利用废渣钢熔炼原料纯铁

吴仕富

（攀枝花钢铁研究院）

摘 要 介绍了利用废渣钢在中频感应炉内熔炼原料纯铁的新工艺，其熔化分离、脱磷、脱硫、精炼工艺独特。

关键词 中频感应炉 废渣钢 原料纯铁

THE UTILIZATION OF WASTE STEEL CONTAINING SLAG FOR MAKING PURE IRON

Wu Shifu

(Panzhihua Iron & Steel Research Institute)

Abstract The new process to utilize waste steel containg slag as raw material for making pure iron in intermediate frequency induction furnace is introduced in this article, melting, refining in the process is different from conventional techniques.

Key Words intermediate freq. induction furnace, waste steel containg slag, pure iron as raw material

1 引言

原料纯铁是特钢厂生产超低碳钢、不锈钢、电工纯铁以及精密合金等的重要金属原料。传统的纯铁冶炼方法是在转炉内用铁水或电弧炉内用废钢作为原料进行冶炼，而在中频感应炉内利用废弃渣钢熔炼原料纯铁的工艺还未见报道。

用钒渣制取五氧化二钒或加工成钒渣合金球过程中需破碎、磁选和筛分，筛分剩下的废渣钢约为钒渣量的20%，攀钢每年有2000t以上。该渣钢的特点是含碳量极低，杂质亦不高。根据这一特点，可以回收利用这些废渣钢熔炼原料纯铁，同时还能减少排放废渣钢造成的污染。为此，攀枝花钢铁研究院于1991年9月开展了利用废渣钢在中频感应炉内分离钒渣和熔炼原料纯铁的试验研究。

连续110炉试验结果表明，采用废渣钢在中频感应炉内熔炼原料纯铁无需吹氧脱碳，只是熔化精炼，工艺独特。所获产品达到和超过了国标(GB9971—88)YT3，YT4的标准，同时可回收副产品钒渣。1992年已投入工业生产并外销用户。

2 试验设备与条件

2.1 试验设备

熔炼设备采用500kg中频感应炉，频率为1000Hz，功率为250kW。

炉衬系碱性材料打结而成。

测温用KWZ—300D型数字测温仪，量程0～1769℃，测量误差±3℃。

2.2 原料条件

2.2.1 金属料

经分析，废渣钢中含铁量为85%左右，

余下约15%的钒渣。渣钢中金属的化学成分见表1。脱氧剂为铝块和硅钙粉。

表1 渣钢中金属的化学成分(%)

C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Ni	Cr	Cu
0.04～0.05	≤0.02	0.03～0.05	0.056～0.061	0.059～0.061	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.04	≤0.04

2.2.2 造渣剂

石灰、萤石、氧化铁皮、纯碱等主要造渣材料经煤气加热烘烤后入炉，其化学成分见表2。

表2 造渣材料化学成分(%)

造渣材料	CaO	CaF_2	MgO	SiO_2	FeO	Fe_2O_3	P	S	$NaCO_3$	水分	烧损	备注
石灰	80.5		4.0	0.36			0.04	0.03			14.5	粒度10～15mm
萤石		≥80		15.58			0.09					粒度5～10mm
氧化铁皮					59.05	37.9	0.02	0.03				
纯碱									84.7	14.41		工业纯

3 熔炼工艺流程及特点

3.1 工艺流程

工艺流程如图1所示。

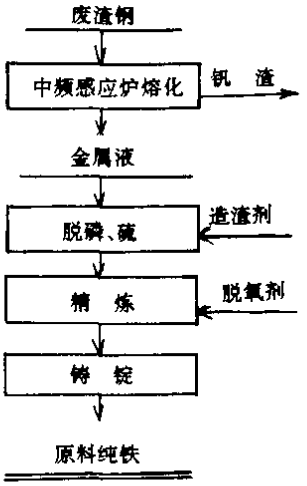

图1 工艺流程示意图

3.2 工艺特点

3.2.1 熔化与分离

由于该渣钢含渣量为15%左右，粒度仅为1～10mm，在中频感应炉中导磁性差，不能满负荷送电。同时在温度较高的坩埚下部，渣钢先熔化分离，钒渣上浮，而粘度较大的钒渣结块，使上部渣钢不能自然下沉，极易产生"架桥"现象。因此，试验中采用分批加料的方式并经常捅料，以免"架桥"。待上一批渣钢熔化分离后，就扒取钒渣，然后再加下一批料。

