

长寿高炉铜冷却壁

杨天钧 程素森

吴启常

余克事

北京科技大学

北京钢铁设计院

汕头华兴冶金备件厂

摘 要 作者已研制成功高炉用纯铜冷却壁并在首钢试用,本文进行了全面的传热学分析,结论是安全有效的。计算的工作参数和国外的设计极为吻合。作者并提出了工业材质与制造工艺的建议和实用方面的考虑。

COPPER STAVES FOR PROLONGING BLAST FURNACE CAMPAIGN LIFE

YANG Tianjun CHENG Susen

(University of Science and Technology Beijing)

WU Qichang

(Beijing Central Engineering and Research Incorporation of Iron and Steel Industry)

SHE Keshi

(SHANTIAO HUAXING Metallurgy Facilities Plant)

ABSTRACT The copper staves which were design and manufactured by as were tested on shou Gong commercial blast furnace. Through heat transfer analyes in detail. The conclusion is that safe and efficient. The calculates data are coincided with foreign design the suitable metesial, manufacturing technic and some practical consideration are put forward by the authors.

1999年宜昌炼铁年会,我们论及了高炉整个下部“湿区”应设计成一个大的冰箱^[1]。即把液态的渣和铁能冻结在炉墙的一定范围内。铜冷却壁给高炉围成了一道只有200℃的墙,高炉寿命可达15年以上。亦即至少在冷却壁的热面上能使渣铁有效冻结,而且不使冷却壁热面过热。这冷却壁热面的极限温度对铸铁来说约为650℃,对炉底、炉缸碳砖的热面来说为1100℃,对铜壁来说只有230℃。

在掌握水处理技术的基础上(使用不结垢、无腐蚀的冷却水),人们自然把目光集中在铜冷却壁的使用。目前世界铜壁高炉迅速增加到30座以上,铜壁在高炉上由只用两带增加到3~4带。铜壁安全吗?怎么制造?用什么材料?铜壁合算吗?按我们的研究和制造经验作如下的分析。

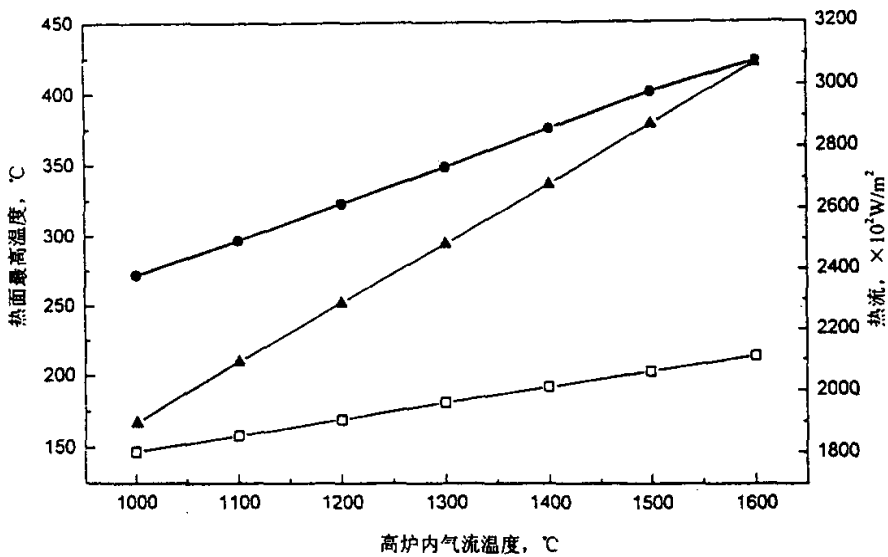
一 铜冷却壁的传热学分析

冷却壁的传热学分析方法和模型,我们已多次介绍^{[2][3][4]},不再详述。我们用以计算分析的铜壁由北京钢铁设计研究总院设计。本体总厚度135mm,镶砖厚度35mm,镶砖面积50%。分析结果见图1,即在不同的炉内气流温度下(实际也是高炉的不同部位),在铜壁热面裸露于气流中时,热面的最高温度和穿过热面的热流。图2是铜壁上凝有10mm渣皮时热面最高温度和热流。图3则是冷却水自铜壁带走的热量。

