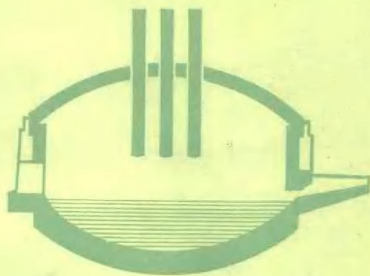


CHAOGAOGONGLUDIANLU
JIXIANGGUANJISHU

第一辑

超高功率电炉及相关技术

阎峰 孔祥茂 主编



冶金工业部情报研究总所

前 言

在冶金部科技司和超高功率电炉协调组的领导下,我们组织冶金部情报研究总所、北京钢铁学院、冶金部钢铁研究总院等单位翻译出版了“国外超高功率电炉及相关技术”文集第一辑。今后将根据需要陆续出版第二辑、第三辑……。希望能对超高功率电炉生产技术在我国的发展略尽微薄之力。

本文集选自80年代以来英、日、俄、德、法等主要文种的冶金期刊、厂刊、国际会议、专利、国际技术交流等文献资料,共收集了62篇文章、201条专利索引。其内比较丰富,分为综述、操作工艺及炉外精炼、电弧炉底出钢及底吹气、直流电弧炉及等离子炉、水冷炉壁及水冷炉盖、超高功率电炉电极、废钢预热、计算机自动化及检测技术、变压器及供电系统、专利索引等十部分,约55万字。加之,每篇选题的审定和译文的校对均经专家、教授把关,所以针对性比较强,技术和文字也比较准确。本书可供从事电弧炉炼钢生产、设计、研究人员及大专院校师生参考。

本书由北京钢铁学院副教授孔祥茂和冶金部情报研究总所副峰同志担任主编,冶金部情报研究总所负责出版发行。在出版过程中得到冶金部科技司陶晋、刘志刚、李继宗、李超等同志的指导与帮助,在此表示感谢。由于编者水平有限,不当和错误之处定所难免,诚恳欢迎读者批评指正。

(ZK486/36)
ZK486/02

编 者

1987年5月



目 录

第一部分 综 述

一、高功率电弧炉炼钢	Б.П.Крикунов 等 (1)
二、高功率电炉的操作效益	A.Н.Морозов 等 (2)
三、电弧炉的功率	E.C.Howard 等 (4)
四、鲍勃考克·韦而考克斯公司第四炼钢车间的设计和投产	L.S.Gonano 等 (10)
五、怎样用超高功率电炉生产特殊钢	G.Meyer 等 (17)
六、电炉生产的能量研究	A.Ghobarah (25)

第二部分 UHP电弧炉操作工艺及炉外精炼

一、用半埋弧和泡沫渣操作的电弧炉炼钢	E.R.Wunsche 等 (30)
二、特殊钢无渣出钢的经验与结果	Harl-Heinz Heinen 等 (40)
三、三相直接电弧炉的熔化方法及熔化设备	(45)
四、电弧炉中钢水的脱硫方法	(52)
五、电炉操作方法	(55)
六、电炉的操作方法	(58)
七、带钢包精炼的超高功率电炉炼钢的实际操作	Ruediger Heinke (63)
八、超高功率电弧炉与钢包炉	H.Lofair (70)
九、现代化电炉钢厂的炉外精炼设备	H.D.Scholer (74)
十、用海绵铁在电弧炉内熔融炼钢的方法	(80)
十一、Intersteel Technology公司发展的连续式电弧炉炼钢法	(86)

第三部分 电弧炉底出钢及底吹气

一、炉底出钢电弧炉炼钢设备	(89)
二、炉底偏心出钢的超高功率电弧炉	(95)
三、采用偏心底出钢工艺和纯净钢生产技术改进电炉车间的生产流程	 W.H.Fettweis 等 (97)
四、可倾动式电弧炉	(107)
五、炼钢用底吹电弧炉	(110)
六、底吹电弧炉	(115)
七、在电弧炉中的快速熔化法	(117)
八、炼钢电弧炉	(120)
九、钢的熔化和精炼工艺的改进	(123)

第四部分 直流电弧炉及等离子炉

一、直流电弧炉的现状	(126)
二、直流电弧炉	(128)
三、直流电弧炉	(130)
四、直流电弧炉炉体	(134)
五、直流电弧炉炉膛的连接	(137)
六、用等离子炉进行熔炼和(或)还原的工艺方法及其实施方案	(140)

第五部分 水冷炉壁及水冷炉盖

一、85 t 电炉采用水冷炉壁的效果	Johannes Drüppel 等 (144)
二、超高功率电弧炉水冷箱下面的炉衬和热修补方法	Dieter Ameling 等 (149)
三、抑制电弧炉炉壁或炉盖冷却构件局部过热的方法	(155)
四、冶金炉盖	(157)
五、炼钢炉的火焰喷补法	(161)
六、内陆钢铁公司第一电炉车间的白云石包衬	M. A. Tindyala 等 (163)