3.2.2 金属液脱磷

在中频感应炉内去除有害元素磷是极其困难的，加之本试验中由于：①废渣钢含碳量低，熔点约为1490～1510℃，该温度下不利于脱磷；②为回收有价值的钒渣和确保钒渣质量，渣钢熔化过程中，不能配入脱磷渣。因此，脱磷操作必须单独进行。

试验对脱磷工艺操作进行了研究[1~4]。结果表明，采用CaO+FeO为主的渣料加入炉内搅拌3～5min，其脱磷效果稳定，完全能够保证原料纯铁质量的要求。图2表示本试验脱磷粉剂加入量与脱磷率的关系。

在脱磷的同时，由于熔池内氧化气氛极强，〔C〕，〔Si〕，〔Mn〕含量也都分别降到0.04%，0.20%，0.20%以下。

3.2.3 金属液脱硫

金属液在中频感应炉内脱硫不仅气氛难以控制，而且由于原料纯铁碳含量要求低(0.02%～0.04%)，熔炼过程中不管是加炭粉造还原渣，还是用CaC造渣脱硫，都会使成品增碳超标。因此，在中频感应炉中熔炼原

料纯铁的脱硫操作也是相当困难的。

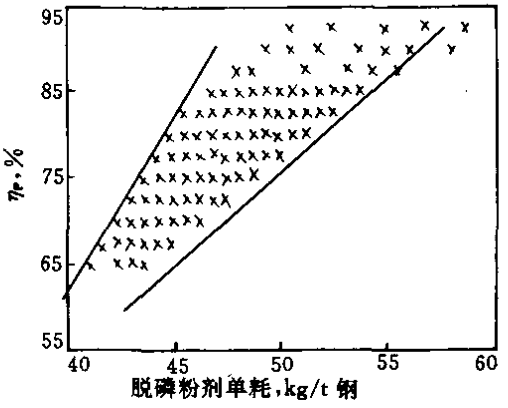

图 2　脱磷粉剂量与脱磷率的关系

根据对脱硫渣系进行的大量研究[5~7]结果表明:采用高碱度、低氧化性的 $CaO-CaF_2$ 系精炼渣,金属液预脱氧后,在 1620～1640℃时加入精炼渣,并搅拌 5min 左右,增强渣与金属液界面反应,可达到脱硫的目的。脱硫粉剂量与脱硫率的关系如图 3 所示。

脱硫后扒净脱硫渣,升温到 1660～1680℃后即可出炉、铸锭。

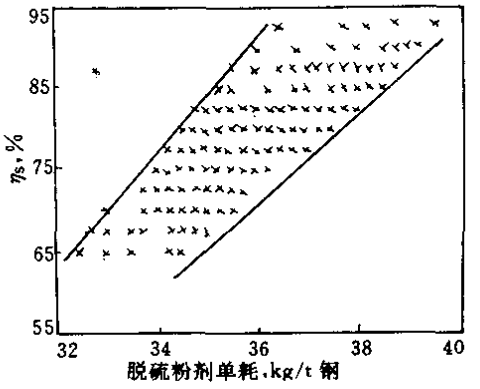

图 3　脱硫粉剂量与脱硫率的关系

4　试验结果

4.1　原料纯铁产品质量

稳定试验连续熔炼了 110 炉,除其中 3 炉因操作失误致使个别成分超标外,其余炉次均达到了产品要求的标准,合格率为 99.07%,其化学成分见表 3。

试验中碳、磷、硫的最低含量分别为 0.009%,0.003%,0.002%。由此可见,用渣钢在中频感应炉中熔炼原料纯铁,可达到 GB9971—88 之 YT3,YT4 的化学成分要求。原料纯铁只是用于生产其它金属合金的重要金属原料,除要求产品的化学成分外,不要求表面质量和内部夹杂。尽管如此,试验还是采用了下注法浇注,铁锭表面光洁,为电渣重熔工艺创造了条件。

