

锻压机械用铜瓦的最高允许工作温度

442052 湖北十堰 二汽锻造厂前方机电科 袁普任

摘要 从分析铜瓦破坏及其原因入手,提出了铜瓦最高允许工作温度理论,并推导出计算此温度的计算公式。计算了热模锻压力机各轴瓦最高允许工作温度。介绍了铜瓦温控方法和温控范围。

叙词 锻压设备 铜 轴瓦 工作温度

一、铜瓦破坏及其原因

铜瓦的破坏形式很多,但可归结为两大类:一为正常磨损破坏,二为非正常磨损破坏。

所谓正常磨损破坏,是指铜瓦、轴等均符合技术要求,在润滑良好、使用合理的情况下,瓦孔逐渐磨损增大,并严重影响各相关件的配合精度,如齿轮的齿合精度等,致使铜瓦报废的破坏。一般铜瓦与轴的间隙超过轴径的0.3%时,铜瓦就应报废。

所谓非正常磨损破坏,是指设备过载、润滑油短缺或油内进入大量脏物等,使铜瓦的温度迅速升高,发生铜瓦过烧、铜瓦与钢套产生间隙及抱轴等事故,使铜瓦报废的破坏。

非正常破坏,是一个急待解决的问题。铜瓦温度过高,是这种破坏的根本原因。如果能确定出铜瓦的最高允许工作温度,并设法将铜瓦的工作温度控制在合理范围内,就能有效地防止铜瓦非正常破坏的产生;还可以在破坏前对铜瓦采取挽救措施,从而延长铜瓦的使用寿命。

二、铜瓦最高允许工作温度的确定

铜瓦非正常破坏过程是复杂的,但就其本质而言,其破坏原因是由于铜的膨胀系数大于钢的膨胀系数,当铜瓦的工作温度上升到一定值后,铜瓦与钢套的过盈就会使铜瓦的内应力超过其屈服极限,使铜瓦产生塑性变形,温度越高,塑性变形越大。当温度恢复到常温时,

铜瓦就收缩了。轻者,铜瓦与钢套之间产生间隙;重者,铜瓦抱死在轴上。因此,将铜瓦产生塑性变形的临界温度定为铜瓦的最高允许工作温度,并推导其计算公式。

1. 铜瓦危险应力面的位置和瓦与套配合面上的最大压力强度公式

由图1可见,铜瓦的危险应力发生在其内表面上。

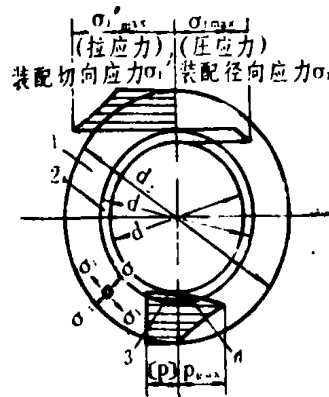


图1 铜瓦与钢套过盈配合受力图

铜瓦非载荷区表面的三向最大主应力为:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{1max} &= \frac{2p_{max}}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} \\ \sigma_2 &= 0 \\ \sigma_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

而铜瓦载荷区表面的三向最大主应力为:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{1max} &= \frac{2p_{max}}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} \\ \sigma_2 &= 0 \\ \sigma_3 &= [p] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

将(1)式代入第四强度理论公式:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \leq \sigma_s$$

取其极限得:

$$\sigma_{1max} = \sigma_s \quad (3)$$

同样将(2)式代入第四强度理论公式得:

$$\sqrt{\sigma_{1max}^2 + [p]^2 - [p] \cdot \sigma_{1max}} = \sigma_s$$

$$\because \sigma_{1max} > [p] \therefore [p]^2 - [p] \cdot \sigma_{1max} < 0$$

式中 σ_{1max} ——危险应力面上的切向应力

p_{max} ——配合表面上的最大压力强度

σ_2 ——危险应力面上的轴向应力

σ_3 ——危险应力面上的径向应力

d_1 ——铜瓦的内径公称尺寸

d ——铜瓦的外径(或钢套的内径公称尺寸)

d_2 ——钢套的外径公称尺寸

$[p]$ ——铜瓦材料的许用压力强度

σ_s ——铜的屈服极限

由此可见 $\sigma_{1max} > \sigma_s$,

这说明铜瓦的危险应力面为非载荷区表面。

将式(3)代入式(1)得:

$$p_{max} = \frac{\sigma_s}{2} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^2 \right] \quad (4)$$

