

冲天炉 熔化低碳铸铁法

符克列夫著

机械工业出版社

冲天炉熔化低碳铸铁法

符克列夫 著

张忠莹 译

低碳铸铁是一种机械性能较好的材料，其价格也较铸钢及其他合金便宜，因此采用甚广。但如何在冲天炉中熔化预定碳量的铸铁，则是一个较重要的问题。本书的内容，基本上就是围绕着这一问题而加以系统地说明，如在炉内低碳铸铁的增碳现象，操作时各个环节的影响以及如何选择合理的熔化规范等。

本书可供铸造工程师、技术员以及机械制造高等学校铸造专业的学生参考。

冲天炉熔化低碳铸铁法

[苏] В. А. Фуклев 著

‘Малоуглеродистый чугун из вагранки’

(Машигиз 1950年第一版)

张忠莹译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第111号)

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 4 · 字数 105 千字

1955年7月北京第一版 · 1973年3月北京第二次印刷

印数 1,801—258,000 · 定价: 0.70元

*

统一书号: 15083.0943



目 次

绪论	1
第一章 冲天炉熔化中几个主要因素对低碳铸铁熔化过程的 影响	4
送风量的影响	4
理論上熔化所需风量(5)——送风强度对金属增碳程度的影响(11)—— 預热送风及其对低碳铸铁熔化过程的影响(17)	
燃料的质与量对低碳铸铁熔炼过程的影响	22
木炭(23)——泥煤及泥煤焦(23)——无烟煤与热炼无烟煤(24)——铸造 焦炭(25)	
燃料的消耗量	34
焦炭消耗量对铁水增碳程度的影响	36
金属炉料及其对熔化过程的影响	39
每批金属料的重量对熔化过程的影响(41)——炉料的化学成分及其增碳 程度(41)	
温度规范对低碳铸铁熔化过程的影响	43
底炭高度的影响	46
炉料层的高度	49
冲天炉各部分构造的影响	51
熔渣及其对熔化过程的影响	55
第二章 冲天炉中燃料的燃烧情况	58
燃烧的化学反应过程	58
在每层燃料中碳的燃烧情形	60
底炭层中的燃烧带	65
燃烧率和燃料消耗量	67
冲天炉中气体的移动	70
废气的成分	73
废气的温度	75
第三章 冲天炉内炉料的性能及其增碳过程	77
炉料的下降	77

IV

冲天炉中低碳金属料的化学与物理变化	81
預热带(81)——熔化带(86)	
钢料与铸铁炉料的熔化特性	88
铁水流过底炭层与此时发生变化的过程	90
在风口以上底炭中所进行的过程	90
在风口以下(炉缸)底炭中所进行的过程	92
在底炭层中金属的增碳过程	93
第四章 在冲天炉中保证熔化低碳铸铁的条件	97
冲天炉各部分的构造形状	97
炉料	99
金属料(99)——焦炭(101)——熔剂(101)——底炭(102)——金属层料 和燃料层料(103)	
低碳铸铁的熔化规范	106
炉料的计算和熔化的主要参数的决定	110
熔化前炉子的准备	114
第五章 低碳铸铁熔化过程的控制	115
送风量的控制	117
铁水化学成分的控制	117
铁水温度的控制	118
参考文献	120
中俄名词对照表	123

緒 論

熔化铸铁的井式炉,早在十五世纪时就已出现了[1]。逐步地改变自己的构造,最后到十九世纪,它已获得了约像现在叫做“标准冲天炉”的构造,并且已在这一百五十多年中,成为熔化铸铁的主要炉子。同时在这近百年来,在冲天炉内熔化铸铁的工艺,也几乎是沒有改变。这完全是很自然的,因为在不久以前,冲天炉重熔过程的主要的,也许是唯一的任务,只是把固体的铁料变成铁水,并把铁水过热到足够的温度。