表 3　产品化学成分(%)

名　称	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
YT3	≤0.04	≤0.20	≤0.30	≤0.020	≤0.020	≤0.20	≤0.10	≤0.15
纯铁产品	0.025～0.04	0.10～0.20	0.09～0.02	0.010～0.020	0.010～0.0290	0.02～0.03	0.01～0.03	0.03～0.06
YT4[1)]	≤0.025	≤0.15	≤0.30	≤0.010	≤0.010	≤0.20	≤0.10	≤0.15
纯铁产品	0.01～0.025	0.07～0.15	0.05～0.14	0.003～0.010	0.002～0.010	0.02～0.03	0.01～0.03	0.02～0.05

注:1)为原料纯铁(GB9971—88)含量标准

4.2　钒渣的质量

渣钢熔化后钒渣约占 10%～14%,造渣前可回收 80%左右,回收的钒渣平均化学成分见表 4。

由表 4 可见,除 CaO 含量高出标准 1.1%外,其余指标均达到和超过 YB320—75 之 FZ11 的标准,其 P,SiO_2,MFe 远低于标准含量,可用作合金化钒渣球的原料。

5　技术经济指标

表 5 统计了连续 110 炉试验的原始数据。由表 5 可知,吨铁的金属料消耗平均为 1413kg。经计算金属收得率为 83.3%。

由于渣钢在感应炉中导磁性差,熔炼时间长,再加上炉子容量小,因此电耗较高。

表 4 钒渣化学成分(%)

名 称	V_2O_5	TiO_2	CaO	SiO_2	MFe	FeO	MgO	Na_2O	Al_2O_3	P	S
标准	10～12		<2.5	<22.0	≤22.0					<0.13	
产品	12.3	5.81	3.59	9.54	0.30	47.2	12.7	0.29	3.37	0.05	0.07

表 5 原材料消耗(kg/t)

名称	渣钢	造渣剂					脱氧剂	耐火材料			电耗
		石灰	萤石	FeO 皮	纯碱	总量		浇注砖	包衬	炉衬	kWh/t
最 高	1437	65	14	10	12	102	5.8	165	34.1	61.5	1517
最 低	1389	55	12	7	9	82	4.2	155	28.1	56.7	1447
平 均	1413	60	13	8.5	10.5	92	5.0	160	31.1	59.2	1482

6 讨论

6.1 脱磷过程的温度控制

金属液用 CaO+FeO 系渣脱磷的反应式为：

$$2[P]+5(FeO)+4(CaO)=(Ca_4\cdot P_2O_9)+5[Fe]$$

启普曼[8]给出该式的平衡常数为：

$$\lg\frac{N_{Ca_4P_2O_9}}{[P\%]^2[O\%]^5N_{CaO}^4}=\frac{71667}{t}-28.73$$

从上述平衡常数可见该反应为强放热反应，降低反应温度将使平衡常数增大，所以较低的熔池温度有利于脱磷。

本试验熔清时熔池温度已达 1530℃左右，若此时加入脱磷剂，熔池温度将迅速降低，影响脱磷粉剂的熔化，不利于脱磷；若熔池温度太高，脱磷热力学条件又太差。因此，试验过程温度控制为：在熔池温度 1580℃左右时加入脱磷剂，使其迅速熔化；脱磷过程和扒渣时熔池温度控制在 1560℃左右。图 4 为本试验中扒除脱磷渣时熔池温度与金属液中磷含量的关系。