式(4)就是计算铜瓦与钢套配合面上最大压力强度公式。

2. 铜瓦与钢套在铜瓦不发生塑性变形条件下的最大过盈量公式

拉美公式指出,配合表面的最大径向压力强度与最大计算过盈量的关系为:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{max} &= p_{max} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) d \\ C_1 &= \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^2} - \mu_1 \\ C_2 &= \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2} + \mu_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 E_1 ——铜瓦材料的弹性模数

E_2 ——钢的弹性模数

μ_1 ——铜瓦材料的波松系数

μ_2 ——钢的波松系数

δ_{max} ——危险表面不产生塑性变形所允许的最大过盈量

3. 铜瓦最高允许工作温度公式

下面分三种情况分述。

(1)如果钢套很薄,以至能随着铜瓦工作温度的升高而等值升高,并且钢套能在径向自由膨胀,则铜瓦最高允许工作温度与常温的差由下式计算:

$$\Delta t = \frac{\delta_{max} - \delta_0}{(a_1 - a_2)d} \quad (6)$$

式中 δ_0 ——铜瓦与钢套的实际装配过盈量

a_1 ——铜瓦材料的膨胀系数

a_2 ——钢的膨胀系数

Δt ——铜瓦最高允许工作温度与常温的差

应当指出,这种情况很少,特别是锻压机械这类大型设备更是如此。但大型铜瓦与钢套采取热装时,可利用此公式计算铜瓦不产生塑性变形的钢套允许最高加热温度。

(2)如果钢套较厚,在正常工作时,钢套的整体温度能和铜瓦的正常温度相等,并且钢套能在径向自由膨胀,一旦因某种原因铜瓦的工作温度迅速升高,钢套外围大部分组织的温度仍保持不变,其孔径随着铜瓦温度的突然升高而缩小的情况下,则铜瓦的最高允许工作温度与常温的差由下式计算:

$$\Delta t = \frac{\Delta \delta_{max} - \delta_0}{(a_1 + a_2)d} + \Delta t' \quad (7)$$

$$\Delta \delta_{max} = \delta_{max} - \Delta t' (a_1 - a_2)d \quad (8)$$

$$\Delta t' = t_1 - t_0 \quad (9)$$

式中 $\Delta \delta_{max}$ ——铜瓦与钢套的最大过盈量与正常工作温度增加的过盈量之差

$\Delta t'$ ——铜瓦正常工作温度与常温的差

t_1 ——铜瓦正常工作温度

锻压机械制动器一边的主轴瓦是此种情况的典型例子。连杆瓦也可用这套公式计算。

(3)如果钢套的厚度很大,在铜瓦工作温

度升高的全过程,钢套外围大部组织的温度始终与常温一样,也就是说钢套内孔尺寸始终随着铜瓦工作温度的升高而缩小,则铜瓦最高允许工作温度与常温的差由下式计算:

$$\Delta t = \frac{\delta_{max} - \delta_0}{(\alpha_1 + \alpha_2)d} \quad (10)$$

Δt 求出后,铜瓦最高允许工作温度由下式计算:

$$t_{max} = t_0 + \Delta t \quad (11)$$

式中 t_{max} ——铜瓦最高允许工作温度

锻压机械离合器一边的主轴瓦是此种情况的典型例子。

还应指出,以上公式的推导,是在假定铜瓦与钢套的加工、装配和使用均在常温下进行的。如果加工、装配和使用时的温差较大,计算时就要将此温差考虑进去。

三、计算示例

以国产31.5MN热模锻压力机为例,计算两主轴瓦、连杆瓦的最高允许工作温度以及热装时钢套允许的最高加热温度。

1. 制动器一边的主轴瓦计算

其结构如图2所示。铜瓦材料为ZQSn10-1,钢套的材料为45钢。尺寸和有关参数如下:

$$d_1 = 540\text{mm}$$

$$d = 580\text{mm}$$

$$d_2 = 820\text{mm}$$

$$\alpha_1 = 17.6 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_2 = 11 \times 10^{-6}$$

$$\mu_1 = 0.32$$

$$\mu_2 = 0.25, E_1 = 1.15 \times 10^4$$

$$E_2 = 2 \times 10^4, \sigma_s = 200\text{N/mm}^2, t_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$\delta_0 = 0.10\text{mm}$$