第六部分 UHP电弧炉电极

一、在现代电弧炉车间的变化条件下石墨电极工作性能的分析	P. A. Lefrank 等 (170)
二、电弧炉电极	(186)
三、电弧炉电极及其在炼钢中的应用	(190)
四、电弧炉电极因石墨氧化引起耐热冲击性的降低	佐藤千之助 等 (195)
五、应用涂料电极以降低石墨消耗	R. H. Kaftenhauser 等 (207)
六、双层石墨电极	(213)
七、应用水冷复合电极的设备工艺和操作结果	Hannsgeorg Bauer 等 (214)
八、电弧炉用大电流复合电极	J. E. Haïry (220)

第七部分 废钢预热

一、电弧炉废钢预热装置	Hisashi Watanabe 等 (224)
二、电炉用废钢预热系统	(230)
三、废钢预热方法	(240)
四、电炉原料预热方法	(243)
五、用电炉进行预热和熔化的方法	(246)
六、在清洁室隔间内预热废钢和联合操作的效益	E. C. Howard 等 (249)
七、用回收的废热预热废钢以节能	H. R. Woolworth 等 (258)

第八部分 计算机、自动化及检测技术

- 一、微机和过程计算机在电弧炉上的应用..... Eckart Schunk 等 (269)
- 二、用于电炉炼钢的模块化过程控制软件“Geisweid”模型..... Heinz Gremme 等 (278)
- 三、用计算机控制的电弧炉操作 W. H. Fettwels 等 (288)
- 四、电弧炉控制方法 (294)
- 五、电弧熔化过程的监视方法 (298)
- 六、炉内液体金属和渣重量的自动测定装置 (302)

第九部分 变压器及供电系统

- 一、现代电炉变压器的设计..... O. H. Svensen 等 (307)
- 二、电弧炉和轧机的独立供电系统的运行特性和设计准则..... Robert Brehler 等 (315)
- 三、超高功率 (UHP) 电弧炉的消音除尘 (328)

第十部分 专利文献索引 (80年代以来)

- 一、UHP 电弧炉 操作工艺 (331)
- 二、电弧炉节能及快速熔化技术 (336)
- 三、电弧炉底出钢及底吹气技术 (337)
- 四、直流电弧炉及等离子炉 (339)
- 五、水冷炉壁及水冷炉盖 (341)
- 六、UHP 电弧炉用电极 (345)
- 七、废钢预热 (348)
- 八、设备、自动化及检测仪表 (349)

第一部分 综 述

一、高功率电弧炉炼钢

Б. П. Крыжонов 等

在顿涅茨克钢厂有几座配有50~63MVA变压器的100t电弧炉，这些炉子装有顶吹氧气喷嘴、电磁搅拌装置、氧燃烧嘴和用于装料、配料的自动化系统，其中有一座炉子装有水冷炉壁和水冷炉盖。

众所周知，在高功率电炉配合适当的工艺熔炼时才能得到一定的工作效率。

在普通功率电弧炉内采用的传统炼钢工艺，正如试验所指出的，对高功率电炉是不适用的。

制订熔炼工艺应根据下列的一些基本原则：熔炼期应该最短（根据工厂和研究单位的试验，在氧化期和还原期100t电炉的热效率是熔化期的1/3~1/4，而变压器的功率因数在这段时间不超过0.30），炉料的熔化速度最大。在合理配碳的炉料、适当的造渣制度（加入渣料的时间、位置和顺序）以及能及时得到钢水的化学成份等条件下，上述目标即可达到。

在强化熔化金属炉料时期形成的炉渣（数量和化学成份），应该在炉料完全熔清之前，保证使钢水有效地脱磷，部分地脱硫，并且在氧化期可不再更新炉渣。

在熔化开始时除了加入铁矿石及吹入作为氧化剂的氧之外，随金属料装入占炉料4~4.5%的石灰能达到最好的

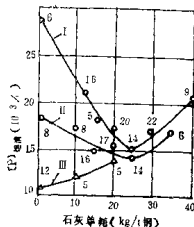


图 1 在熔清的钢水内磷含量与装入石灰量 G_{CaO} 之间的关系(图中点旁的数字代表炉数)

I, 在炉底没有加入石灰;
II, 在炉底加入石灰10kg/t 钢;
III, 随炉料开始熔化, 吹氧时从顶部加入40kg/t 石灰

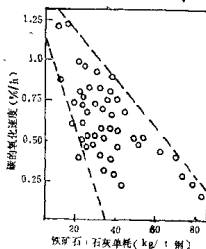


图 2 在氧化期铁矿石和石灰消耗量对氧化速度的影响

效果。此时,同一般工艺比较,熔炼期缩短20min,电耗减少108MJ/t钢,推荐的造渣制度和在熔化期吹氧对钢水脱磷(图1)也创造了有利条件,使得在熔清的钢水内磷含量小于0.012%。

在熔化期活性高碱度炉渣(碱度 $\text{CaO}/\text{SiO}_2=2.5\sim3.0$)补加萤石时,可使钢水少量脱硫(在熔化的金属中硫含量从0.049%降到0.042%)。