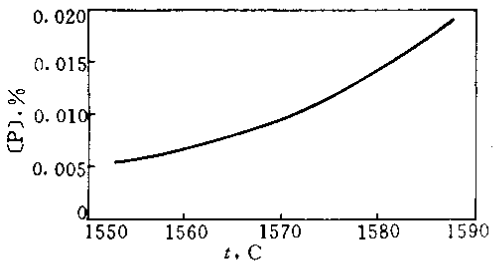

图 4 熔池温度与金属液中含磷的关系

6.2 炉衬寿命

用废渣钢作原料，在中频感应炉中熔炼原料纯铁并获得副产品钒渣的操作工艺，与常规的中频感应炉熔炼工艺有很大的差异。熔炼纯铁时，脱硫、脱磷任务重，炉衬长期承受高温状态下的化学侵蚀和机械冲刷，炉衬寿命不会很高。生产统计结果的最高炉龄为 80 炉，平均 60 炉。必须指出，根据本工艺的操作特点，提高炉衬寿命最有效的方法是勤补炉衬的渣线部位，并采取废渣钢预热的方式，缩短熔炼时间，炉龄仍可大幅度的提高。

7 结论

(1)用废渣钢在中频感应炉中熔炼原料纯铁，工艺切实可行，已形成近 1800t/a 的生产能力。总渣量控制在每吨钢 9%左右，结合合理的造渣制度精心操作，可有效的去除渣钢中的磷和硫。

(2)原料纯铁产品质量稳定，可达到国标 GB9971—88 之 YT3，YT4 的化学成分要求。

(3)炉衬寿命可达 60 炉以上，可满足工艺要求。同时还可采取措施提高现有炉龄，以此降低生产成本，提高生产率。

(4)经济效益十分显著，经计算年产 1800t 纯铁，可创效益 100 万元左右，同时回收钒渣 150t，价值约 25 万元。

(5)变废为利，综合利用了攀西地区资源，扩大了新的冶炼品种。

(下转第 66 页)

参 考 文 献

1 戈文荪. 冶金碳化硅浅析. 攀钢技术,1991(1):32
2 Shinkai S,Fapan. Analyst. 1953(2):433
3 Bastin-MerRman M J and Goffaux. R. Bullsoc. CHM. France,1963. 93
4 Serrini G and Leyender W. MET. Ital,1972(64):129
5 中华人民共和国国家标准 GB3045—82
6 洛阳耐火材料研究所. 耐火材料化学分析. 北京:冶金工业出版社,1984. 8
7 冶金部钢铁研究总院化学室. 钢铁冶金物料分析. 1978. 12

(上接第 57 页)

参 考 文 献

1 李国栋等. 石灰基渣系铁水同时脱磷、硫条件研究. 首届全国冶金工艺理论学术会议论文集,1990
2 董元麓等. CaO 基熔剂对铁水同时脱磷的应用研究. 首届全国冶金工艺理论学术会议论文集,1990
3 钱家澍等. 用碳酸钠吹氧法预处理含钒铁水半钢氧气底吹转炉无渣炼钢,钢铁钒钛,1982(2):1～12
4 攀枝花钢铁研究院. 含钒铁水氧化钠化处理同时去除钒、磷、硫的研究. 1981
5 杜德信等. 罐内用合成渣精炼钢液. 钢铁钒钛,1988,9(3):17～21
6 李炳源等. 宝钢铁水脱硫用复合粉剂的应用研究. 首届全国炉外处理学术会议论文集,1992
7 顾坤良等. 钢水炉外脱硫效果的分析和评价. 首届全国炉外处理学术会议论文集,1992
8 曲 英编. 炼钢学原理. 北京:冶金工业出版社,1980. 166

(上接第 62 页)

参 考 文 献

1 Perkin Elmer. DSC7 Kinetics Software. U. S. A. ,C. T. 1986
2 Mcnaughtow J L & Mortimer C T. Differential Scanning Calorimeter. London,Bufferworths,1975. 10
3 陈厚生. 五氧化二钒焙烧工艺研究. 攀枝花钢铁研究院
4 李国良. 六聚钒酸铵的溶解性. 钢铁钒钛,1982(4):78
5 王常珍等. 冶金物理化学研究方法. 北京:冶金工业出版社,1982. 165
6 王 旷,刘庆国. 冶金过程动力学. 北京钢铁学院,1980. 7
7 武汉大学等. 无机化学. 北京:人民教育出版社,1979. 120