

企业工艺革新快报

钼产品的中频炉快冷技术

张常乐

(金堆城钼业股份有限公司技术中心, 陕西 西安 710077)



张常乐

摘要: 阐述了中频炉快冷技术的原理及冷却效果。根据冷却原理对中频炉进行了改造, 在保留内循环纯水冷却系统的基础上, 增加了一套氢气循环快速风冷等统使之能够实现快速冷却。分析对比了自然冷却和快速冷却的时间及效率。检测了采用快冷技术后钼产品的性能, 结果表明, 快速冷却技术生产的产品性能均能达到金钼股份公司 Q/JDC 016-2008 企标要求, 该技术可大大提高中频炉的生产效率。现该技术已经成功地在生产中实际应用, 取得了很好的经济效益和社会效益。

关键词: 中频炉; 快冷技术; 性能; 钼板

中图分类号: TF806.5; TF481.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-3962(2012)04-0055-03

Fast Cooling Technique of Intermediate Frequency Furnace for Molybdenum Products

ZHANG Changle

(Technical Center, Jinduicheng Molybdenum Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: The principle and the cooling effect of fast-cooling technique for intermediate frequency furnace are described in this paper. The intermediate frequency furnace was modified according to cooling principle, increasing a rapid cooling system of hydrogen cycle on basis of circulating water system, to enable it to achieve rapid cooling. Comparing the time and efficiency of natural cooling and rapid cooling, results show that the performance indicators of molybdenum products in the fast-cooling technology have reached the molybdenum Q/JDC 016-2008 enterprise standard requirements and the technology can greatly improve the production efficiency of the intermediate frequency induction furnace. Now the technology has been successfully carried out the actual production applications, has achieved good economic and social benefits.

Key words: intermediate frequency furnace; quick cooling technique; performance

1 前言

中频感应烧结炉(以下简称中频炉, 结构如图1所示)是一种将工频(50 Hz)交流电转变为中频(300 Hz以上至10 000 Hz)电源装置, 配上感应线圈及补偿电容器, 应用电磁感应原理的加热设备, 广泛用于金属行业的熔炼、加热。炉温高达2 200 °C, 可完全满足各种材料的熔炼烧结。

中频炉是一种间歇式气体保护炉, 炉内工作气氛可以为真空、氢气、氮气、惰性气体等, 应用于钨钼行业中钨钼制品的高温烧结。在实际钨钼制品的中频炉烧结中, 常采用内循环纯水冷却系统的中频炉, 从最高温度

1 900 °C冷却到55 °C, 一般需要14 h, 冷却时间比较长, 中频炉的有效利用率太低, 30%以上的时间浪费在了降温阶段, 不仅影响产量和生产效率, 还严重制约着中频炉产能的发挥。

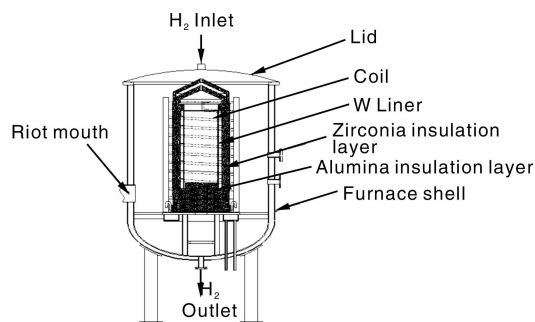


图1 中频炉结构示意图

Fig. 1 Tradition Frequency Furnace Structure Picture

收稿日期: 2012-01-08

作者简介: 张常乐, 男, 1974年生, 工程师

根据对钼制品中频炉高温烧结现状的考查,以原有中频炉为基础,在保留内循环纯水冷却系统的基础上,增加了一套氢气循环快速风冷系统,在炉膛上下耐火材料中形成风冷通道,能够实现低温阶段的快速降温,5~6 h完成从最高烧结温度到 55 ℃ 的降温过程,缩短冷却降温时间的效果非常明显。

2 快速冷却原理

根据热交换公式 $Q = AK(T_r - T_l)$, 其中 Q 为总换热量, A 为换热面积, K 为导热系数, T_r 为较热介质平均温度, T_l 为次热介质的平均温度。

