

温差法在铜套辊拆套作业中的应用实践

付霆*, 孙小平

1.宁波钢铁有限公司 宁波 3158072; 2.宝武装备智能科技有限公司 上海 201900

A practice of temperature difference method in copper-sleeve roll disengaging operation

Fu ting*, Sun Xiaoping

1.Ningbo Iron&Steel Co., Ltd., Ningbo 315807, China; 2.BAOWU EQUIPMENT INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD., Shanghai 201900, China

1.前言

铜套辊在金属冶金得到中广泛应用，主要用于金属结晶和电磁搅拌辊。本文中铜套辊是宁波钢铁有限公司某一前沿技术所用的重要工艺装备，2016年9月为能完成提高铜套辊冷却性能增强的试验，需要对铜套冷却通道进行扩孔改制。因其内部结构较为复杂，铜套与芯轴必须分离以便于清理加工产生的异物，避免异物堵塞冷却通道。

2. 情况调查及实施条件分析

2.1. 结构特点

2.1.1 铜套尺寸较大壁厚较厚，铜套外径 $\varnothing 800\text{mm}$ ，内孔直径边部 $\varnothing 623.66\text{mm}$ 、中心 $\varnothing 623.86\text{mm}$ ，辊套长度 1340mm ；芯轴总长 5425mm ，轴径 625mm 。

2.1.2 铜套为德国KME公司加工制造，选用其NIB企标牌号材质锻件。采用该材质制造的铜套有很好的机械强度和硬度。

2.1.3 芯轴为宝钢机械厂加工制造，材质选用1Cr13（新牌号12Cr13，统一数字代号S41010）。

2.1.4 铜套与芯轴采用了 1.39mm 过盈配合。

2.2 关键加工面需要保护

2.2.1 铜套端面是铜套辊工艺使用的重要工作面，其平面度是工艺使用的关键。又因为铜基材质端面需要保护，避免受到外力造成损伤。

2.2.2 铜套内孔与芯轴配合面不仅仅需要保证其过盈结合力，而且是装配后内部密封的关键。所以拆套实施过程应避免因划伤，从而增加后续加工造成的磨削量增加，影响回装后的过盈量及密封性能。

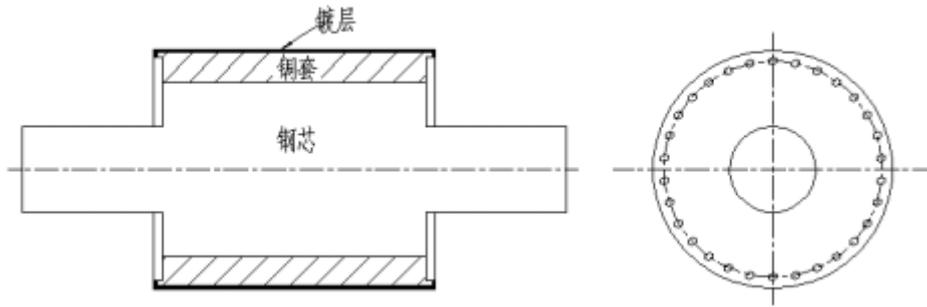
2.3 其它条件

2.3.1 此次拆套在宝武装备智能科技有限公司宝钢机械厂（以下简称宝机厂）进行拆装，其具备陶瓷纤维板与电加热装置。

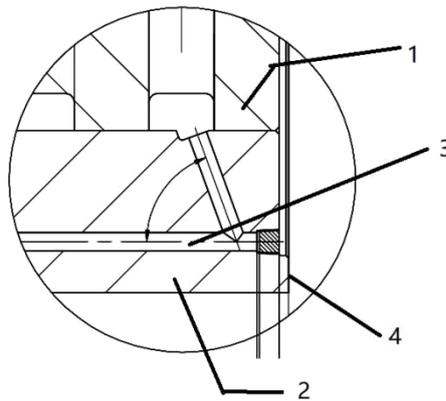
2.3.2 宝机厂有一15米高度厂房，其中具备15t起重机起升高度9.5米，下有5米深缓冷炉。

3 方案选择

在上述情况调查和施工条件分析的基础上，形成了加热炉加热、液冷、电热板加热等3个利用铜套与芯轴不同材质的热膨胀性能进行温差法拆套的方案。经对比，选择电加热方案。



铜套辊装配示意图



1-芯轴；2-铜套；3-冷却水通道；4-工艺使用端面

3.1 各方案基本内容

加热炉加热：即在加热炉对铜套辊进行加热，达到温度条件后移出，使用专门的顶伸设备或拉拔设备将芯轴顶出或拉出铜套。

冷却法：即将铜套辊竖立起来，在芯轴内持续灌注大量的液氮，利用芯轴与铜套不同的冷缩量产生的产生间隙，在重力条件下迅速分离轴、套。

电热板加热：即将铜套辊竖立起来，使用可塑性的电加热板包裹铜套。加热板通电产生热能对铜套进行加热。利用材质不同的热膨胀量不同和铜材质热敏感的特性产生间隙，在重力作用下进行轴、套分离。

3.2 方案比较

表 1 方案比较

方案	优点	不足
加热炉加热	方法简单，可靠	不能竖立拆套划伤风险大；铜套端面无法保护；需配制专用的顶伸或拉拔设备，成本最高。
冷却法	设备投入少，成本适中	保温困难；温度时效短，不适于长时操作；分离速度及时机不易掌握，划伤风险大。
电热板加热	便携、可靠、可持续加热与保温，成本低	需要专业设备操作，受施工空间高度制约