正因为有这样的看法,故在很长一段时期中,对冲天炉的技术观念,主要只当作是一个单纯的热功问题来研究,以便使冲天炉能像熔炉一样来提高其效率。

只有在后来,对铸铁件的质量提出高的要求后,才能作为近廿年来出现许多为了研究冲天炉内的低碳炉料增碳情形和熔化过程的实验工作的原因。

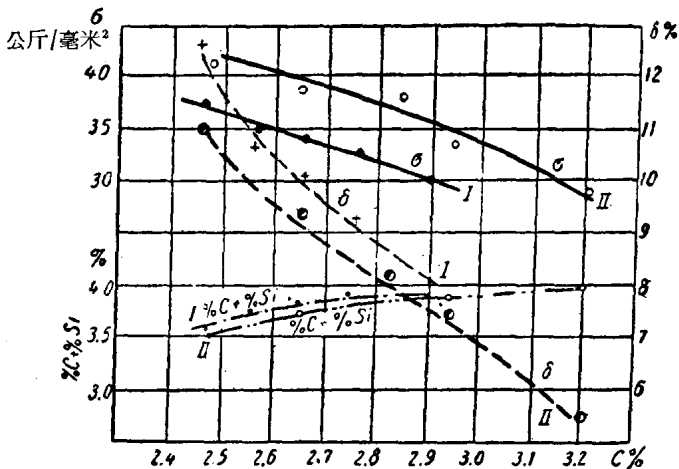


图1 冲天炉熔化的可鍛铸铁的机械性能与其中含碳量关系。曲线I为相当于硬度为HB123試样的数值。曲线II为相当于硬度HB143試样的数值。

现在这些问题的解决变为更迫切了, 因为几乎现代所有制造优质铸铁件的方法, 都与减少石墨的数量与改善石墨的形状有关。因此研究一下能降低铁水含碳量的几个因素, 是有着很大的现实意义的, 尤其是对于生产可锻铸铁, 因为可锻铸铁机械性能的改善是与降低金属中的含碳量有着密切关系(图1)。

在一般性与专业性的参考文献中, 也发表过许多关于冲天炉与冲天炉操作的文章, 但大部分都只讨论一些普通问题, 如冲天炉适宜尺寸的决定, 炉子工作的经济性, 空气与燃料的合理消耗量。

在有关的参考文献中, 关于熔化过程中冶金方面的问题, 同样也有很广泛的叙述, 尤其是关于在冲天炉中熔化低碳铸铁的问题。但是直到现在, 在这方面, 还有许多不明确的地方和相反的意见●。

同时我们也不应该不注意到, 在实际掌握特殊牌号的低碳铸铁熔化过程方面的巨大改进。我们已经用不到再去讲述关于利用双联法熔化优质低碳铸铁的生产情况, 因为这个方法, 已在我国(苏联)许多大型企业中应用, 并且取得了良好的成绩, 而某些工厂则已经掌握了直接从冲天炉中熔化可锻铸铁的方法了。

从上述许多专门研究低碳铸铁熔化的铸造工作的分析中可以看出, 它们每个在掌握熔化过程中对解决有关冶金方面与工艺方面的问题, 都是自搞一套, 因此, 在这方面耗费了许多时间, 并且有时还犯有同样的错误。

在很长一段时期中, 都以为熔化低碳铸铁, 唯一可能的方法是用任意两个炉子联用的双联法。在这种情形中, 用作熔化低碳铸铁的冲天炉的设备, 只限于改变一下它的炉缸部分以减少熔融铁水的增碳程度。至于铁水的过热, 则是在冲天炉炉外来完成。这倒并不特别, 因为一般的熔化操作规范, 不能保证铁水得到足够高的温度。

● 参看附于本书末頁的下列参考文献: №2、4、5、7、9、10、11、12、13、14、15、16、17和18。

在卫国战争时期中,由于电力的缺乏,使制造适当组合炉的可能性受到限制,许多工厂不得不放弃双联法操作,而必须直接从冲天炉中熔出足够过热的低碳铸铁。

这个问题是用改变冲天炉的一些构造和编制冲天炉操作的特殊规范的方法而解决的。

上述第一种和第二种措施,只有在对冲天炉熔化中的基本因素对低碳铸铁熔化过程的影响和随着熔化过程而产生的物理-化学现象具有明确的概念时才能实现。

本书的主要内容是叙述在炉子内所发生的冶金过程与物理-化学过程,炉子结构的特点和保证直接在冲天炉内熔得低碳铸铁的工艺方法的特性等理论上的与实际上的问题。

第一章 冲天炉熔化中几个主要因素

对低碳铸铁熔化过程的影响

在冲天炉的熔化操作中,有决定性作用的几个主要因素,是:送风强度,送风的预热,燃料的性能与其消耗量,炉料的成分,每层炉料的高度,是否具有前炉。

本章仅就上述几个主要因素,一一加以说明。

送风量的影响

正如在实际工作中所指明的那样,冲天炉的正常工作在很多情况下是与鼓入的风量和焦炭的消耗量有着密切关系的。

很久以来,在铸造生产中,对鼓入冲天炉中的风量,总没有给予应有的注意。当需要提高铁水温度时,铸工们往往去增加焦炭的消耗量。甚至,在某种情况下,由于鼓入冲天炉内的风量不足,才造成的低温铁水,也想用这种方法来提高它的温度。