在该种方案下,评价熔化期炉渣吸收P的能力说明,在氧化期可不造新渣。

在氧化期要保证达到一定的含碳量并要把钢水加热到所要求的温度,不加入石灰和铁矿石,在这个时期只用氧气作为氧化剂创造提高和稳定钢水脱碳速度的条件。

图2列举了在工业条件下完成的试验结果。在氧化期,石灰和矿石消耗量高是由于在某些情况下从一种牌号的钢改为另一种牌号的钢(在这个时期不用氧)必须氧化大量的碳,并引起钢水强烈脱磷。试验证明,在氧化期加入大量的石灰和铁矿石,钢液脱碳速度下降,也就恶化了脱磷条件,在这个时期加入大量的造渣材料,同时也就降低了钢水温度。因此,不仅降低了碳的氧化速度,同时也降低了碳氧化的稳定性。

在这个时期碳的平均氧化速度为1.35%/h,而钢水的加热速度(取决于氧耗量)为1.2~2.5℃/min。

当必须进行还原期时(在金属熔清后其硫含量高于规定的界限,又不具备能保证可靠的脱硫及调整钢水化学成分的炉外处理手段),应该造活性精炼渣并保持一定的钢水温度。

包括出钢在内的工艺制度(取样,向炉内加入硅铁、萤石和粘土砖块,随后再加入铁合金和石灰及一种硅铁粉、焦粉造渣混合物的脱氧渣,铝粉在出钢前加到渣面以及调整钢水化学成份),因在还原期造渣材料总消耗平均减少为10 kg/t钢,还原期缩短到20~25 min,而此时钢水的脱硫率不降低。

采用低含硫量的焦粉,并在熔化期使钢水部分地脱硫,使熔清时钢水中的硫含量进一步降低到0.035%以下,这就有可能在不换新渣的工艺条件下,炼出某些牌号的钢。

由于运用了制订的工艺制度,熔炼时间缩短7.2%,电能单耗略有提高(3 J/t钢),这是由于在这个时期使用了水冷炉壁和水冷炉盖。

译自《Сталь》1986年第4期

刘仁刚 译 李吉夫 校

二、高功率电炉的操作效益

А. Н. Морозов 等

高单位功率(500~750kVA/t钢)变压器装备的100t电炉,炉料熔化时间约为90min甚至70min,而在用氧(8~12m³/t钢)的情况下,仅为70min甚至50min。

在冶炼时间为3.0~3.5 h的操作工艺中,在装有水冷炉壁和水冷炉盖时,单位电耗分别提高18~28.8 MJ/t钢和90~144 MJ/t钢。但是,合理的熔炼工艺和先进的工艺制度,能够降低单位电耗1.8 kJ/t钢,并可把ДСП—100H3A型电炉的熔炼时间缩短为130~135 min。

特别是在库兹涅茨克冶金联合企业的操作经验证明了这一点,该厂曾用单渣法冶炼某些合金钢,熔清后在炉内停留的时间缩短到30 min。

分析大功率电炉熔炼过程指出,其工艺制度和供电制度密切相关,甚至在开始熔化阶段当炉壁被废钢屏蔽时,带入炉内的热利用系数接近100%,在熔化的炉料上有石灰的存在增加了长弧的稳定性及其有效功率,必要数量的石灰随第一批废钢一起加入,用炉盖上的加料装置加入造渣材料没什么困难,而在其他一些炉子石灰是分两批入炉的。库兹涅茨克冶金联合企业和乌兹别克冶金厂在整个熔化期,通过炉顶的喷嘴以6~12 m³/t钢吹入氧气(在熔毕的钢水试样有足够的碳含量时,即不中断吹氧),在这个时期每立方米氧气可节约电能1.88~12.60 MJ。

通过喷嘴吹入氧气,在炉内早期形成大量的高碱度泡沫渣,这在熔化后期有很大的意义,因为当时电弧在钢水面上,而炉壁至少从废钢遮盖下部分地暴露出来,在这个时间内电弧带入炉内的有效热利用系数($\eta_{\text{п.т}}$)根据炉渣屏蔽电弧的不同可能波动在30~40%。

炉渣屏蔽强电弧的作用,在开发大功率电炉时期就已确认。氧气流在炉渣内乳化部分钢水,钢水中的碳同氧化铁炉渣相互作用,随之一氧化碳的生成析出,生成泡沫渣能很好地屏蔽电弧。因为渣的密度为2,而泡沫渣密度为钢水密度的1/4~1/4.5。因此,随着炉渣重量和体积的增加,电弧完全埋入熔池。在同一电弧功率下,降低了对炉壁的热流,而增加了进入钢水的热流。

马格尼托哥尔斯克(КМК)和顿涅茨克冶金厂100 t的水冷炉壁电弧炉采用制订的工艺,能够提高熔化期平均单位有功功率10~15%,相应地缩短了时间,炉壁耐火砖寿命提高了大约两倍,达到了水冷炉壁的水平。在熔化期及在氧化期用炉渣很好地屏蔽电弧是进一步增加平均有功功率的手段,这种泡沫渣是用粉状含碳的合成渣料。而当用短弧和大电流操作时则会引起电极的过量消耗。

氧化期时间的长短(金属的加热速度)也是由炉内的渣量决定的,渣量越大在同样的有功功率条件下金属温度上升的越快,并能提高炉衬的寿命,因此在氧化期开始时,建议不要去除炉内在熔化过程中形成的炉渣。