钢套与机身孔的配合为 $\phi 820 \frac{\text{H}8}{\text{f}9}$

由钢套和机身孔给定的配合来看,其最大间隙为0.49,最小间隙为0.15。假设实际间隙为其平均值0.32,那么,此间隙允许钢套径向

自由膨胀的温升值为:

$$\Delta t' = \frac{0.32}{11 \times 10^{-6} \times 820} = 35 \quad (^\circ\text{C})$$

当铜瓦工作温度使钢套的温升值达到 35°C 时,钢套外径与机身孔已无间隙(这时的温度正好是铜瓦的正常工作温度)。当铜瓦和钢套的温度因某种原因再升高时,钢套内孔就会随着温升而缩小。因此,此铜瓦最高允许工作温度可用公式(4)、(5)、(7)、(8)、(11)来计算。

首先求出系数 C_1 、 C_2 。将已知条件代入公式(5)得:

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1 = \frac{1 + \left(\frac{540}{580}\right)^2}{1 - \left(\frac{540}{580}\right)^2} - 0.32$$

$$= 13.695$$

$$C_2 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2 = \frac{1 + \left(\frac{580}{820}\right)^2}{1 - \left(\frac{580}{820}\right)^2} + 0.25$$

$$= 3.25$$

将已知条件代入公式(4)得:

$$p_{max} = \frac{\sigma_s}{2} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2 \right] = \frac{20}{2} \times \left[1 - \left(\frac{540}{580}\right)^2 \right]$$

$$= 1.332$$

将已知条件和 C_1 、 C_2 及 p_{max} 值代入公式(5)得:

$$\delta_{max} = p_{max} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) d$$

$$= 1.332 \times \left(\frac{13.695}{1.15 \times 10^4} + \frac{3.25}{2 \times 10^4} \right) \times 580 = 1.046$$

将已知条件和 $\Delta t'$ 、 δ_{max} 值代入公式(3)得:

$$\Delta \delta_{max} = \delta_{max} - \Delta t' (\alpha_1 - \alpha_2) d$$

$$= 1.046 - 35 \times (17.6 \times 10^{-6} - 11 \times 10^{-6}) \times 580 = 0.912$$

将已知条件和 $\Delta \delta_{max}$ 值代入公式(7)得:

$$\Delta t = \frac{\Delta \delta_{max} - \delta_0}{(\alpha_1 + \alpha_2) d} + \Delta t'$$

$$= \frac{0.912 - 0.10}{(17.6 \times 10^{-6} + 11 \times 10^{-6}) \times 580} + 35$$

$$= 84 \quad (^\circ\text{C})$$

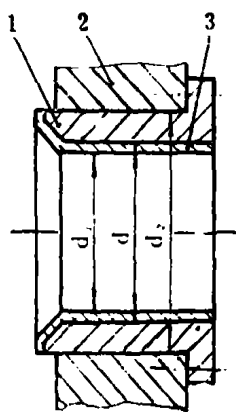


图2 制动器一边
主轴瓦简图

1.钢套 2.机身 3.铜瓦

再将 t_0 和 Δt 代入公式(11)得:

$$t_{max} = t_0 + \Delta t = 20 + 84 = 104 (^\circ\text{C})$$

下面求铜瓦和钢套采取热装时, 钢套允许的最高加热温度。

将已知条件和 δ_{max} 的值代入公式(6)得:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\delta_{max} - \delta_0}{(\alpha_1 - \alpha_2)d} \\ &= \frac{1.046 - 0.10}{(17.6 \times 10^{-6} - 11 \times 10^{-6}) \times 580} \\ &= 247 (^\circ\text{C})\end{aligned}$$