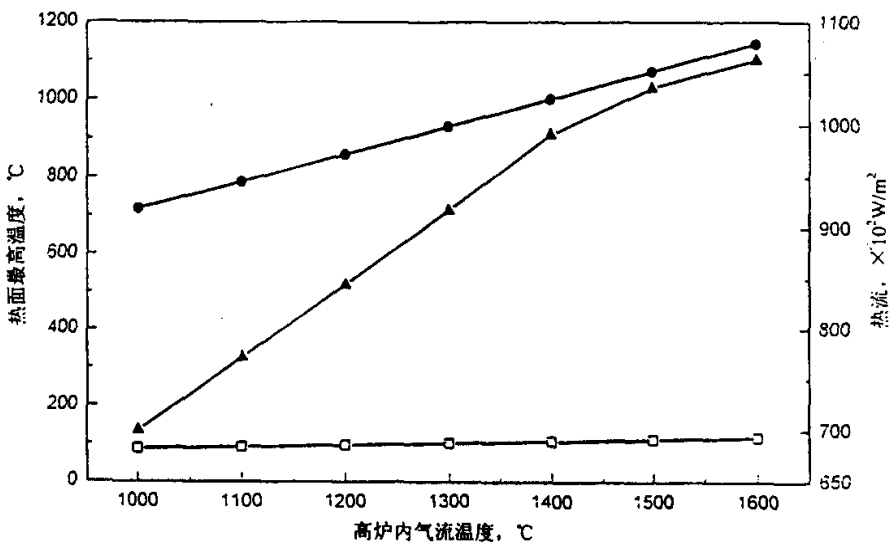
基于以上的计算结果,结论十分明确:

(1)在铜壁裸露时,其热面可承受的热流高达240kW/m²,而热面温度还可保持在铜的极限工作温度230℃以下。如果常规铸铁壁测得如此高的热流时,则说明冷却壁本体已烧毁只剩钢管了。

(2)更实际说,铜壁裸露的时间只会是极短的。在极限状态下铜壁热面总会凝有薄层渣皮(按10mm计算),于是它的热面温度将降到150℃的水平,热流只有上述的1/3(70~80kW/m²),这是铜件更安全的工作



—●—热面(键砖部分)最高温度 —▲—通过冷却壁热面热流 —□—热面(铜肋)最高温度
图1 在铜壁裸露时,高炉内气流温度对铜壁热面温度和热流的影响



—●—渣皮热面最高温度 —▲—通过冷却壁热面的热流 —□—热面(铜肋)最高温度
图2 在铜壁热面上疑有10mm渣皮时,高炉内气流温度对铜壁热面温度和热流的影响

温度。这样的热流水平也使操作人员放心,即铜壁的冷却热损失并不太高,和铸铁壁在同一数量级。以上计算结果也和德国报导数据是一致的。

二 铜冷却壁的材质分析

先看纯铜的机械强度(图4)^[5]。把纯铜的极限工作温度定在230~250℃,经常工作温度定在120~150℃是合理的。国外也是同样意见^{[6][7]}。

我国生产的纯铜板,按GB5231-85的TU2牌号,无氧铜(杂质总含量 $\leq 0.05\%$)是可满足铜壁制造的。主要是它的 $P < 0.03\%$,在240℃时导热系数达到 $370 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上。至于更高标准如TU1(杂质 $< 0.03\%$)

