

转运过程对铁液浇注温度影响的试验研究

任现伟

(洛阳古城机械有限公司, 河南洛阳 471023)

摘要: 通过采用不同的铁液转运工艺方案, 随着出铁后时间的改变, 研究了转运过程对铁液最终浇注温度的影响; 同时, 采用不同的出铁重量方案, 随着出铁后过程的改变, 研究了出铁、出铁时孕育、球化、除渣和倒入浇包等铁液处理过程对铁液温度的影响。结果表明, 浇注温度均随转运工艺和转运时间的变化而改变, 也会随着转运各过程温度损失的不同而变化。通过试验研究, 为最终确定和选用铁液转运工艺和明确转运各过程铁液温度变化提供了指导依据。

关键词: 铁液; 转运过程; 浇注温度

浇注温度和金属液成分一样对铸件质量的影响非常大, 浇注温度过高或过低都会影响铸件的浇注质量。从某种程度上来说, 出炉温度的高低决定了最终浇注温度的高低, 但是不可否认出炉温度并不是决定浇注温度的唯一因素, 应该取决于包括出炉温度在内的, 诸如转运包保温性能、孕育、球化、除渣等运输各环节的降温过程。浇注温度越低, 铁液流动性越差, 充型能力下降, 容易出现冷隔、浇不足等缺陷。另外, 铁液浇注温度过低, 在Mn和S元素含量偏高时, 还可能引起MnS偏析和熔渣结合在一起, 最终在铸件上形成MnS渣孔; 浇注温度过高, 液态收缩增加, 铸件出现缩松、缩孔等缺陷。浇注温度过高还会拉大铁液与型壁之间的温度差, 引起石墨和晶粒粗大, 造成铸件力学性能下降^[1-3]。

浇注温度过低或过高最常见的原因是铁液在出炉后、浇注前, 运输、停留, 以及倒包、孕育、球化和除渣等金属液处理过程中的温度损失程度。如何保证浇注温度, 首先要在确定铁液出炉温度后, 明确浇注前的保温措施; 其次要确定各个处理流程, 明确每一个过程的温降速度和范围, 避免转运到浇注包的金属液温度过高引起返流和等待降温后再浇注的非预期停机, 减少温度过低引起返铁造成的金属液重熔损失。

某公司目前有多个砂型铸造车间, 每个车间配备的铸造设备和所生产的铸件结构、铸件材质以及生产过程的控制和检测方法均无明显差异。但是, 各个车间的铁液出炉温度和处理流程却各有不同, 因此铁液控制方法也不尽相同^[4], 生产出的铸件因为铁液温度的原因导致的铸造缺陷也各不相同, 废品率相差甚远。本文研究了出炉后加包盖和不加包盖对铁液温度的影响, 研究了出炉、孕育、球化、除渣和倒入浇注盆等转运过程对铁液浇注温度的影响, 揭示了不同因素对铁液温度的影响规律^[5-6]。为各个车间制定统一的铁液出炉温度、处理工艺提供指导依据, 使铁液质量趋于一致, 减少因为铁液温度问题导致的冷隔、浇不足、缩孔、缩松等铸造缺陷的产生, 尤其是在降低铸件废品率方面作出了积极的贡献。

1 试验用原材料、工艺流程和测量设备

1.1 试验用原材料

本次试验是在正常生产QT600-3汽车换挡拨叉铸件的过程中进行的, 不扰乱正

作者简介:

任现伟(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造工艺和材料的研究、开发与应用工作。电话: 13525453437, E-mail: lyrenxianwei@163.com

中图分类号: TP391.9

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2024)

09-1323-06

收稿日期:

2023-03-19 收到初稿,

2024-04-07 收到修订稿。

常生产节拍。为了说明试验过程和分析试验数据，表1给出了该产品最终的化学成分。选用保温材料内衬直径530 mm，高度1 300 mm的铁液包用于出铁700 kg的铁液转运包；选用保温材料内衬直径570 mm，高度1 360 mm的铁液包作为出铁1 000 kg的铁液转运包^[7-8]。

表1 铸件化学成分检测结果
Table 1 Chemical composition test results of castings

Table 1 Chemical composition test results of castings													w _B /%
C	Si	Mn	Cu	P	S	Cr	Ni	Ti	V	Al	Mg _残	La _残	Ce _残
3.770	2.454	0.460	0.469	0.026	0.010	0.018	0.012	0.017	0.010	0.011	0.031	0.005	0.014

