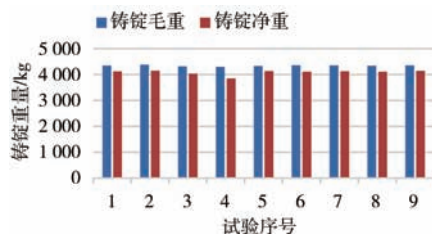


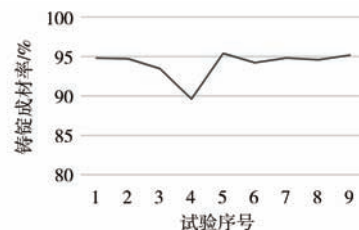
图4 发热冒口内钢液温度曲线

Fig. 4 Temperature curves of the liquid melt in exothermic insulated riser

温度曲线1、2、3分别表示发热保温冒口套内中轴底部、中部和顶部钢液的温度随时间的变化趋势。可见, 发热保温冒口套内中下部的钢液温度经41 min后, 从初始的1 580 °C降至1 522 °C。由此可见, 此材质冒口的发热和保温性能优异, 冒口套内中下部钢液可长时间处于液态, 在铸锭凝固过程中, 会起到很好的补缩效果。



(a) 铸锭毛重与切除冒口后净重



(b) 铸锭成材率

图5 试验铸锭重量与成材率

Fig. 5 Experiment ingots weight and net weight and yield rate



图6 冒口内的二次缩孔

Fig. 6 Secondary shrinkage in the riser

### 3.2 化学成分检测

随机挑选两炉907A铸锭, 从切除的冒口底部取块样, 使用ARL4460直读光谱仪和TCH600气体分析仪进行化学成分和气体检测, 检测结果与该炉浇注前的钢液化学成分对比, 如表3所示。

## 2 浇注试验

浇注前, 将组装好的发热保温冒口套与铸模烘烤至200 °C, 保温3 h, 以待备用。本试验在熔炼设备密闭腔室内进行浇注, 腔室内充有氩气保护, 压力25 000~30 000 Pa, 浇注温度1 640~1 650 °C, 浇注速度375~400 kg/min, 每炉浇注2支铸锭, 共计浇注9炉, 浇注完成后抽真空至100 Pa, 保压到次日脱模。

## 3 试验结果

### 3.1 缩孔检查

对18支907A铸锭切除冒口, 17支铸锭锭身上未发现二次缩孔, 第4炉有一支铸锭锭身存在二次缩孔, 原因是浇注时, 过早移动浇注工位, 导致冒口内未浇满钢液。铸锭毛重与切除冒口后净重如图5a所示, 铸锭成材率如图5b所示。

试验铸锭平均成材率为94.1%, 处于业内较高水平。为进一步了解冒口内缩孔情况, 对切除下来的冒口纵剖, 发现其内部存在二次缩孔, 为圆弧状, 直径约200 cm, 高度约5 cm, 如图6所示。

从表3中可看出, 浇注前钢液中的铝含量与浇注后铸锭冒口处基本趋于一致, 因铝是发热冒口套的主要组成元素, 说明铝元素在浇注过程没有发生从冒口至钢液的迁移导致污染钢液的情况; 另外浇注前后的氧氮氢气体含量亦变化不大, 对铸锭的质量影响甚微。

## 4 试验分析

(1) 使用新型发热保温冒口套, 二次缩孔出现的位置在冒口下方三分之一高度处出现, 锭身无二次缩孔。由此可见, 本试验材质的发热冒口套对钢液有着优异的保温性能, 冒口套内钢液的温降速率低于铸模内钢液的温降速率。在铸锭凝固收缩时, 处于冒口套内的钢液仍具有较高的温度和较好的流动性, 对铸锭凝固收缩起到很好的补缩作用。发热保温冒口套的发热和保温性能越好, 则铸锭内二次缩孔形成的位置越

表3 浇注前钢液与铸锭冒口化学成分对比  
Table 3 Comparison on ingredients between liquid melt and ingot risers