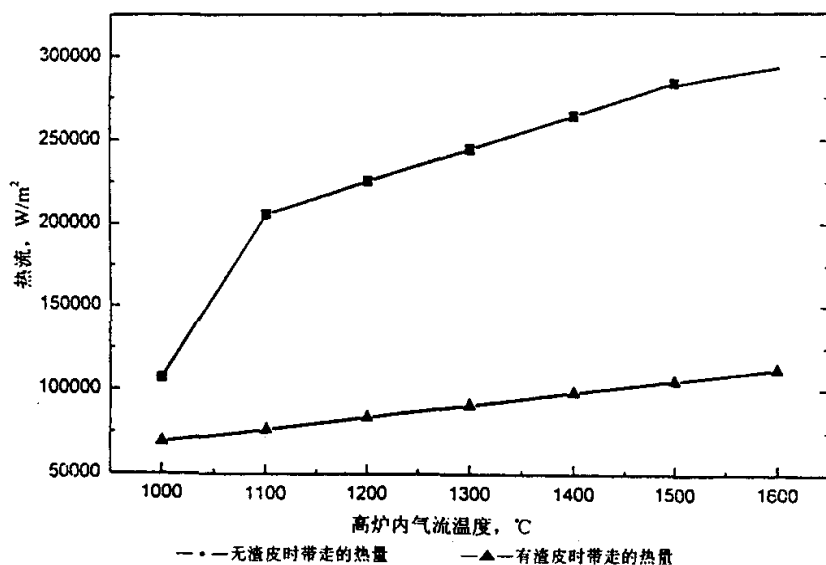


图3 高炉冷却水带走热量

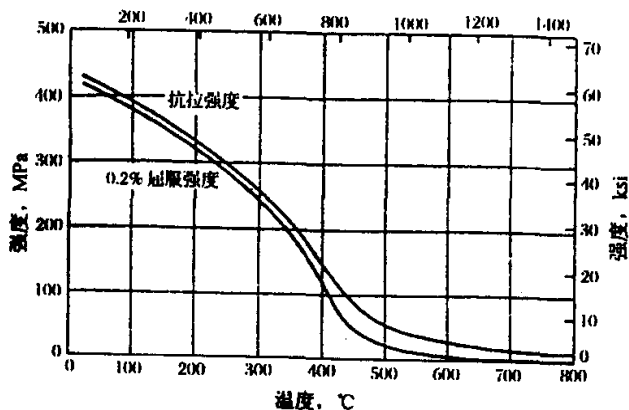


图4 不同温度下轧制铜板的机械强度

对冷却制造是不必要的。当然,考虑在热疲劳的条件下产生“氢脆”也可用其它牌号的国产纯铜,但不宜使用T2、T3和TP2。

生产控制化学成分的中心点是纯铜的磷含量,它和铜的导热性有如图5的关系。

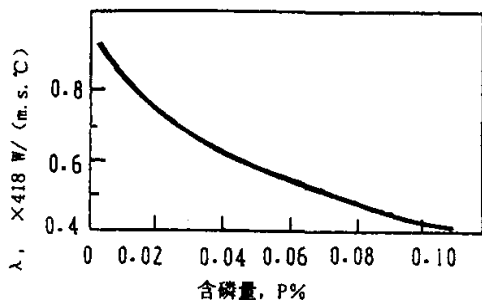


图5 20℃时纯铜中磷含量对导热系数的影响

关于纯铜的导热是不容易测的,作为日常生产控制可测其导电率(IACS%)它和导热系数的关系如图6,要求导电率 $IACS \geq 75\%$ 。

当前对于一些在高温下用水冷工作的铜件,其材质的变化趋势是在纯铜中加入少量的铬或锆等元素。它是用少量降低铜导热系数的办法来提高其机械性能。如用于转炉氧枪喷头、等离子发生器的水冷铜电极等效果良好。实际上这两个性能参数间有个平衡关系,例如,在电热系数降低10%的条件下,提高工作温度150℃是否可行?这在我们的传热学软件上是可以精确计算,从而指导开发的。

也有可能是在纯铜管或铜镍合金管外铸以纯铜,就和铸铁冷却壁内铸钢管一样,起钢筋作用。这也和纯铜加入合金一样,可以适当放宽导热性以获取机械性能的改善。

由研制和实际应用考虑,以上新的材质都可在第二、三期发展。当前还是以纯铜板制造较为成熟,成本也低。

三 冷却壁的制造工艺

铜冷却壁的制造工艺显然是可以多样的。第一类方法是在锻造的纯铜厚板上(镗)深孔,再焊上水管和外界连接。这是最初的做法,也是目前使用的绝对多数。我们起步也用这最成熟的办法。第一代产品(用于首钢)的水流通道与基准面(热面)的不平行度已小于0.85mm,对于冷却壁是完全可行。至于焊接技术在风口制造上已长期投入商业使用。图7是显示壁上有8个焊口的冷却壁全图。

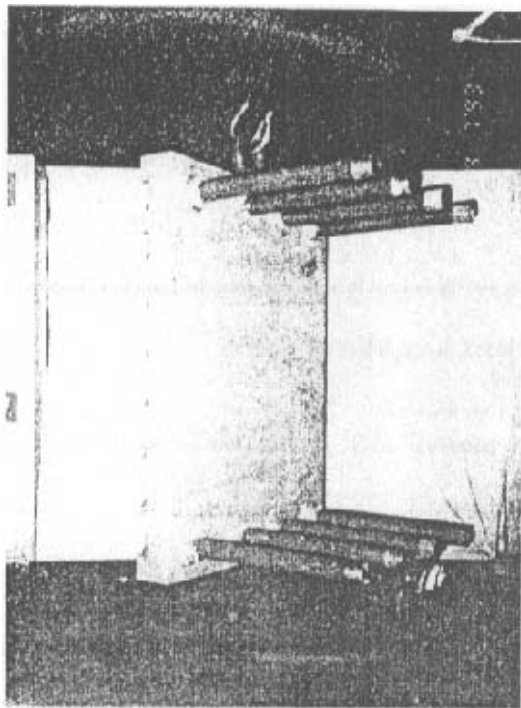


图7 汕头华兴厂制造的铜冷却壁

平方米冷却壁,而不是多少吨冷却壁。实际上,一吨铜壁的面积比常规铸铁壁至少大一倍,于是铜壁就相对便宜了。估计我们铜壁的制造成本当在6.5~7.0万元/吨上下。如鞍钢大高炉用两带日式宝钢产铸铁冷却壁或铜壁,则价格几乎相近。何况铜壁的这笔投资比耐材投资对高炉长寿的利益就大多了。