出铁前在转运包堤坝坑内倒入Si-Fe孕育剂，进行出铁时孕育（一次孕育），使用量为出铁重量的0.3%；在铁液球化完毕后转运至浇包，在倒入盆的同时进行随流孕育（二次孕育），随流孕育使用的孕育剂为Si-Ba孕育剂，使用量为包内铁液重量的0.2%，这两种孕育剂的具体规格如表2所示。为了防止出铁过程孕育剂与铁液过早接触发生反应、影响孕育效果，在将孕育剂放入转运包底部堤坝内以后，还需要在孕育剂上面均匀铺上一层4 kg重的碎钢片，碎钢片规格如表3所示。

表2 孕育剂规格
Table 2 Inoculant specification

用途	名称	化学成分 w _B /%							粒度/mm
		Si	Ba	Ca	Al	Al	B	SiC	
出炉孕育	Si-Fe	72~80	≤1.0	≤1.0	≤1.2	≤1.2	≤0.01	≤0.005	3~10
随流孕育	Si-Ba	68~72	3~4	1.5~1.8	1.25~1.35	1.25~1.35	≤0.01	≤0.005	0.6~2.5

表3 碎钢片规格
Table 3 Specification of shards of steel

化学成分 w _B /%						尺寸/mm	
C	Mn	P	S	V	Ti	长度	厚度
≤0.2	≤0.6	≤0.04%	≤0.04	≤0.20	≤0.05	20~60	2~6

使用直径为13 mm，高Mg低RE的包芯球化线做为球化剂。用转运小车将转运包内的铁液运至定点球化室，并关闭球化室门后，喂丝机输送球化包芯线开始向球化包内的铁液进给，进行喂丝球化，球化包芯线中的中芯粉加入量控制在0.60%~0.65%^[9-10]，球化包芯线的规格如表4所示。

表4 球化包芯线规格
Table 4 Specification of spheroidized cored wire

化学成分 w _B /%						尺寸/mm		粉料量g/m	线重g/m
Mg	Re	MgO	AL	Si	Ca	芯线直径	钢带厚度		
29.5~32.5	2.0~2.5	≤2	≤1	42~48	2.5~3.0	13.0~13.7	0.32~0.38	230~240	380~420

球化完毕后，打开球化室门，用转运小车将铁液运至浇包前时，向转运包铁液表面洒入1.8~2.0 kg的除渣剂。经过搅拌，待除渣剂与铁液反应完毕后，迅速将其反应物捞出转运包。除渣剂的性能指标如表5所示。除渣完毕后，将转运包升至一定高度，把铁液匀速倒入浇注盆。在往浇注盆内倾倒的同时，使用表2中

表5 除渣剂性能指标
Table 5 Performance indexes of slag remover

化学成分 w _B /%						膨胀温度/℃	熔点/℃	密度/(g·mL ⁻¹)	软化点/℃	水分w _B /%	酸碱度pH
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O						
>70	10~18	2.5~5.0	1.5~2.5	2.5~5.0	10~18	600~1 500	1 200~1 550	0.9~1.2	1 100~1 300	<0.5	6~8

的Si-Ba孕育剂进行随流孕育。

1.2 过程流程

从铁液出炉到把铁液倒入浇包的整个铁液转运过程，设计为6道工序^[11]，具体的铁液转运过程流程见图1所示。

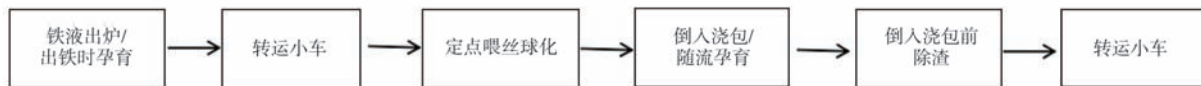


图1 转运过程流程图

Fig. 1 Transfer processes flow diagram

2 试验方案

2.1 转运工艺温度损失试验

长期以来，一些铸造车间采用的铁液转运工艺都是以往传统的未加包盖工艺。该转运工艺的明显缺点主要有。

(1) 未加包盖转运金属液，会使金属液降温过快。为了保证正常的浇注温度，很多车间都会提高出炉温度，这样不仅增加了熔炼的耗电和时间成本，还会使电炉因保持高温时间过长，导致炉衬使用寿命下降。由于未加包盖，金属液降温速度还会过多的受到室温、气流等因素的影响，很难确保每一包的金属液都能得到均衡控制。