试验序号	取样部位	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	Nb	O	N	H	$w_B/\%$
3	浇注前	0.044	0.024	1.29	0.005 6	0.006 8	0.012	1.78	0.012	0.027	0.005 9	0.16	0.012	0.004 6	0.001 8	0.0020	0.000 3	
	冒口	0.042	0.032	1.25	0.005 1	0.006 5	0.013	1.77	0.014	0.024	0.005 1	0.14	0.011	0.003 8	0.001 9	0.0022	0.000 3	
7	浇注前	0.045	0.017	1.33	0.003 5	0.0035	0.012	1.81	0.044	0.025	0.005 3	0.16	0.008 5	0.003 6	0.001 5	0.0013	0.000 3	
	冒口	0.044	0.020	1.31	0.003 4	0.0038	0.013	1.80	0.046	0.027	0.005 8	0.17	0.009 6	0.003 9	0.001 6	0.0014	0.000 3	

高,反之亦然。此外,冒口套内钢液降温慢,有利于钢锭锭身内部凝固补缩和夹杂物的上浮,防止钢锭内部疏松、缩孔等钢锭内部缺陷的形成,提高钢锭内部质量<sup>[7]</sup>。

(2) 本试验材质的发热冒口套利用铝热反应原理,实现缓慢对外释放热量,冒口内参与铝热反应的物质被固定于冒口内,不会造成铸锭中合金元素的异常升高。另外,该冒口套经过有效烘烤和抽空后,其内部绝大部分水汽得到有效去除,因此,在使用过程中,冒口释放的气体对铸锭气体含量的影响不大。

#### 参考文献:

- [1] 李振彦.大型锻造用钢锭疏松缺陷的模拟与试验研究[D].太原:太原科技大学,2013.
- [2] 张江,孟庆伟.发热保温冒口套在铸钢件上的应用[J].特种铸造及有色合金,2009,29(10):974-975.
- [3] 洪美琴,尹社新.发热冒口在球墨铸铁轴箱铸件生产中的应用[J].铸造,2015,64(11):1145-1148.
- [4] 许翔,惠国栋,马斌悍,等.铸造用高效发热保温冒口的研究[J].铸造技术,2017,38(3):726-728.
- [5] 陈流,黄放.基于AnyCasting的齿圈座铸钢件发热保温冒口设计[J].铸造,2013,62(3):226-229.
- [6] 成建强,胡显军,顾晔,等.发热保温冒口在高温合金真空浇注中的应用[J].铸造技术,2016,37(1):110-113.
- [7] 王晓花,厉英.钢锭凝固过程温度场数值模拟[J].铸造,2013,62(5):410-414.

## 5 结论

(1) 在特种焊丝用钢907A真空熔铸过程中,使用本试验材质的发热冒口套,可使铸锭二次缩孔形成位置提升至冒口内,消除锭身二次缩孔,提高铸锭成材率至94.1%,铸锭内部质量也得到有效改善。

(2) 将铸锭冒口与该炉钢液化学成分对比,未发现该材质发热冒口套在使用过程中,会对特种焊丝用钢907A的合金化学成分和气体含量产生不利影响。

## Research and Application of Exothermic Insulated Riser in Mold Casting of Special Welding Steel 907A

CHENG Jian-qiang, ZHANG Jing, GU Ye, HU Xian-jun, WANG Lei  
(Jiangsu Shagang Iron and Steel Research Institute Co., Ltd., Zhangjiagang 215625, Jiangsu, China)

#### Abstract:

After the improving design of components and overall dimensions of exothermic insulated riser for special welding steel 907A is finished, temperature dropping simulation for liquid melt in different places in the riser had been carried out. The results show that it takes about 41 min for the steel melt temperature to drop from 1 580 °C to 1 522 °C. The exothermic insulated riser sleeve of the material was used in the vacuum melting casting test of 907A steel in 9 furnaces. The pouring temperature was 1 640-1 650 °C and the pouring speed was 375-400 kg/min. After the riser was removed, there was no secondary shrinkage in the ingot body, which effectively improved the yield of ingot. Comparing the composition of riser with that of molten steel before pouring, it is not found that riser sleeve will have adverse effects on alloy composition and gas content during use.

#### Key words:

exothermic insulated riser; 907A steel; vacuum casting; secondary shrinkage