在ДСП—100H3A型单位变压器容量为500 kVA/t钢的炉子上,在氧化期有功功率约为25 MVA/t钢时,金属加热速度达4~5 °C/min($\eta_{\text{п.т}}=30\%$),而在此时吹氧使钢水脱碳,升温速度则达8~9 °C/min。在这种情况下,氧化期的时间,考虑到取样和测温也能缩短20~30 min,而这还不是极限,因为钢水的加热和脱碳采用自动化操作后还可大大地减少取样和测温的次数。

在炉内早期形成的碱度为3的炉渣,同时在熔化期把氧吹入熔池,保证能在熔炼期结束前完成脱碳任务。在氧化期内不把石灰加入炉内,而在熔化末期从炉盖孔或炉前用加料机补加小批渣料来补偿为了更新从炉内自动流出和放出的那部分渣。图中示出熔炼时金属内磷含量与成品钢中磷含量之间的关系,此结果是在100 t高功率电炉炉内还原氧化渣时得出的。这种工艺,即图中的方案(I)曾被ОХМК和乌兹别克冶金厂采用。而图中的方案(II)是由马钢(КМК)和黑色冶金研究院(НИИМ)共同研究制订的。两种方案的数据基本相符,但是方案(II)的熔炼时间可缩短10~15 min,此外还可减轻繁重的劳动,并可节约脱氧剂。

规定钢中的硫含量为0.010~0.020%时,出钢时在钢包中进行脱硫是合理的,这种方法曾在KMK用来生产除轴承钢以外的合金钢和低合金钢。这种工艺的特点是氧化末期从炉内去除部分炉渣,按计算加入0.10~0.140%的硅使炉内钢水脱氧。炉内剩余的炉渣与15~25 t的

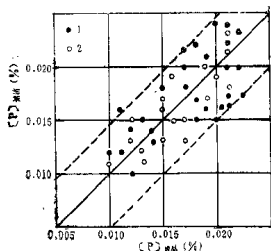


图 熔清时钢水含硫量 $(P)_{\text{熔清}}$ 与成品
钢含硫量 $(P)_{\text{成品}}$ 之间的关系

钢水一起出到钢包内,与此同时把石灰、萤石和铝粉、铝块加入钢包。中断出钢若干分钟后直到包内形成活性无氧化铁炉渣时,把脱氧剂加入钢包,然后再把留在炉内的钢水出净。在出钢过程中将氩气吹入钢水,钢中的硫含量能降到0.010~0.020%,甚至当炉内钢水中的硫含量为0.08~0.07%时也能降低到0.010~0.020%。

在钢包内无氧化铁渣存在和钢中残铝含量很低的情况下,对以后钢水的真空处理没有妨碍,因为铝的含量已相当低,所以在吹氩处理或真空精炼初期,铝可全部氧化。

在必要时,为保证钢中硫含量低于0.003~0.010%,在钢包中吹入钙的化合物粉料(硅钙、石灰和其它物质)或者用炉渣在炉子中或在钢包中进行脱硫,此时,钢水在从炉内出钢过程中应该与炉渣分离。当在炉内按照工艺进行熔炼,出钢后留下全部炉渣和部分钢水即达到炉渣分离的目的。此后再把要进行冶炼的废钢加入炉内,炼过几炉以后再从炉内倒出全部金属和炉渣,并进行补炉。在乌兹别克冶金厂试验的这种工艺证实了它的优点:增大了在炉内的流量,并提高了在熔化期的平均有功功率。

在掌握变压器容量为50~63MVA的100t电弧炉试验的基础上指出,进一步增加炉子生产率在工艺上是可能的。为此,必须增加炉料、注锭及向炉前输送废钢的通过能力,增加机械化传送并装入散状料和铁合金入炉及精炼钢包的能力,增加相应的钢水炉外处理手段。

译自《Сталь》1986年第4期

刘仁刚 译 李吉夫 校

三、电 弧 炉 的 功 率

现在与将来的设备

E.C. Howard 等

钢的生产必须提高生产率和质量才能保证在当前市场上的竞争力。为达到这一目的,当前正在建设生产优质钢的高生产率的电炉车间。虽然受到炉子设计和投资能力的某些限制,

但现有车间的装备还能适应改善生产率的要求。然而，人们却忽视了对现有装备及新设计炉子的最大生产能力的开发。

(一) 现在的电炉车间

虽然电炉车间的结构是头等重要的，但是电炉变压器和次级电路能力的分析可以使生产能力得到显著的改善。这种分析应当考虑下面的设计特征：

1) 变压器的额定值；

2) 抽头的数目（正在使用的一个抽头除外），全容量抽头的数目，减少容量的抽头数目和它们各自的电压；

3) 在操作或短路时次级电路（包括变压器）的阻抗。

上述数据一旦确定，就可以列出变压器静态功率特性的表格，以便表示每个抽头旋钨所预期的输入功率值。这种分析用一种经典格式的例子表示，见表 1。

表 1

制定输入功率格式的例子

抽头数目	抽头电压 (V_t)	变压器能力 (kVA T_r)	电弧电流 (kA I_a)	功率因数 ($\cos\phi$)	输入功率 (kW P_o)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

这是从最高电压到最低电压的抽头一览表。抽头电压 V_t 是标在每个抽头上的电压。变压器的能力 T_r 是变压器在每个抽头上的最大能力，并且必须计算在减少容量时每个抽头的电压。对于全容量的抽头，必须列出变压器的 kVA 最大额定值 T_r 及计算电弧电流 I_a 。对于减少容量的电弧电流，还应当列出从最低全容量抽头到最低电压抽头的恒定电流。

每一个全容量抽头的电弧电流 I_a 用(1)式计算：

$$I_a = \frac{T_r}{\sqrt{3} V_t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中,

I_a : 电弧电流 (kA);

T_r : 变压器能力 (kVA);

V_t : 抽头电压 (V).