(2) 未加包盖转运金属液，会使球化反应过程中富含Mg和RE等元素的金属液溅出包外，造成铁液球化不良等质量问题。

(3) 污染环境，未加包盖转运金属液，造成孕育和球化烟尘飞扬，增加车间环保除尘设备负担，是铸造车间污染的主要来源。

(4) 未加包盖转运金属液，会使员工直接暴露在高温和粉尘环境中，增加员工被灼伤和罹患职业病的风险^[9]。

基于以上金属液转运工艺的缺点，将试验的转运工艺定为以下4种方案，每30 s作为一个取样周期，通过检测结果对比和研究加包盖与未加包盖的优势和不足，验证转运工艺之间的差异，为使用加包盖转运工艺提供理论依据和数据支撑^[11-13]。

方案1：出铁700 kg，出铁后、全程（不包括出铁、除渣和倒入浇包过程）转运包未加包盖，直至将铁液全部倒入浇包中。

方案2：出铁700 kg，出铁后、全程（不包括出铁、除渣和倒入浇包过程）转运包加包盖，直至将铁液全部倒入浇包中。

方案3：出铁1 t，出铁后、全程（不包括出铁、除

1.3 测量设备

根据铁液转运作业指导书的要求，铁液在最初出炉、出铁时孕育、除渣和倒入浇包时采用XYBG-900型手持长柄一次性热电偶测温枪测量；铁液在球化过程中，使用H5530短柄手持比色红外线测温仪进行测量。测量结果均取3个相近试验数据的算术平均值。

渣和倒入浇包过程）转运包未加包盖，直至将铁液全部倒入浇包中。

方案4：出铁1 t，出铁后、全程（不包括出铁、除渣和倒入浇包过程）转运包加包盖，直至将铁液全部倒入浇注盆中。

2.2 铁液处理各过程温度损失试验

铁液处理各过程温度损失试验包括出铁、出铁孕育、球化、除渣和倒入浇注盆等过程的温度损失，以期通过对以上各处理过程的温度损失试验，明确各过程铁液温度损失曲线和速度，为满足特定的浇注温度，制定出合适的出炉温度，进一步统一各个车间的铁液处理工艺和出炉温度，使铁液质量趋于一致，便于生产过程控制，减少过高温度的出铁带来的一系列缺点。该试验采用以下两种方案，每个方案的各个处理过程均连续进行，按工序流程分别测量和记录。出铁过程每20 s作为一个取样周期，出铁孕育和球化过程每10 s作为一个取样周期，除渣和倒入浇包过程每5 s作为一个取样周期。

方案A：出铁700 kg，出铁后、全程（不包括出铁、除渣和倒入浇包过程）转运包加包盖，直至将铁液全部倒入浇包中。

方案B：出铁1 t，出铁后、全程（不包括出铁、除渣和倒入浇包过程）转运包加包盖，直至将铁液全部倒入浇包中。

3 试验结果及分析

3.1 转运工艺对浇注温度的影响

转运工艺对浇注温度的影响见图2。由图2可以看出，方案1和方案3的降温速度最为明显，从出铁开始到出铁后3 min之间，降温幅度达20 °C/min。从3.5 min后开始球化时，降温幅度加大，降温幅度可达40 °C/min；从出铁后4.5 min球化完毕后降温幅度减缓至10 °C/min

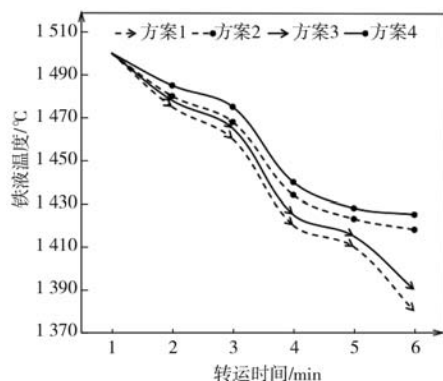


图2 转运时间对浇注温度的影响

Fig. 2 Effect of transfer time on pouring temperature

左右，降温趋势才趋于平缓；在出铁后5 min左右除渣操作过程中，降温速度没有明显过大波动；待出铁后接近6 min，铁液倒入浇注盆时，由于转运包向浇注盆倾倒铁液时，转运包高出浇注包300~400 mm，且铁液流股大面积接触大气和随流孕育的缘故，降温幅度明显加大。相对于方案1和方案3而言，方案2和方案4由于使用了加包盖转运包，降温速度却更为温和，只在球化反应和倒入浇注盆时降温明显，球化反应时方案2的降温速度为35 ℃/min，方案4的降温速度为32 ℃/min；最后倒入浇注盆时4种方案的倒入温度虽然差异较大，但降温速度相当，都在20 ℃/min左右。