可引用这样的一个事实来作为例子,在伏罗希洛夫农业机器制造厂内,很长时期不能把铁水温度提高到 1320°C 以上,即使把焦炭消耗量增加到 $15\sim 16\%$ 那样高,也不成功。

我们对这个炉子的工作加以研究,就发现所用的鼓风机过小,当送入风口前的压力为320毫米水柱高时,分配到每米²炉子截面上的风量只有 $83\text{米}^3/\text{分}$ ●。

当在这炉子上调换一个功率较大的鼓风机后,在风压为500毫米的水柱高,送风量在每平方米上能达到 $110\text{米}^3/\text{分}$,同样在焦炭消耗量为 15% 时,铁水温度就从 1300°C 提高到 1380°C 。可惜,在工厂中还遇到不少这样的情况。

● 以后风量单位就用‘ $\text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$ ’表示。——译者

送风会影响气相的成分、燃料的燃烧强度、铁水的熔化速度以及在冲天炉内所发生的冶金反应过程等。当送风量不变时,焦炭的消耗量愈多,则废气中所含的 CO_2 就愈少,也就是说燃料燃烧完全程度的系数愈低,因此炉子的效率也愈低。照例,送风量与焦炭消耗量不相适应等,是会引起对正常熔化过程的破坏的。当焦炭消耗量提高,而送风量不足时,冲天炉的工作情况就与煤气发生炉的工作情况相类似。在这种情形中,给 CO_2 的还原造成了有利的条件,因此就大大地降低炉子的效率。

因此,气相的成分是与送风量有关的。熔化温度的规范在很多的情况下也是与送风量有着密切的关系,因为影响着燃料的燃烧速度与气相的成分的送风量必定会影响到冲天炉内的温度,以及熔化带内热量的集中程度。

葛佐采夫斯基 (Гцуцевский) [19] 曾做过试验,当焦炭的消耗量为 17% 时,他把一个炉子的风量的消耗,从每平方米 $113 \text{ 米}^3/\text{分}$ 增加到每平方米 $140 \text{ 米}^3/\text{分}$,发现被熔铁水的温度已从 1390°C 提高到 1435°C 。

就只这一个例子,已足以说明冲天炉熔化工作的最好条件,是与送风量的多少,有着极其密切的关系。

理论上熔化所需风量

送风量,一方面应该保证燃料燃烧的 necessary 程度,另一方面是还应该保证冶金过程的正常进行,后一点,在熔化低碳铸铁时,更为重要,因为金属的增碳程度,是与送风量有着密切的关系,这一点以后将有详细说明。熔化所需空气的体积,可以按照炉子的截面面积来计算,也可以按照熔化金属的重量单位来计算。

在这两个方法中,我们认为根据炉子截面面积来确定风量的方法较好,因为采用这个方法,可以同时判断炉内气流的可能速度,这就更能足够说明炉子的工作情况。

把一公斤碳燃烧成 CO_2 , 须要 $\frac{32}{12} = 2.66$ 公斤的氧气或相当

的空气量:

$$2.66 \times \frac{100}{23} = 11.6 \text{ 公斤}$$

(式中 32 及 12 为氧与碳的分子量, 而 23 为空气含氧的重量百分比)。

采取空气的比重(在 0°C 及 760 毫米水银柱压力的情况下)为 1.293 公斤/米^3 , 那末, 要将一公斤碳完全燃烧时, 就需要空气

$$l = 11.6 \times \frac{1}{1.293} = \frac{11.6}{1.293} = 9 \text{ 米}^3$$

如果把一公斤碳, 燃烧成 CO , 就相应的需要 4.5 立方米的空气。事实上, 在冲天炉内燃烧成的废气, 总是 CO 与 CO_2 的混合物。

燃烧率, 可以用燃烧成 CO_2 的碳量, 与燃烧掉的总碳量(即燃烧成 CO 与 CO_2 的总碳量)之比来表示:

$$r = \frac{C_{\text{CO}_2}}{C_{\text{CO}_2} + C_{\text{CO}}}$$

式中 C_{CO_2} —— 为燃烧成 CO_2 的碳量;