从上述的公式可以明显看出,影响降温的主要因素是降温介质温度差、介质流量及热交换面积。

为了能快速地进行冷却降温,根据冷却原理可以增大热交换面积 A , 增大气体的流量,加大降温介质温度差。通过以上方式达到快速冷却的效果。

在中频炉高温保温结束之后自动断电随炉降温过程中,降温到 800 ℃ 时,关闭底部排氢阀门,打开风道阀门,启动快冷循环风机,系统自动地慢慢增加风速,冷气从风机经水冷阀门、输送管道,经过底部保温层中错位孔风道进入物料底部,穿过物料并与物料充分进行热交换后,经保温层顶部错位孔出风,并瞬间释放压力和热量,达到稳定运行状态,热气再经过水冷管道和散热器 2 组冷却系统降低温度后,进入下一循环。反复进行这个循环过程直到炉温降到 60 ℃,在快冷风机工作的过程中,通过控制系统使炉内保持微正压,保证中频炉的安全运行。待炉温降到 60 ℃ 以下时,打开炉盖取出物料,完成一个烧结周期。

3 快速冷却的效果

3.1 8# 中频炉自然冷却和快速冷却的效果对比

图 2 对 8# 中频炉的自然冷却和快速冷却的时间进行了对比,快速冷却曲线的斜率远远大于自然冷却曲线的斜率,快速冷却的效果非常明显。8# 中频炉为大型中频炉,各个阶段的降温速度较慢,降温时间较长,平均降温时间为 26 h,降温时间几乎和烧结时间相当。从最高温度到 800 ℃ 降温的速度还比较快,但降温至 500 ℃ 时,降温速度就明显降低了。降温时间绝大部分集中消耗在 500~50 ℃ 的低温降温阶段,500~50 ℃ 低温阶段的降温速度非常缓慢,严重影响了中频炉的生产效率。

采用快速冷却技术后,从图 2 可以看出快冷后中频炉从最高温度到 800 ℃ 的降温时间和自然冷却一样,但采用快速冷却技术启动快冷风机后,800 ℃~60 ℃ 的平

均降温时间为 6.9 h,降温时间极大缩短,数据是炉内装满料后降温统计的,更接近于生产实际。

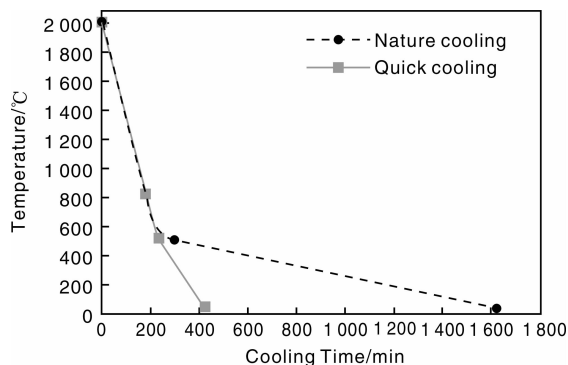


图 2 8# 炉冷却时间对比

Fig. 2 8# Intermediate frequency furnace cooling time map

3.2 9# 中频炉自然冷却和快速冷却的效果对比

为了检测试验数据的可靠性又对 9# 中频炉的快速冷却和自然冷却的数据进行了统计,如图 3 所示。9# 炉和 8# 炉大小一样,同时进行改造,因此降温时间基本一致。可以明显看出,启动快冷风机后 800 ℃~60 ℃ 的平均降温时间为 6.9 h,降温时间有了极大的缩短,数据是炉内装满料后降温统计的,更接近于生产实际。9# 中频炉的自然冷却和快速冷却的时间对比说明,快速冷却曲线的斜率远远大于自然冷却曲线的斜率,快速冷却的效果非常明显,快速冷却系统工作可靠,重复性很好。

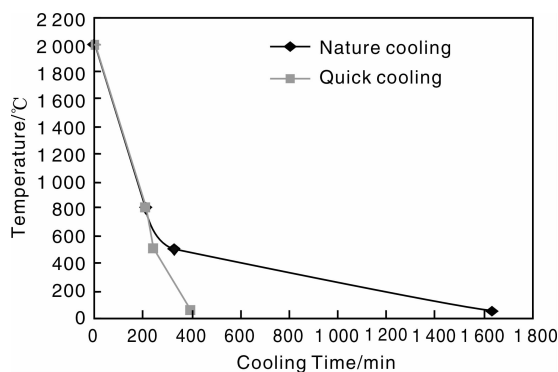


图 3 9# 炉冷却时间对比

Fig. 3 9# Intermediate frequency furnace cooling time map

4 对产品性能的影响

根据要求进行了 2 t 钼精板的工业化生产,按照中频烧结工艺执行。采用高效中频烧结系统后,从最高温度降到 60 ℃ 仅需要 7 h 左右,烧结后钼精板的理化性能指标均达到了公司的企标要求(见表 1),炉次之间的稳定性和一致性较好。而采用自然降温时,从最高温度