4 方案的实施

4.1 间隙选取

根据铜套辊结合直径即内孔最小直径 $\varnothing 623.66\text{mm}$ 参照表 2 选取 0.94mm。

表 2^①

结合直径	>360~440	>440~500	>500~560
装配间隙	0.66	0.75	0.84
结合直径	>560~630	>630~710	>710~800
装配间隙	0.94	1.10	1.20

注：热装时所需的最小间隙 Δ_2 的经验数据为配合直径的 1/1000~1.5/1000 mm

4.2 加热温度计算

芯轴性膨胀系数为 $11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ②，查 KME 样本查得铜套线性膨胀系数为 $18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ （如表 3），环境温度取 20°C 。

表 3

Table 1: KME materials for mould tubes

Material Properties*	ELBRODUR® B95	ELBRODUR® B95S	ELBRODUR® NIB	ELBRODUR® GR 50
Chemical composition (without copper)	1.0 Co	1.4 Co	1.5 Ni	0.65 Cr
	0.1 Be	0.3 Be	0.2 Be	0.1 Zr < 1.5 others
Physical Properties				
Electrical conductivity	35	31	40	29
	60	54	69	50
Thermal conductivity	240	220	290	205
Coefficient of thermal expansion	18	18	18	18
Recrystallisation temperature	(800)	(800)	(800)	(800)
Softening temperature**	590	590	590	580
Modulus of elasticity	128	128	128	128

由：热装包容件加热温度推荐公式：

$$t_n = \frac{e_{ot}}{a \times d_f} + t \quad (1)$$

式中： t_n :包容件加热温度， $^{\circ}\text{C}$ ； e_{ot} :包容件内径热胀量，mm； a ：材料的线性膨胀系数， $1/^{\circ}\text{C}$ ； d_f ：结合直径，mm； t ：环境温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

与：芯轴金属热膨胀计算公式：

$$L = L_1(1 + a' \Delta t)$$

式中： L_1 :原轴径，mm； Δt :加热温度 t_n 与环境温度 t 之差， $^{\circ}\text{C}$ ； a' ：芯轴材料膨胀系数， $1/^{\circ}\text{C}$ ； L ：热胀后直径，mm。

由以上可得计算热拆间隙 Δd 公式，即：热胀后热铜套内径膨胀量 e_{ou} 与芯轴膨胀量 e_{ou}' 的差值。

$$\Delta d = e_{ou} - e_{ou}' = d_f \times a \times \Delta t - L_1 \times a' \times \Delta t$$

当所需热拆间隙 Δd 为 0.94mm 时，计算得到所需温升：

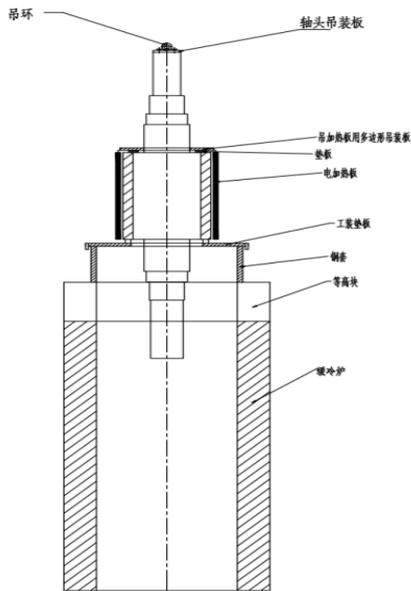
$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\Delta d}{d_f \times a - L_1 \times a'} \\ &= \frac{0.94}{623.66 \times (18 \times 10^{-6}) - 625 \times (11.7 \times 10^{-6})} \\ &= 240.20 (\text{℃})\end{aligned}$$

则：芯轴加热温度： $t_n = \Delta t + t = 240.0 + 20 = 260.20 \text{℃}$

4.3 工装与吊装

4.3.1 吊装用工作：

在缓冷炉上方设置工装并调平作为铜套辊竖立支承，并为芯轴滑移创造行程条件。工装两侧设脚手架平台方便检测温升情况和观察脱套过程。



4.3.2 对铜套端面进行了保护：

为避免加热过程中铜套端面与工装间存在接触面，防止热膨胀过程中的端面划伤。特制作 $\text{Ø}740 \times \text{Ø}660 \times 20$ 垫圈，垫与铜套侧非工艺面上，使铜套端部工艺使用端面与工装无接触。有效保护了铜套的重要工作面。

5 实施效果

由于使用了上述工艺措施，铜套经加热至 300℃ 后成功脱离，工艺表面无划伤。该此工艺措施有效的保证了铜套辊的可修复性。在不损伤铜套重要工艺面的情况下完成了铜套与芯轴间的分离，效果很好。

6 结语

拆套过程选择了将铜套辊树立起来通过电热板加热的方法。达到了工作目的，并很好的保护了铜套内孔表面、铜套端面和芯轴外圆表面。即简化了改制工序也避免了各零件损伤。这种热拆方法可在各类铜套辊维修中推广，并已考虑在铜套更换中使用。

参考文献

- [1] 重型机械通用技术条件 JB/T 5000.10-2007 装配 附录 D.
- [2] 闻邦椿.机械设计手册（第5版）第2卷 2-88 页[M].北京.机械工业出版社.2015.