

· 工艺材料进展 ·

## 电渣重熔用预熔渣的开发和应用

姜周华 董艳伍 张新法 杨帆

(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004)

**摘要** 预熔渣是电渣重熔生产高质量和高端合金材料的必要造渣原料。实验研究了新渣料和预熔渣在湿度 90% 大气下存放的增重率; 新渣料中石灰含量对渣料吸潮性能的影响; 新渣料和预熔渣对重熔过程中钢中氢含量的影响。应用结果表明, 用电熔法制成预熔渣进行电渣重熔, 吨钢电耗降低 100 ~ 200 kWh, 钢锭成材率提高 3% 以上, 电渣锭无损探伤合格率大幅提高, 显著降低钢中氢含量和改善钢锭表面质量。

**关键词** 电渣重熔 预熔渣 氢 质量控制 保护气氛

## Development and Application of Premelted Slag for Electroslag Remelting Process

Jiang Zhouhua, Dong Yanwu, Zhang Xinfa and Yang Fan

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

**Abstract** Premelted slag is a necessary flux addition for electroslag remelting process to produce high quality and superalloy materials. The weight gain rate of fresh and premelted slag in atmosphere with 90% relative humidity, the influence of lime content in fresh slag on moisture absorption performance of slag and the effect of fresh slag and premelted slag on hydrogen content in steel during electroslag remelting (ESR) process have been tested and studied. Application results show that as the premelted slag manufactured by electro-fusion method is used in ESR process, the electric power consumption per ton steel decreases by 100 ~ 200 kWh, the yield of products increases by more than 3%, the qualified rate of ESR ingot by nondestructive test obviously increases, the hydrogen content in steel greatly lowers and the surface quality of ESR ingot is improved.

**Material Index** ESR, Premelted Slag, Hydrogen, Quality Control, Shielding Atmosphere

电渣钢具有金属纯净、组织致密、成分均匀、表面光洁、夹杂物细小且弥散分布、性能优异等诸多优点<sup>[1,2]</sup>, 因此, 电渣重熔技术产生至今, 一直是生产特种材料的重要手段。然而, 随着工业的发展, 对钢中夹杂物含量、夹杂物类型、气体含量、组织均匀性等提出了越来越高的要求。

国外电渣炉大量使用预熔渣进行电渣重熔生产, 尤其是高温合金、精密合金等高端材料均系采用预熔渣生产, 而国内电渣冶金企业对预熔渣认识不足, 用量较小。本文通过对电渣重熔用预熔渣的开发研究, 分析电渣重熔用新渣料和预熔渣的特点, 并通过实验室实验和工业应用考察预熔渣的使用效果。

### 1 电渣重熔用渣料

电渣重熔用渣的主要成分为  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  等, 所使用的工业原料为萤石、石灰、镁砂、工业氧化铝、石英砂、钛白粉等。其中一些工业原料容易和空气中的水分发生反应而形成含氢化合物, 在电渣重熔过程中容易引起钢锭增

氢、增氧。为了去除渣料中所含的水分, 采用对渣料进行烘烤的方法尽量去除渣中的含氢化合物, 但这种过程往往是一个可逆过程, 经过烘烤后的渣料在大气中仍然能够吸收空气中的水分而形成含氢化合物, 而预熔渣经过精炼以后已经形成了低熔点的化合物, 基本不存在单质组元, 因而在大气中的吸潮性能明显降低, 如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

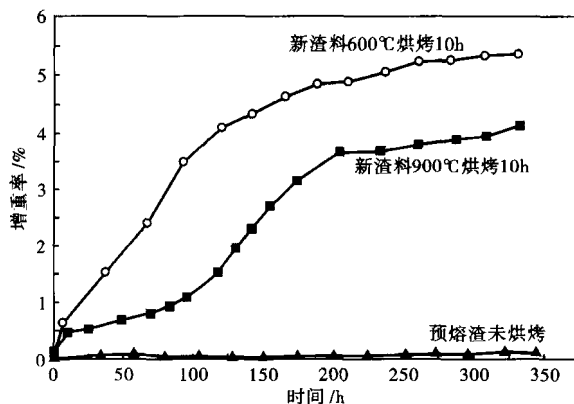


图 1 新渣料和预熔渣在湿度为 90% 大气下的增重率  
Fig. 1 Weight gain rate of fresh and premelted slag in atmosphere with 90% relative humidity

由图 1 可以看出,新渣料经过烘烤后,在大气条件下存放仍然会吸收空气中的水分而增重,虽然提高烘烤温度可以降低增重速率,但效果仍然是有限的;而预熔渣,在大气条件下存放,其增重率很小,有利于对钢中气体含量的控制<sup>[4]</sup>。另外,随着新渣料中易水化组元含量的增加,其吸潮增重的程度更为明显,如图 2 所示,因此在使用新渣料进行电渣重熔时,渣料必须要进行严格的密封处理。