降到60 ℃需要 27 h 左右。从现场操作情况来看，通过速冷却后，开炉后炉内温度也较低，更适合炉内作业，培训和实际操作后职工可较快掌握该操作系统。采用快速冷却后，改善了工人的操作环境。

表 1 钼板物理化学性能检测结果
Table 3 Molybdenum board physical chemistry target

Tite	C	O	Mg	Si	P	W	Fe	Ca	Ni	Al	N
JB-2T-3	0.002	0.004	0.000 1	≤0.002 0	≤0.001 0	≤0.015	0.004 2	0.001 2	0.000 8	≤0.002 0	0.003 0
GB3462-82	0.003	0.004	0.000 2	≤0.002 0	≤0.001 0	≤0.0015	0.003 6	0.001 1	0.000 8	≤0.002 0	≤0.003 0
Tite	Hardness (HRA)		Density/g · cm ⁻³			Crystal degress		Crystal count/mm ²			
JB-2T-3	49.4		9.92			4		2 000			
GB3462-82	49.3		9.86			4		2 000			

从检测的检验单(表 1)来看，采用高效快冷技术进行中频烧结的钼精板理化性能指标均达到了金钼股份公司 Q/JDC 016-2008 企标要求，没有出现质量方面的问题。采用该技术时，由于钼制品的致密化行为已经完成，进行快冷时不影响材料组织特征，进而保证了钼制品质量。

5 结 论

(1)与传统的自然降温相比较，利用快冷系统后，中频炉的平均降温时间由原有的 27 h 缩短到 7 h，每一炉烧结时间可以缩短 20 h，冷却效率提高 74% 左右，烧结综合效率可提高 55%。

(2)快冷系统以氢气为介质，保证了烧结与冷却时环境气氛的一致性。在 800 ℃ 以下启动快速冷却系统，

由于钼制品的致密化行为已经完成，不影响材料组织特征，进而保证了钼制品质量。

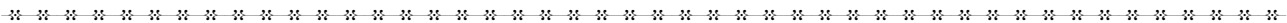
(3)该高效快冷技术，以 H₂ 为介质的热对流交换，并详细考虑了安全设置，操作起来安全可靠，易于操作。

参考文献 References

[1] Huang Peiyun(黄培云). *Powder Metallurgy Theory*(粉末冶金原理)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Publishing Company, 2004.

[2] Hao Hongqi(浩宏奇), Qiao Guanjun(乔冠军). *Powder Metallurgy Theory and Material*(粉末冶金原理及材料)[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Publishing Company, 1993, 1-2, 1-58.

[3] Liang Yinjiao(梁英教). *Physical Chemistry of Metallurgy*(物理化学冶金)[M]. BeiJing: Metallurgical Industry Publishing Company, 1990.



中科院兰州化物所新型仿生结构纳米复合陶瓷润滑材料研究获进展

在国家重点基础研究发展计划“973”项目、国家自然科学基金项目和中科院“西部之光”人才培养计划项目的支持下，中国科学院兰州化学物理研究所润滑与防护材料研究发展中心胡丽天研究员带领的课题组在新型仿生结构纳米复合陶瓷润滑材料研究方面取得了新进展。

高性能结构陶瓷具有耐高温、耐磨损、耐腐蚀、高强度、抗氧化等多种优异性能，是制造高温润滑耐磨元件的理想材料。从未来的发展来看，高温结构陶瓷是可在 1 000 ℃ 以上长时间工作，同时具有高强度和耐腐蚀性能的低密度结构材料。目前由于陶瓷材料的本征脆性以及由摩擦学设计所带来的材料力学性能的下降，在很大程度上限制了它在高温润滑领域更为广泛的应用。

研究人员以微-纳米复合粉体为原料，通过材料的仿生结构设计，形成具有优异性能的氧化铝/钼层状复合材料，在保持陶瓷良好力学性能的同时，实现了材料的结构/润滑功能一体化设计。Al₂O₃/Mo 仿生层状复合材料中，存在厚度小于 65 μm 的弱界面金属层，高温摩擦时生成的润滑性氧化膜改善了材料的高温摩擦学性能，800 ℃ 和 Al₂O₃ 陶瓷栓对摩时的摩擦系数可降低至 0.25。同时，材料具有较高的断裂韧性，其形变曲线在一定程度上具有非线性断裂特性或假“塑性”特征，从而可能改变陶瓷的脆性破坏特征，为陶瓷材料在摩擦学领域更为广泛的应用奠定了重要的基础。

(来源：中科院兰州化学物理研究所)