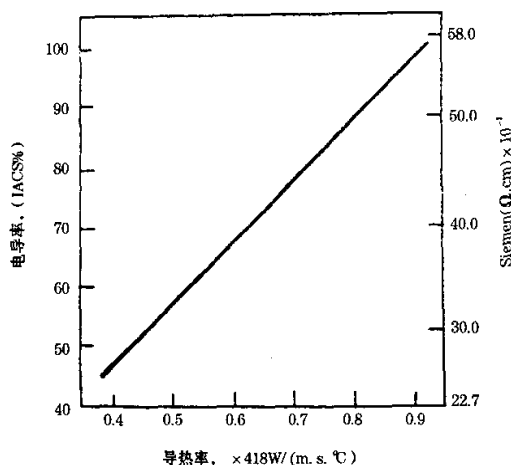


图6 室温时纯铜导电和导热关系

第二类方法是使用芯棒,在类似连铸机的设备上铸出带孔的冷却壁主体。当然,芯棒可以是椭圆断面,这在传热学性能上又会有提高。从开始开发阶段,这办法似乎麻烦了一点,而必要性并不大。可是由发展看,有利于大量生产。

第三类方法是如前所述即铸铜件内铸铜管或铜镍合金管,这同样是可开发的工艺。当然,铸铜可能会比锻造有较多的质量缺陷,但例如可用压铸等办法提高铸铜件的密度。

后两类方法是可以分别到第二、三期开发。

四 极限温度的自动保护

我们也必需承认我国现行高炉操作的不规范性。因而可能产生边缘气流的过分发展造成铜壁过热的可能性。在我们生产的铜壁上可以加装有效的过热报警,也可自动去提高布料流槽的角度,从而极迅速不受人为因素的影响去抑制冷却壁过热,给高炉长寿一个极限保护。当然,敏感元件只能是“焊”在壁体上,而不是“塞”在壁体上的。这个系统已开发成功。

五 铜壁成本

一吨铜壁比一吨铸铁壁贵。这是人们讨论铜壁的最直接的考虑。实际上应该考虑我们有用的是多少平

六 结论

(1)对铜壁的可靠性计算与国产化可行性研究业已完成,这是高炉长寿的关键技术。

(2)开发铜壁的第一期工作,宜首先试制纯铜板孔,并焊接的冷却壁,即最成熟的技术。将来,二、三期开发可试用不同的材质和制造工艺,如合金铜材和铸造工艺。

(3)我国 TU2 牌号(GB5231-85)纯铜或类似的含 $P \leq 0.03\%$ 的纯铜板是目前适用的国产化材料。

(上接第 105 页)

5 结论

由于材料性能与结构上的不同,铜冷却壁与铸铁冷却壁在安装及灌浆技术上有很大区别,前者为悬挂式安装,必须留足膨胀缝,只能采用低压灌浆;后者为砌筑式安装,可以使用高压灌浆技术。

LTV 钢铁公司 H-4 高炉安装铜冷却壁后,操作初期的效果比预期的好,铜冷却壁显示出更低、更稳定的温度,因此预计铜冷却壁可达到 12~15 年寿命。西德玛钢铁公司 B 高炉中修时安装了铜冷却壁后更好地控制了热负荷,铜冷却壁的安装有利于优化过程控制,并进一步提高生产率。2 家公司的经验表明铜冷却壁的优点是导热率很高,可以迅速并稳定地形成渣皮保护冷却壁,减少破损及热损失,避免在冷却壁壁体上局部形成热点。但是铜冷却壁的使用应该与改进炉料质量、精心操作、仔细控制气流分布相结合,应充分发挥高炉控制模型、布料模型的优势,并建立完整的高炉计量检测设备才能充分发挥铜冷却壁的优点,从而实现一代炉龄 15~20 年的目标。

参考文献

- 1 金觉生,黄金祥.高炉长寿与冷却管理.宝钢技术,1996(5):6~9
- 2 陶荣尧.高炉生产技术的发展.宝钢技术,1995(4):6~12
- 3 项钟庸.高炉炉体冷却技术的进步.宝钢技术,1994(6):1~5
- 4 L.Bout, H.Delenghe, M.Depamelare, et al. Installing Copper Staves and Operational Practice at Sidmar. Iron and Steel Engineer, 1999(6):43~50
- 5 J. Van Laar, Ir J E Van Stein callenfels. 高炉冷却和加衬技术.霍戈文钢铁公司技术资料,1997
- 6 Copper Staves for Blast Furnance Cooling. SMS 公司技术资料,1999
- 7 E.R.G. 埃克特, R.M 特雷克.传热与传质分析.科学出版社,1986.806~807
- 8 W.R.Hathaway, K.S.Nanavati, D.H..Wakelin. Copper Stave Installation in H-4 Blast Furnace Stack - First Results. Ironmaking Conference Proceeing, 1999:35~40
- 9 高炉冷却壁系统-铜立冷壁.世界金属导报,1998-06-30
- 10 西班牙 Aceralia 公司两座高炉的改造和扩建.世界金属导报,1999-04-20