每个抽头的功率因数 $\cos\phi$ 用 (2) 式计算:

$$\cos\phi = \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{3} I_a X_{op}}{V_t} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中,

$\cos\phi$: 功率因数;

X_{op} : 炉子和变压器的电路电抗 $= X_f + X_t$ (M Ω),

输入功率的 kW 值用 (3) 式计算

$$P_o = T_r \cos\phi \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中 P_o 为输入功率 (kW)。

这些计算指出, 输入功率值能以任一电压供电。通过对每炉输入功率 kW 值的监控, 能够确定在每个生产周期使用的选定功率, 以确保设备得到有效地利用。为了确定炉子的实际生产周期——一次装炉到下一次装炉的时间, 这种分析可以进一步展开, 並要通过两个附加变量即电弧电压 V_a [(4) 式] 和电弧功率 P_a [(5) 式] 的计算实现。

$$V_a = \frac{V_t \cos\phi}{\sqrt{3}} - I_a R_c \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中,

V_a : 电弧电压 (V);

R : 炉子电路电阻 (M Ω)。

$$P_a = 3 V_a I_a \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中 P_a 为电弧功率 (kW)。

然而, 炉子电路电阻 (包括变压器电阻) R_c 项可能不易得到。在这种情况下, $I_a R_c$ 项可以忽略, 因 R_c 值小並且 $P_a = P_o$, 可以假定 $P_a \cong 90 \sim 95 \% P_o$;

熔化炉料需要的时间 T_c 用 (6) 式表示:

$$T_c = \frac{W_c \times kWh / t \times 60}{P_a} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中,

T_c : 熔化炉料的时间 (min);

W_c : 炉料重量 (t)。

假定第一批炉料有 80% 熔化, 且第一次熔化废钢大约需要的能量是 327 kWh/t, 那么熔

化第一批炉料的时间 T_{c1} 用(6a)式表示:

$$T_{c1} = \frac{0.8W_{c1} \times 327 \times 60}{P_a} \dots\dots\dots (6a)$$

式中 T_{c1} 为熔化第一批炉料的时间(min), 熔化第二批需要的时间 T_{c2} (包括第一批未熔化的20%炉料和第二批全部炉料)用(6b)式表示:

$$T_{c2} = \frac{(0.2W_{c1} + W_{c2}) \times 327 \times 60}{P_a} \dots\dots\dots (6b)$$

式中,

T_{c2} : 熔化第二批炉料所用的时间(min);

W_{c2} : 第二批炉料重量(t)。

每一选定的功率需要单独计算时间。例如, 为了得到500kWh/t的输入功率, 需要的时间可以利用相应的 P_a 值按上面同样的方法计算, 对于任意 P_a 值的选定功率, 都应从500kWh/t减去327kWh/t。

对于不熟悉这些设备能力的工作人员, 通过选定额定标准输入功率的实际操作指导, 可以利用现有车间设备使炉子的生产率达到最大值。

(二) 新设备的设计

超高功率(UHP)和超级超高功率(SUHP)冶炼有很多好处, 包括高单位变压器容量即高kVA/t(到1000kVA/t); 水冷炉盖和炉壁; 输入功率的计算机控制; 二次精炼; 燃烧喷嘴; 废钢预热; 在整个熔化过程中利用吹氧使熔化和精炼合一的操作; 高功率因数熔化等。然而, 这种讨论将受到设计准则及其对生产能力影响的限制, 包括闪烁的控制, 变压器过载, 过程的计算机控制和能量补偿及节约。

1. 闪烁的控制

对于超高功率和超级超高功率设备, 防止和控制闪烁是一项重要的设计思想。供给一定出钢能力的变压器技术规范一旦确定后, 在接头点上的短路kVA值应该由钢厂确定。供电线路的抗扰性将确定安装在操作电路中防闪烁设备的数量。除静态不做功的发电机之外, 当闪烁是普遍存在的困难时, 例如, 在每次加料开始时和废钢倒塌时, 防闪烁设备数量的任何增加都会降低吨钢生产率。

下面的程序说明对一种潜伏闪烁问题的定量分析方法。

推导出包括变压器在内的炉子电路的静态功率特性(前面已经描述了)。

计算在每个抽头电压上炉子电路的电抗百分数 $\%X_f$ (方程7)。

$$\%X_f = \frac{X_{op} \cdot I_a}{V_t \sqrt{3} \times 10^6} \dots\dots\dots (7)$$

式中,

$\%X_f$: 炉子电路的电抗百分数;

X_{op} : 包括变压器在内的炉子电路操作时的电抗(M Ω);