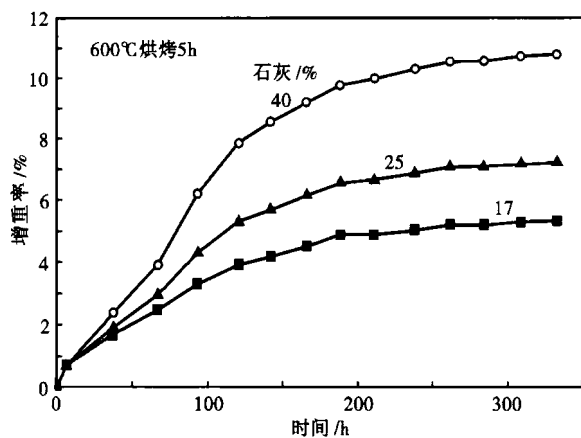


图 2 新渣料中的石灰含量对渣料吸潮增重率的影响  
Fig.2 Influence of lime content in fresh slag on weight gain rate of slag by moisture absorption

### 2 预熔渣的实验室研究

为了考察预熔渣的使用效果,在实验室条件下进行了使用预熔渣的实验研究,并与新渣料重熔结果进行了对比<sup>[5]</sup>。实验表明,与采用新渣料相比,采用预熔渣重熔钢锭表面质量较好,钢锭底部积渣较少,起弧化渣供电稳定,由于预熔渣已经形成一种低熔点的化合物,因此起弧造渣快,可以大幅度降低重熔电耗,完全不会出现新渣化渣过程中的崩渣现象。

图 3 是在实验室条件下分别采用新渣料和预熔

渣在大气和保护气氛下进行电渣重熔过程中钢中氢含量的变化过程。在实验过程中,渣料在 800 °C 条件下烘烤 4 h 之后使用。从图 3 中可以看出,重熔初始阶段钢中氢含量最高,这时钢中氢含量主要受自耗电极中原始氢含量、大气中的水汽分压、渣料中的含氢化合物、渣量以及设备表面结露等因素影响,其中渣料的状态,即新渣料还是预熔渣对钢中初始氢含量影响最大。而保护气氛对钢中氢含量也有重要的影响,保护气氛下可以降低正常重熔期钢中氢含量,但对重熔初期钢中氢含量影响较小。

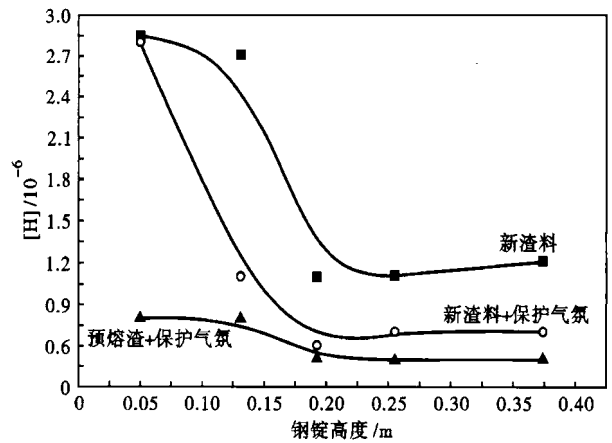


图 3 新渣料和预熔渣对重熔过程中钢中氢含量的影响  
Fig.3 Influence of fresh slag and premelted slag on hydrogen content in steel during ESR process

### 3 预熔渣的开发及工业应用

预熔渣在生产过程中成分、气体含量及渣中杂质元素的精确控制是影响预熔渣产品质量的重要因素,其生产难度较大。东北大学攻克了预熔渣生产的各种难题,采用电熔法成功开发出了质量合格的各种类型预熔渣,其生产过程如图 4 (a) 所示,图 4 (b) 是预熔渣的成品。

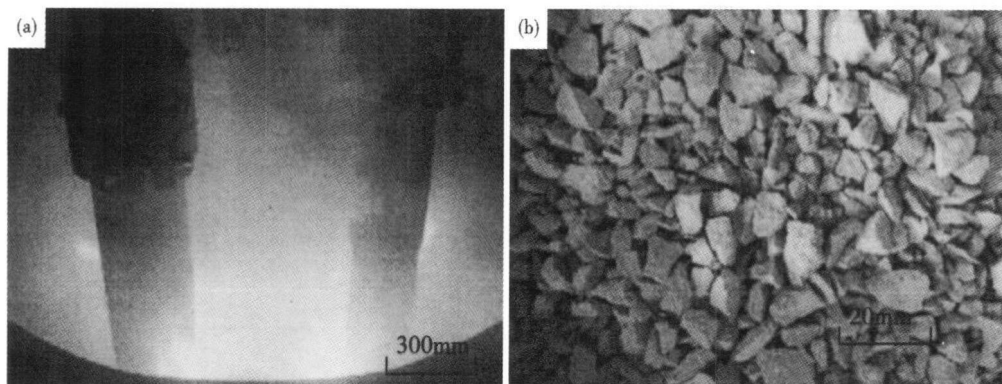


图 4 (a) 预熔渣电熔法生产过程;(b) 预熔渣的形貌  
Fig.4 (a) Producing process for premelted slag by electro-fusion method; (b) Morphology of finished premelted slag