从试验数据来看，方案1、方案2、方案3和方案4的平均降温速度分别为20 ℃/min、13 ℃/min、18 ℃/min和12.5 ℃/min。通过以上数据，利用公式（1）计算出每种方案的降温系数分别是20、13、22和15.4。经过研究，分别将未加包盖铁液和加包盖的铁液降温系数圆整为21和14。为了验算降温速度，又分别将未加包盖和加包盖的降温系数代入到公式（2）和公式（3）中进行验算，进一步得知方案1、方案2、方案3和方案4的理论平均降温速度分别约为21 ℃/min、14 ℃/min、17 ℃/min和11 ℃/min。

$$\text{降温系数} = \frac{\text{降温速度} (\text{℃/min}) \times \text{金属重量} (\text{kg})}{\text{金属液表面积} (\text{cm}^2)} \quad (1)$$

未加包盖的铁液降温速度：

$$\text{降温速度} (\text{℃/min}) = \frac{21 \times \text{金属液表面积} (\text{cm}^2)}{\text{金属重量} (\text{kg})} \quad (2)$$

加包盖的铁液降温速度：

$$\text{降温速度} (\text{℃/min}) = \frac{14 \times \text{金属液表面积} (\text{cm}^2)}{\text{金属重量} (\text{kg})} \quad (3)$$

比较分析来看，由于方案1和方案3使用的是未加包盖铁液转运包，较使用了加包盖铁液转运包的方案2和方案4而言，降温速度更为剧烈；由于方案2的出铁重量只有700 kg，它的降温速度要比方案4的1 000 kg更

快一些，最终倒入浇注盆后铁液温度比方案4低出10 ℃左右。研究结果证明，使用加包盖铁液转运包比使用未加包盖铁液转运包降温幅度明显更低；且加包盖转运包出铁重量在1 t时比出铁重量在700 kg时降温更慢一些。因此得出结论：在保证铸件质量和生产节拍的前提下，加包盖转运包比未加包盖保温包内的铁液温度降的更慢，且出铁重量大的转运包比出铁重量小的转运包的温度损失更少。

3.2 铁液处理各过程温度损失对浇注温度的影响

铁液处理各过程对浇注温度的影响见图3-图7。由图3可以看出，方案A和方案B的降温趋势基本一致，出铁后从80~120 s之间，也就是出铁重量约为65%时到出铁完毕期间降温幅度较大，原因是压在包底堤坝内碎钢片下的孕育剂，在此阶段开始与金属液全面接触反应引起包内液面扰动，从而导致降温明显。