C_{CO} —— 为燃烧成 CO 的碳量, 可用重量单位, 也可用重量百分比来表示。

如果说在煤气发生炉内, 最好是要造成保证在煤气中没有 CO_2 的条件, 也就是要使 $r \rightarrow 0$, 那末, 在冲天炉内, 我们要采用一切方法来使燃烧率尽可能接近最高值, 也就是要创造条件, 使代表燃料燃烧率的值能接近 1 ($r \rightarrow 1$)。设燃烧率的值为 r , 燃烧一公斤碳所消耗的空气量为 l_r , 如果空气中所有的氧在燃烧过程中全部消耗掉, 没有剩余, 则 l_r 可用下式表示出来:

$$l_r = \frac{l}{2}(r+1) \quad (1)$$

式中 l —— 把一公斤碳燃烧成 CO_2 时所需要的空气量。

燃烧含在一公斤焦炭内的碳所需要的空气量, 为

$$l_{k2} = \frac{k}{100} \times \frac{l}{2} (r+1)$$

式中 l_{k2} ——燃烧一公斤焦炭内所含的碳分所需要的空气量，燃烧率以系数 r 表示；

k ——焦炭中的含碳量(%)。

设以金属加料重量百分比来表示的焦炭消耗量为某一数值 K ，那末，消耗在熔化100公斤金属料的焦炭的所需的空气量为

$$L = \frac{k}{100} K l_r \text{ 米}^3 / 100 \text{ 公斤} \quad (2)$$

燃烧含在焦炭中的碳每小时消耗的空气质量可用下式表示

$$L_{uac} = \frac{Gn}{100} L = \frac{Gn}{100} \times \frac{k}{100} K l_r$$

或
$$L_{uac} = 10^{-4} n G K k l_r \quad (3)$$

式中 L_{uac} ——燃烧焦炭内所含的碳的每小时的风量消耗(米³/小时)；

n ——每小时内所熔化的金属批料数；

G ——金属批料的重量(公斤)。

每小时所熔的批数 n ，也可用炉子的生产量及金属批料的重量 G 来表示：

$$n = \frac{S}{G} \quad (4)$$

把式(4)代入式(3)，消去式(3)中的熔化批数 n ，则可得出下列每小时空气量的消耗的式子：

$$L_{uac} = 10^{-4} S K k l_r \text{ 米}^3 / \text{小时} \quad (5)$$

在冲天炉内空气中的氧，一部分是消耗在碳的燃烧过程中，一部分是消耗于氧化炉料成分中的个别元素，而它的其余一部分则留下来没有被利用。

故在冲天炉内，每小时消耗的总的空气质量可以用下式表示出来：

$$L_{uac.общ} = L_{uac} + L_1 + L_2$$

式中 L_{uac} ——为每小时消耗在燃料燃烧上的空气量；

L_1 ——为每小时消耗在金属氧化上的空气量；

L_2 ——为剩余而未被利用的空气量。

熔铁炉废气的分析证明，在其中含有不超过0.4%游离氧，它相当于没有被利用的空气量的2%。

至于消耗在氧气氧化炉料成分中某些元素的空气量同样也是不大的。设铁元素是靠送风中的氧气来氧化，而其他元素则借 FeO 中的氧气来氧化，那末氧化 100 公斤金属炉料所消耗的空气量为

$$3 \times \frac{100}{23} \times \frac{16}{56} \times \frac{95}{100} = 3.54 \text{ 公斤}$$

式中 3——铁的烧蚀；

56——铁的分子量；

16——氧的原子量；

95——炉料中含铁的百分比；

23——空气中含氧重量的百分比。

这个数量不会大于在燃料消耗量为最少时●，冲天炉工作所需要的空气量的4%。

因此得出结论，消耗在冲天炉内的 L_1 和 L_2 只是总空气量的百分之几。

这就使我们能进一步，如同其他论文中一样，忽略了在冲天炉中氧气的损耗，而把每小时消耗的全部空气量当做维持燃料燃烧所必要的空气量。

空气的单位消耗量，也就是在每一平方米的炉子截面面积上，在一小时内消耗在燃料燃烧过程上的空气量，可决定于：

$$\frac{\frac{L_{uac}}{\pi D^2} \text{米}^3/\text{小时}/\text{米}^2}{4}$$

根据公式(5)，在每分钟内空气的单位消耗量为：

● 即铁焦比为最高时。——译者

$$L_{y_0} = \frac{10^{-4} SK k l_r}{\frac{\pi D^2}{4}} \times \frac{1}{60} \text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$$

$$\text{即} \quad L_{y_0} = \frac{0.21k}{10^5 D^2} SK l_r \text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2 \quad (6)$$