V_t : 抽头电压(V)。

用(8)式计算短路时的电抗百分数 $\%X_s$;

$$\%X_s = \frac{T_r \times 100}{\text{导线短路能力, kVA}} \dots\dots\dots (8)$$

用(9)式计算每个抽头电压的短路时的反应功率 Q_s ;

$$Q_s = \frac{T_r \times 100}{(\%X_f \times \%X_s)} \dots\dots\dots (9)$$

用(10)式计算每个抽头电压上炉子正常反应的功率;

$$Q_f = \frac{T_r \%X_f}{100} \dots\dots\dots (10)$$

用(11)式计算每个抽头电压上反应功率的波动;

$$\Delta Q = Q_s - Q_f \dots\dots\dots (11)$$

用(12)式计算初级电压波动的百分数 $\%dV$;

$$\%dV = \frac{\Delta Q}{\text{导线短路能力, kVA}} \dots\dots\dots (12)$$

一般地说,初级电压的波动 dV 超过2.5%时,就必需采取防闪烁措施。波动值在2~2.5%时,可以采取防闪烁措施,如果存在困难时,应当由钢厂考虑决定。波动值小于2%时不必采取任何防闪烁措施。

可以采用监测初级电压波动的装置,由操作者视闪烁情况决定改变负载抽头上的旋钮,从而控制闪烁,然而,如果为获得低于2.5%的电压波动需要2~3个以上的操作步骤时,为了增加炉子电路电抗 X_f ,建议在电路中添加一个电容器来防止闪烁。当利用计算机控制时,电容器的额定值可以小一些。这种方法不包括功率因数对校正反应器和电容器的影响,但应举例说明可能涉及的最坏的情况。

2. 过程的计算机控制

对一个炉子的输入功率,目前的趋势是在整个周期里在高抽头点改变抽头值。为了控制熔化时的弧长,只改变变压器的旋钮位置。然而,大多数变压器都是有并联抽头的。输入功率的计算机控制能最大限度的发挥每个抽头的作用,还能控制每个抽头变压器的旋钮位置。因此,输入功率的计算机控制除了使班组与班组操作标准化以外,还能使设备利用最佳化。计算机功率输入程序很容易改变,以满足操作者的需要。

3. 变压器过载

在美国,变压器铭牌上给出55℃时额定值kVA及在65℃时约高于额定值12%的kVA值。如果计划变压器在高于12%过载下工作,最好通知变压器生产厂商,以便使变压器的设计做相应的改变。在日本,使用类似的铭牌kVA额定值,但是变压器在120%过载下工作,不考虑在65℃时铭牌上的kVA额定值。另外,次级导线按给定的最大电流设计,超出设计极限将会引起意外的损坏事故。因此,如果需要在过载下操作,变压器和次级导线应当按增加的电流设计。评价过载能否引起事故,可以通过(13)式kva的RMS确定。

$$kVA \text{ RMS} = \sqrt{\frac{(kVA_1)^2 T_1 + (kVA_2)^2 T_2 + \dots + (kVA_n)^2 T_n}{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}} \dots\dots\dots (13)$$

式中,

T_1 : kVA_1 的时间 (min);

T_2 : kVA_2 的时间 (min);

T_n : kVA_n 的时间 (min)。

如果 kVA_{RMS} 在变压器的额定值范围内, 就不会产生问题。然而, 这种情况应当由炉子和变压器的生产厂商考虑。

4. 能量的补偿与节约

最可观的电能补偿源是燃气烧嘴, 燃气烧嘴补偿了电能, 但是还用等效的 kWh/t 表示。用燃气烧嘴节省能量的价值取决于天然气和燃料油的价格。能量节省可以不计, 但是, 增加生产率和改善炉内热平衡而降低操作费用更有意义。由于燃气烧嘴的电能补偿作用, 可以规定某些变压器在整个电路中以较低的 kVA 额定值工作。

另一个电能补偿是整个熔化周期里的碳-氧枪。为了保证足够的碳 (防止熔化时碳太低), 用生铁或其它含碳高的材料和废钢一起装炉, 整个熔化周期碳的燃烧产生热量, (脱磷除外), 同时, 使用合适的炉渣操作还能降低硫含量。

通过预热废钢 (使用炉气废热) 可以实现节能。此外, 预热钢包可降低出钢温度; 大的出钢口能快速出钢; 封闭炉子可降低温度损失, 采用这些措施均可达到节能的目的。封闭炉子意味着封闭炉顶, 关闭渣门或不设炉门, 在熔化期封闭出钢口以及使用由压力补偿器构成的封闭式电极孔。

在新设备中采用这些能量补偿和节能方案 (钢包精炼除外) 的目标是使吨钢电耗达到 $300 kWh/t$ 左右。尽管这种设备的变压器容量按今天的 kVA/t 标准显著的低, 但为了和超级超高功率 (SUHP) 电炉竞争而设计这种设备, 根据炉料重量不同, 一天也能出 17~19 炉钢。

5. 未 来

将来, 由于各种能量补偿和节能方案的实施, 电炉 kVA/t 额定值将不如现在增长的快。随着能量价格的提高, 在整个设计中考虑能量补偿和节能方案将会更为重要。而且, 由于老的和新的设备采用高效能源, 生产率的额定值将会继续增长。