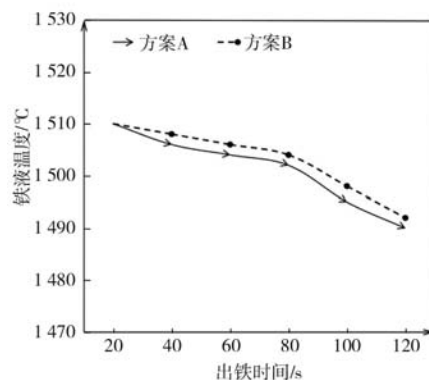


图3 出铁时间对铁液温度的影响

Fig. 3 Effect of tapping time on temperature of molten iron

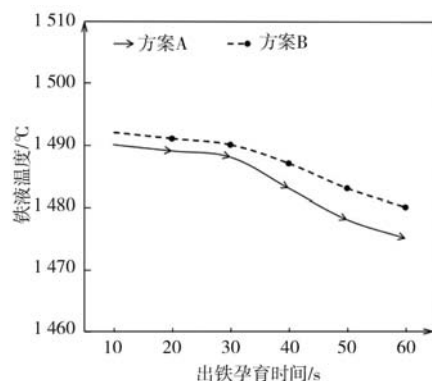


图4 出铁时孕育对铁液温度的影响

Fig. 4 Effect of inoculation on temperature of molten iron during tapping

从出铁后约80 s起，孕育剂开始与铁液接触反应，直到出铁完毕后的1 min前全部反应完毕。从图4来看，两种方案在出铁完毕后的30 s内的降温幅度相当，每

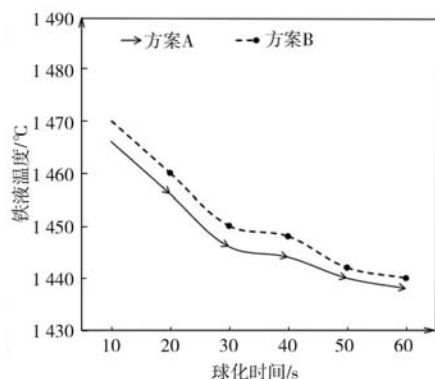


图5 球化时间对铁液温度的影响

Fig. 5 Effect of spheroidizing time on molten iron temperature

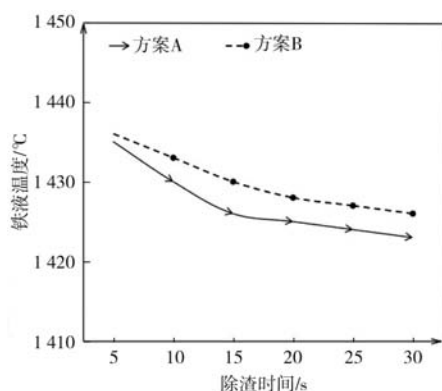


图6 除渣时间对铁液温度的影响

Fig. 6 Effect of slag removal time on molten iron temperature

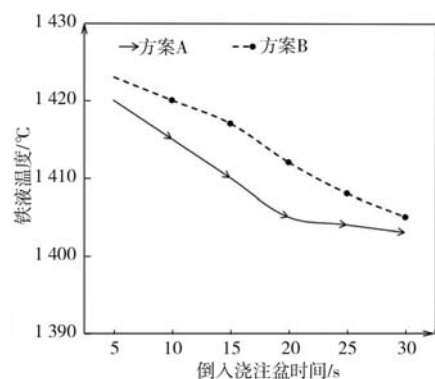


图7 倒入浇注盆时间对铁液温度的影响

Fig. 7 Effect of Time time required to pour into pouring basin on molten iron temperature

10 s约为1 °C；但方案1在出铁后30 s到孕育完毕后的60 s之间，降温幅度明显大于方案2，每10 s约为3 °C，原因是方案B的出铁重量为1 t，比方案A多出300 kg，再次证明出铁重量少的转运包降温速度更快一些。从出铁结束到出铁孕育完毕的60 s时间，两种方案降温均接近14 °C。

从转运包在转运小车上被运进定点球化站后，喂

丝机输送球化包芯线进入转运包内。开始球化时，方案A和方案B均表现出明显的降温趋势，直到球化开始后的30 s之前，每10 s的降温速度高达10 °C；在球化开始后的30~50 s之间，球化反应最为激烈的这20 s时间内，由于镁元素进入铁液时产生出的汽化潜热可达406 J/g，会抵消一部分铁液球化过程中因剧烈翻腾引起的温降，进而使转运包内铁液温度下降变缓。球化完毕前的10 s时间里，降温趋势会变得更缓。从图5中可以看出，方案A和方案B的降温趋势基本一致，降温幅度也没有明显差异，表明出铁重量的多少在球化时间内的铁液温度影响不大。从球化开始到球化完毕接近60 s时间内，降温均接近40 °C。

从铁液球化完毕后，在转运小车上被运至浇注机前，进行除渣操作。除渣时，将除渣剂均匀的洒入转运包内的铁液表面上，经过表面搅拌并充分反应完毕后，将反应物扒出转运包。从图6可以看出，从除渣开始到除渣剂反应完毕，也就是除渣开始后的5~15 s之间，方案A的降温幅度较为明显，原因是方案A转运包虽然出铁只有700 kg，但它的金属液表面积却高达702 cm²，而方案B出铁1 t，它的金属液表面积却只有812 cm²，显然方案A在除渣过程中散热更快^[12]。方案A转运包的直径/高度比为1:2.45，方案B转运包的直径/高度比为1:2.38，方案A降温幅度明显的原因也可以说是方案B转运包的直径/高度比更小^[13]。整个除渣过程的30 s时间内，两种方案的铁液降温均达10 °C左右。

从图7来看，铁液经除渣完毕，被倒入浇注盆的过程中降温更为剧烈。从开始倒入浇注盆，到倒入开始后的20 s之间，方案A的降温波动更为明显，原因除了转运包金属液表面积和转运包直径/高度比以外，方案A耗用同样的时间，从同样高的地方倒入时因为只有700 kg的缘故，倒入时的流股比方案B稍细一些，所以降温会快一些。另外，还受到随流孕育的影响。整个倒入浇注盆过程中虽然用时只有30 s时间，但却使两种方案的铁液温度损失均高达20 °C左右。