渣中各主要组元的成分波动较小,水分含量极低,对于容易引起钢锭质量问题的 FeO、P、S 及 Bi、Pb、Cu 等杂质含量进行严格控制,产品质量稳定。目前,所生产的预熔渣已经在南钢、太钢、抚顺特钢及四川丰元特钢等多家企业进行了应用,应用结果表明使用预熔渣后,吨钢降低电耗 100 ~ 200 kWh,钢锭成材率提高 3% 以上。此外,钢锭的探伤合格率大幅度提高,钢锭表面质量尤其是下部表面质量得到大幅度改善,如图 5 所示。另外,由于使用预熔渣后钢中氢含量降低,可以适当减少钢锭扩氢退火时间,降低能耗,节约生产成本,缩短产品生产周期。

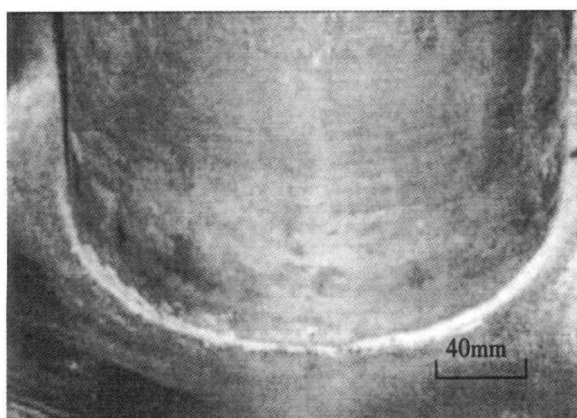


图 5 预熔渣生产钢锭底部表面质量

Fig. 5 Surface quality of bottom of ingot produced by pre-melted slag

#### 4 电渣重熔用预熔渣的特点

炉渣是电渣生产中必不可少的一种重要原料,所使用的渣料质量直接影响到最终的产品质量。从国外发展来看,使用预熔渣是未来电渣冶金发展的一种必然趋势。预熔渣的优点主要体现在以下几个方面:

(1) 稳定的炉渣成分和重量保证生产的稳定性和重现性,避免生产时出现配渣料成分不稳定的缺点;

(2) 起弧化渣容易,造渣时间短,钢锭底部质量好,收得率高;

(3) 大幅度简化甚至取消渣料烘烤,降低渣料烘烤的电耗;

(4) 渣中水分含量极低,有效防止重熔过程大量的增氢,防止化渣时的崩渣现象,提高操作安全性;

(5) 采用颗粒状渣料,粉尘少、环境污染小,特别是对机械设备传动部件的磨损小。

#### 5 结语

预熔渣是电渣重熔生产高质量和高端材料的必要原料,预熔渣的开发将为我国生产高端材料提供必要的条件。随着对产品质量要求越来越高,国内越来越多的企业将认识到电渣冶金中预熔渣的重要性,并开始逐渐使用预熔渣。

#### 参考文献

- 1 李正邦. 21 世纪电渣冶金的新进展. 特殊钢, 2004, 25(5): 1
- 2 姜周华. 电渣冶金的物理化学及传输现象. 沈阳: 东北大学出版社, 2000
- 3 肖志新. 电渣重熔用渣烘烤制度的研究: [学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2008
- 4 董艳伍, 姜周华, 李正邦. 电渣重熔用渣料烘烤过程的失重现象. 东北大学学报(自然科学版), 2010, 31(8): 1141
- 5 董艳伍, 姜周华, 朱航宇, 等. 电渣重熔过程中氢的行为研究. 全国电渣冶金学术会议文献. 沈阳: 东北大学出版社, 2008

姜周华(1963-), 男, 博士, 教授, 《特殊钢》编委, 1983 年东北大学毕业, 钢铁冶金。

收稿日期: 2010-12-17

### 下 期 要 目

高碳钢线材轧后水冷换热过程的有限差分模拟 .....	张云祥等
Q345 钢中厚板热矫直变形抗力与弹性模量数学模型的研究 .....	谢 凯等
六流方坯 35 t 中间包内流场的数值模拟及优化 .....	许长军等
210 t RH 精炼过程夹杂去除和卷渣的物理模拟 .....	迟云广等
12 流小方坯 6 流中间包结构优化的数值模拟和冶金效果 .....	韩传基等
100 t EAF-LF-CC-CR 流程节能冷镦钢的开发 .....	麻 晗等
热卷箱技术在不锈钢热连轧生产中的应用进展 .....	薛春江等
X80 管线钢 LF-RH 二次精炼过程夹杂物行为及控制 .....	李 强等
连铸坯中心偏析对 LX72A 钢帘线合股断丝的影响 .....	王世芳等