式中 L_{y_0} ——空气的单位消耗量；即在一分钟内在1平方米炉子截面面积上所需的风量(米³/分/米²)；

D ——冲天炉内径(米)。

因为 $l_r = \frac{l}{2}(r+1) = 4.5(r+1)$ [参考公式(1)]，用这个数值代入式(6)，即可得到

$$L_{y_0} = \frac{0.94k}{10^5 \times D^2} SK(r+1) \text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2 \quad (6a)$$

设在式(6a)中，把所有常数，用一个系数 c 来代替

$$c = \frac{0.94k}{10^5 \times D^2}$$

$$\text{则得到} \quad L_{y_0} = c SK(r+1) \text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2 \quad (7)$$

最后这个公式，给出了冲天炉熔化操作时，表示炉子工作规范的各个变数间的相互关系。

在这时生产率与焦炭消耗量和鼓风规范间是相协调的。

由实际生产中，我们已深知，如果焦炭的消耗量不变，那末冲天炉的生产率是由送风量来决定的。当然，炉子的生产率，是随着送风强度的增加而提高的。而且，这个关系有许多人都认为是成直线的。但是，因为送风强度的变化，不可能不影响到从冲天炉炉料层中排出的废气的最终成分，也就是说影响到系数 r ，自然，如在公式(7)中所表示的，冲天炉生产率的增长程度，是与燃料的燃烧率有关的。

在送风量的消耗较低时（低于 $100 \text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$ 时），燃烧率的影响特别显著，这时在炉子里产生了与煤气发生炉的过程相类似的工作条件。因为在煤气发生炉中，由于燃料的煤气化， $r \rightarrow 0$ ，故当

一个炉子,本来送风量甚少时,如一旦提高了送风量,不但使冲天炉的生产率 S 立刻可以提高,而且也很显著地增加了燃烧率的系数 r 。

在我们的试验中,当送风量大约增加到 $100\sim 120\text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$ 时,生产率的增长是按一条曲线上升的,也就是不和送风量成同样倍数的增加。再把送风量约增加到 $170\text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$ 时,燃烧率系数 r 的变化不大,此时生产率的提高就与送风强度的增加成正比例 $\uparrow$ 。

当送风量过高时,如同高洛特采夫(Х. И. Колодцев)●的经验,与罗斯托夫采夫(С. Т. Ростовцев)在他的‘冶金过程理论’(1945年版第90页)一书中列举的资料所指出的, r 的数值是要随着风量的继续增高而降低,再根据公式(7)来看,生产率的增长程度显著的增加。

因此,生产率与送风量间的原则性关系,可以用如图2所示的

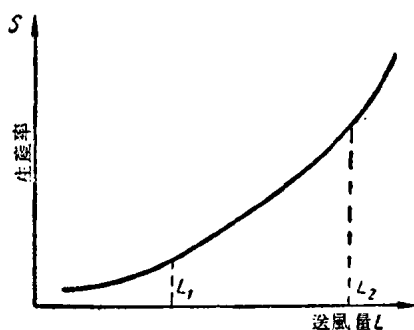


图2 焦炭消耗量不变时,生产率与送风量关系的原则性的特性曲线。

曲线来表示。根据这个曲线可以知道,开始在送风量不大时,增加风量,生产率的增长是较慢的。以后,在送风消耗量大时,比如取从 L_1 起,生产率的升高是与送风量的增加约成正比。当送风消耗量很高时,如从 L_2 起,则生产率的增加变得更快。我们所作的

焦炭消耗量为20%的试验,证实了这个关系,并指出了图表上的直线部分,相当于送风强度从120到 $170\text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$ 范围内的改

● 参考1948年“Известия Всесоюзного теплотехнического института”第10~16页,高洛特采夫所著“Исследование динамики газообразования в слое углерода при различном содержании кислорода в дутье”一文。

变。

送风强度对金属增碳程度的影响

正如以上所指出的,苏联研究者们,首先对送风量是否影响金属的增碳过程这一问题作出了肯定的回答。

但是,关于这个问题的报道,在有关的书籍中,只牵涉到质量方面的现象。

为了这个目的,我们曾特地做了一些试验,使送风强度在105到 $173\text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$ 的范围内改变,在这些试验中,我们企图不但要找出质量方面的特性,而且还要找出这种现象的数量方面的评价。在进行实验的条件下指出的数值,是有限制的,超过它不可避免的要引起熔化过程的紊乱现象。