4 结束语

通过转运工艺和铁液处理各过程对于浇注温度影响的试验研究，最终统一了各个车间的转运工艺，使铁液性能趋于一致，便于生产过程控制，减少了铸造缺陷的产生，并在生产实践中积累了一些数据和经验。

(1) 使用加包盖转运包比使用未加包盖转运包，铁液温度在转运过程中损失更少（使用未加包盖转运包是使用加包盖转运包温度损失的1.4~1.5倍），减少了更高温度出炉和电炉保温的电能消耗和炉衬侵蚀，延长了炉衬的使用寿命；同时提高了生产效率，降低

了因为铁液等待和低于浇注温度下限而返回重熔带来的非预期停机,也减少了因此产生的铸造缺陷。

(2) 使用加包盖转运包,避免和减少球化反应过程中富含Mg和RE等元素的金属液溅出包外,造成铸件质量问题,也避免了高温金属烫伤员工的可能性,同时有利于车间的环保,减少了环境污染。

(3) 通过对出铁、出铁时孕育、球化、除渣和倒入浇注盆等转运过程的试验和研究,明确了各过程的

降温趋势和降温幅度,为制定统一各个车间的铁液转运作业指导书,尤其是确定更为合理的出炉温度和铁液温度控制提供了科学依据。

(4) 为了进一步保证满足所生产铸件的浇注温度,在实际转运距离不变的前提下,还可以通过改善转运包包盖的保温性能和优化包盖开合效率,以及提高转运小车行走速度,减少转运过程中铁液温度损失,满足浇注温度的要求。

参考文献:

- [1] 邓建新,谢彬,曾向明.基于KNN和GRNN的挤压铸造温度参数设计方法[J].铸造,2022,71(7):898-905.
- [2] 钱冬冬,程兆虎,周绍雷,等.浇注温度和碳当量对挂钩铸件缩孔的影响[J].铸造技术,2022,43(1):59-61.
- [3] 王敏.浇注温度和浇注时间对升船机大尺寸轴承座铸件性能的影响[J].铸造,2019,68(11):1281-1285.
- [4] 成亮,裴柯兴.铸造浇注温度的控制[J].铸造设备与工艺,2021,231(6):35-36.
- [5] 许建.提高铁水温度合格率的生产实践[J].河南冶金,2020,28(6):37-39.
- [6] 任现伟.高强度灰铸铁的生产技术[J].中国铸造装备与技术,2019,54(4):51-54.
- [7] 许开瑜,戴方钦,刘尧成,等.铁水包加揭盖装置在攀钢炼铁厂的应用[J].冶金能源,2020,39(6):43-47.
- [8] 任现伟.铸铁车间应用中频感应电炉的策略分析[J].中国铸造装备与技术,2019,54(5):9-11.
- [9] 张军,解戈奇,权国英,等.喂丝球化工艺在球墨铸铁生产线上的应用[J].铸造,2019,68(2):128-131.
- [10] 王顺序,武炳焕,陈胜华.喂丝球化工艺在球铁铸造生产线上的开发应用[J].铸造,2010,59(11):1185-1189.
- [11] 任现伟.球墨铸铁汽车制动卡钳的铸造工艺[J].现代铸铁,2022,42(3):7-13.
- [12] 谷宗喜,徐安军,贺东风,等.多功能铁水包周转数计算模型[J].过程工程学报,2017,17(5):1035-1040.
- [13] 袁飞,徐安军,贺东风,等.多功能铁水包模式经济连浇炉数计算模型[J].过程工程学报,2017,17(4):779-784.

Experimental Research on the Effect of Transfer Process on the Pouring Temperature of Molten Iron

REN Xian-wei

(Luoyang Gucheng Machinery Co., Ltd., Luoyang 471023, Henan, China)

Abstract:

The influence of the transfer process on the final pouring temperature of molten iron was studied by using different transfer process schemes and changing the time after tapping. At the same time, using different tapping weight schemes, the effects of molten iron processing processes such as tapping, inoculation during tapping, nodularization, slag removal, and pouring into the pouring basin on the temperature of the molten iron were studied with the change of the process after tapping. The results show that the pouring temperature varies with the transfer process and transfer time, as well as with the temperature loss in each transfer process. Through experimental research, guidance is provided for the final determination and selection of liquid iron transfer processes and the clarification of temperature changes in each process of transfer.

Key words:

molten iron; transfer processes; pouring temperature