译自《Iron and Steel Engineer》1983年第10期

牟慧研 译 李继宗 校

四、鲍勃考克·韦而考克斯公司第四

炼钢车间的设计和投产

L. S. Gonano 等

(一) 新炼钢车间设想的发展

1976年鲍勃考克·韦而考克斯公司 (Babcock & Wilcox Co.) 钢管部的一个新无缝管厂投产了。当时该公司用传统的电弧炉冶炼、铸锭、开坯、成材这样的流程生产所需要的棒材。由于增加新钢管厂，公司就必须增加炼钢生产能力并使之现代化。除了达到要求的生产能力外，新设施应尽可能在低操作成本下达到最高的生产率，生产出高质量的产品。因此，1984年投产了一座新的炼钢车间，它拥有一座超高功率电炉，一座钢包精炼炉和一台连铸机。本文将介绍其设计思想，设备特性及一些初步结果。

在增建新钢管厂之前，公司内的炼钢、棒材生产和钢管加工能力几乎是完全匹配的。现有设备条件已不允许生产力有什么增长。此外，改进已老化的设备来增加生产力，对降低成本并不是很有效的。显然，现代化措施中必须要有连铸机，这是设施中的关键设备。因为第三炼钢车间的五座旧炉子不可能实现高效率的连铸，所以必须配有冶炼时间能和连铸机连浇相匹配的新炉子，此外，连铸机必须能生产表面和内部质量符合许多产品技术规格的碳素钢和铝镇静合金钢，而且不必修磨。这个车间的产品是用以热加工或冷加工成专门管材的坯料，和经过热处理的热锻或冷锻棒材的坯料。在设计方案中有一钢包炉，其加热时间要尽可能短，使钢水能顺利送到连铸机上，并能保证钢的质量（化学成分、温度、脱氧），能准确控制各项参数。

产品规格要求两台棒材轧机中有一台能轧出 $\phi 63.5 \sim 228.6\text{mm}$ 的棒材。产品计划中有50%以上是 $\phi 76.2 \sim 165.1\text{mm}$ 的棒材，其中 $\phi 139.7\text{mm}$ 的占一半左右，这是供新钢管厂用的。由于连铸机不可能直接铸出全部产品规格，所以连铸机主要生产 $\phi 228.6\text{mm}$ 的方坯，再在558.8mm轧机上开成各种规格的坯料。同时，为了在不增加新的棒材轧机的条件下达到所需棒材生产能力，连铸机还应生产一定量的 $\phi 139.7\text{mm}$ 的圆坯，以便直接穿孔。此外为了使基建合理，新设施必须靠近第三炼钢车间，以便共同使用现有的废钢场、原料车间及布袋除尘室。钢水也可在两个炼钢车间之间输送，因此新炉炼的钢水也可送至第三车间铸锭跨浇注。

根据电炉和连铸机的大小，连铸机不能超过四流，浇注时间不大于80min。选用半径适用于 $\phi 228.6\text{mm}$ 方坯和 $\phi 139.7\text{mm}$ 圆坯的弧型连铸机是合理的。根据两种坯料预定的拉坯速度、四流连浇和最长浇铸时间，可得到电弧炉的公称容量为80t。由于所有冶金过程都在钢包炉内进行，所以电炉本身只是熔化设备而已。设定装料、出钢、补炉和钢水过热总共约需25min，而浇铸时间为80min，则熔化80t废钢时间为55min，这样可计算出变压器的额定功率。至此，新设施的构思已形成。简略的说，我们设计了一个产品全部是高质量的，但生产

力和规模都不大的工厂。

(二) 结果出现了一个新炼钢车间

1982年夏,耗资八千万美元的炼钢车间现代化项目开始建设。车间的主要特点是:

- 1) 一座80t直径为5.8m的克虏伯(Krupp)超高功率电炉;
- 2) 一座密特兰-罗斯钢包炉(Midland-Ross);
- 3) 一台四流密凯-阿尔贝德(Mecan-Arbed)弧型连铸机,弧型半径为10m,能铸方坯和圆坯。

图1为新车间的平面布置图。

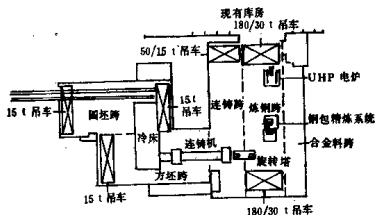


图1 第四炼钢车间平面图

气管是用直径为1090mm的水冷排气管弯管接管设计的。炉盖上的第五孔用以加渣料和增碳,以便造渣和形成泡沫渣。脱碳和助熔用的氧气是通过渣门,用电机驱动、气压固定的自动自耗氧枪吹入炉内的。氧流量为 $22.6 \sim 56.64 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 。浸入式虹吸型出钢口的斜度为 24° 。电极圈直径为1240mm。钢水出到钢包车上的钢包内,车上有电子秤。电弧炉出钢时可前倾 38° ,流渣时可后倾 10° 。用热电偶连续记录炉盖水冷块和炉壁水冷块的进出口水温,同时也记录炉底温度。