薄弱的送风量会急剧地降低冲天炉的生产率,同时,也是提高铁水中含碳量的原因(在个别情形下,提高到3.0%和3%以上)。当焦炭消耗量为20%时,送风量超过 $173\text{米}^3/\text{分}/\text{米}^2$,也会破坏炉子的正常熔化过程,因为送风量过多,会把底炭很快的烧掉,加入的层炭,在这种条件下不能完全把它补足。这样就会降低底炭层的高度,往往也就是金属炉料落到风口区域来的原因,因而破坏了炉子的熔化过程。

空气消耗量过多,会引起风口区域中的铁水过氧化物,铁水一氧化,不但降低了铁水的浇注性能,同时也降低了铸铁的机械性能。

根据研究的结果画出了如下的曲线,它明显的表示出鼓风量对炉子的生产率和对炉中的铁水增碳过程的影响。

让我们引用试验的特性曲线来加以简略的说明。第一组试验,是由一系列的熔化组成,在熔化时所有的底炭高度完全高出风口平面1000毫米,焦炭消耗量保持20%不变,金属原料中的含碳量,也永远保持为1.15%,并定期的改变送风强度。在这些熔化中的一次中,开始八批料的熔化期间内,冲天炉内保证每平方米送风量 $150\sim 152\text{米}^3/\text{分}$ 。然后把送风强度略为降低。大约在第十一

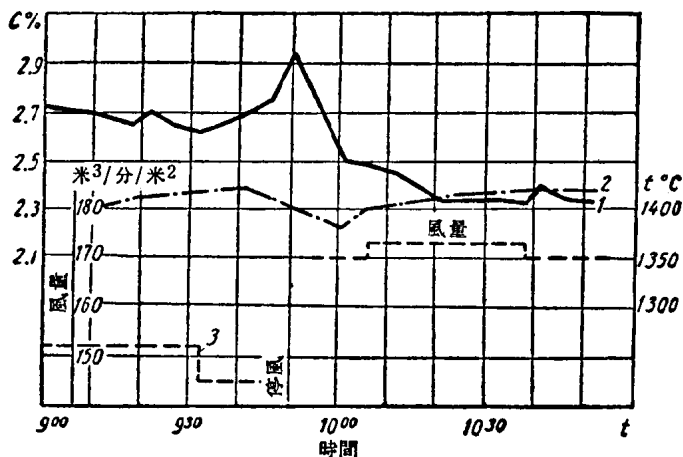


图3 改变鼓风量的试验熔化曲线：
1—含碳量；2—铁水温度；3—风量。

批料下降到熔化带时，完全停风9分钟，之后，又把风量提高到 $170 \sim 173 \text{ m}^3/\text{分}/\text{米}^2$ ，并一直保持到熔化终结为止。试验的结果，做出了相当于图3的曲线。这个试验证实了，增加送风量，有降低

含碳量的可能。送风一停，正如在这个试验中所发生的，铁水中的含碳量急剧增长，而铁水的温度则下降。由于停风（即所谓自然通风熔化）而使含碳量提高的原因，可作如此解释，一方面因为炉子的生产率急剧降低，另一方面因为在铁水滴落下的途中，没有氧化性气氛的存在。当送风强度增加时，铁水中的含碳量下降；反之当送风强度减低时，铁

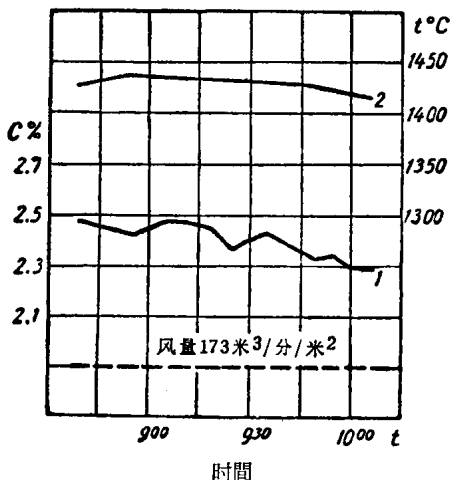


图4 在风量为 $173 \text{ m}^3/\text{分}/\text{米}^2$ 时，进行试验熔化的结果（熔化炉次A）1—含碳量；2—铁水温度。