2. 钢包精炼系统

它由一台12MVA变压器供电。电极直径为350mm,炉盖直径为3.35m,它座在包沿下250mm的法兰上。包盖下砌有70%高铝砖的防热层,用四个液压机械同步汽缸升降钢包盖及其平台。合金料斗与包盖相连,因此在负压下合金料和渣料也能加入钢包。打开包盖上的窥视孔可用测温枪和取样枪进行测温 and 取样。另外,可用三支克萊西特(Clesid)喷枪通过在该窥视孔进行喷粉。包壁装有喷嘴,可吹入氩气搅拌钢水。最后,钢包在整个处理过程中座装有电子秤的钢包车上。

3. 连铸机

四流连铸机的弧型半径为10m,到切点辊的冶金长度为15.5m,到火焰切割机为26.5m。钢包回转台的回转半径为4.26m。回转台可提升,称量,可安置两个钢包进行连浇。有两台中间包车,可以提升、旋转、称重,上放“T”型中间包。中间包长5.8m,工作钢液面深为710mm,在工作水平时钢液容量为15t。中间包砌有轻质硅砖的绝缘层和硅砖的永久层,工

1. 炉子

电弧炉由一台60MVA变压器送电,配有负载转换开关和三角形短网。炉子设计用长弧、高功率因素、单相开关调节器来操作。电极直径为550mm,长2790mm。炉盖、炉壁都是水冷的。渣线用镁碳砖砌成,炉盖电极圈用70%氧化铝砖砌成。炉壁上有三个燃氧烧嘴,彼此相距 120° ,每个烧嘴的额定值为 $1.25 \times 10^4 \text{ kJ/h}$ 。炉盖上的第四孔是排烟孔,排

作层则是低铝砖。每次使用前喷涂氧化镁。在钢水“T”型注入处与中间包主体间砌有耐火材料的挡渣堰。

用油压控制的铝碳塞棒控制钢流。方坯结晶器由四块倒角的铜-铬-钼合金板组成，长700mm。圆坯结晶器由铜管整体制成，长度相同。每种结晶器下部有两组足辊，每组四根，并有三组喷水管，每组有六个喷头。圆坯结晶器内装有罗丹莱克（Rotelec）型电磁搅拌线圈。结晶器振动频率为25~200c/min，幅度为0~12.7mm。

用钴60液面测定仪及塞棒自动控制系统能在某一拉坯速度下调节结晶器内的液面。在足辊下方有一长为13.7m的扇形段，浇方坯时这扇形段有六组辊子，每组四根，浇圆坯时只有四组。足辊和扇形段的辊子都用水润滑。在第一个扇形段里有六个喷水环，第二、三、四扇形段是类似的，可以互换，扇形段内只有钢坯和引锭杆的导辊。在第二扇形段内有八个喷水环，以组成五个单独的喷水区。第一个喷水区是足辊；第二个是第一扇形段的前三个环；第三个是后三个环；第四个是第二扇形段的前三个喷水环；第五个是后五个喷水环。方坯用的喷水环有四个喷嘴，互为90°。圆坯用的也有四个互为90°的喷嘴，但环与环之间错开45°，可以设定10种喷水制度。

每流有三个拉坯和矫直系统，可调节拉坯速度和矫直铸坯。链式引锭杆长19.8m，装有中空快速脱钩机构。铸圆坯时引锭杆上装一转换器，即可从方坯变成圆坯。在坯料出口附近存放引锭杆。四台曼塞-格雷斯申（Messer-Griesheim）气割机按预定长度切断坯料。方坯横向送到垫木上，由吊车堆垛。圆坯则横向送到回转式冷床，冷却到300℃左右打捆，再用吊车装车。有一台简单的数字自动打号机，在每块坯料上打上炉号，注流号和坯号。

4. 计算机

用三台荷立脱·帕卡特1000（Hewlett Packard 1000）型计算机监控。这些计算机为整个车间提供调度用的数据，跟踪全过程，把所有仪器和人工输入的数据记录下来，并能提出报告，为数据分析提供方便。电弧炉的计算机具有冶金模型和热模型，以控制输入的能量，监控水冷炉壁的水温，根据这温度调节变压器级数和氧的供应，并计算合金料的加入量。

5. 合金料系统

大多数合金料用载重汽车运来，倒入车间地平面上的料仓内，再用皮带输送机送入炉子操作平台的料仓。石灰和碳粉则由气体输送车辆供应，送入高于炼钢厂地平的料仓。块料用铲车装入钢包加料用的料槽。钢包炉微调的料仓也用铲车加料，并有自动称重、加料系统。用皮带输送机向四个高位料仓供料，以便从电炉第五孔加渣料和碳。

6. 其它

在炼钢跨有两台180t吊车负责料篮和钢包的运输。钢包炉钢包采用两台水平预热设备预热。共有六个钢包炉钢包和三个出钢钢包。钢包炉钢包装有NKK20型旋转水口，包底用70%铝砖砌成，包壁用80%铝砖砌成，渣线用90%镁砖砌成。出钢钢包采用NKK20/40型旋转水口，全部用70%铝砖砌成。用直径分别为4.9m和4m的两个料篮装料。在浇注平台 and 中间包修理区有一台50t吊车，在连铸机出坯、卸坯区有三台15t吊车。建了一个新的水处理厂，以满足设施对水质的要求。