钢套的最高允许加热温度由公式(11)得:

$$t_{max} = t_0 + \Delta t = 20 + 247 = 267 (^\circ\text{C})$$

2. 离合器一边的主轴瓦计算

其结构如图3所示。钢套用斜铁紧固在机身孔内。机身宽度 $B = 1260\text{mm}$ 。其他已知条件同前。

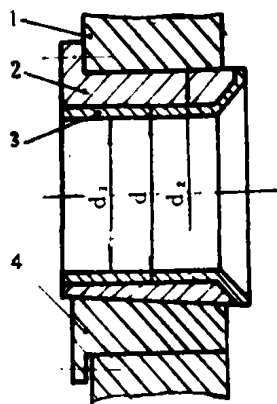


图3 离合器一边主轴瓦结构简图

1. 机身 2. 钢套 3. 铜瓦 4. 斜铁

由于钢套是用斜铁紧固在机身孔内的, 钢套和机身形成牢固的整体, 因此当钢套受热温度升高时其孔径将随着温度的升高而收缩。而且, 此时钢套的外径应是机身的宽度($d_2 = B = 1260\text{mm}$)。

因其他已知条件同前, 所以 p_{max} 和 C_1 值也与前所求相同。此时

$$\begin{aligned}C_2 &= \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2 = \frac{1 + \left(\frac{580}{1230}\right)^2}{1 - \left(\frac{580}{1260}\right)^2} \\ &+ 0.25 = 1.7877\end{aligned}$$

将已知条件和 C_1 、 C_2 、 p_{max} 值代入公式(5)得:

$$\begin{aligned}\delta_{max} &= p_{max} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) d \\ &= 1.332 \times \left(\frac{13.695}{1.15 \times 10^4} + \frac{1.7877}{2 \times 10^4} \right) \\ &\times 580 = 0.989\end{aligned}$$

将已知条件和 δ_{max} 值代入公式(10)得:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\delta_{max} - \delta_0}{(\alpha_1 + \alpha_2)d} \\ &= \frac{0.989 - 0.10}{(17.6 \times 10^{-6} + 11 \times 10^{-6}) \times 580} \\ &= 53.6 (^\circ\text{C})\end{aligned}$$

将已知条件和 Δt 值代入公式(11)可求得此瓦最高允许工作温度:

$$t_{max} = t_0 + \Delta t = 20 + 53.6 = 73.6 (^\circ\text{C})$$

3. 连杆瓦的计算

其结构如图4所示。已知 $d_1 = 890\text{mm}$; $d = 940\text{mm}$; $d_{min} = 1270\text{mm}$, 其他条件同前。

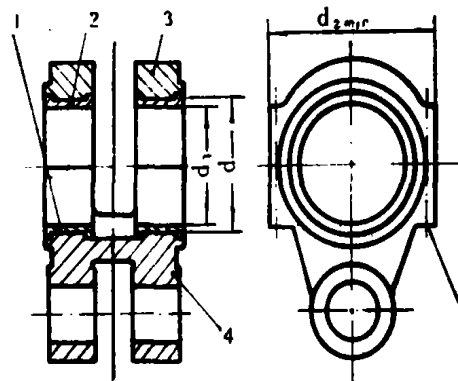


图4 连杆瓦结构简图

1. 下半瓦 2. 上半瓦 3. 连杆盖 4. 连杆 5. 拉紧螺栓

因连杆装瓦孔的壁较厚, 在正常工作时, 此壁可达到正常工作温度并可自由膨胀。取正常工作温度 $t_2 = 55^\circ\text{C}$ 。一旦因某种原因铜瓦工作温度迅速升高, 此壁外围大部分组织温度未变时, 铜瓦就产生了塑变。在工作温度迅速升高过程连杆孔将收缩。

因此, 将已知条件代入公式(4)、(5)、(7)、(8)、(9)、(11)可求得此瓦最高允许工作温度为 106°C 。

四、铜瓦工作温度的控制

为了防止铜瓦工作温度过高, 造成铜瓦塑变、抱轴等, 必须设法将铜瓦工作温度控制在一定范围, 即实行温控。

国家铸造锻压机械质量监督检测中心系由国家技术监督局、国家商检局和机电部批准的法定质量检验机构,对全国铸锻机械产品的质量进行检验,同时对两个行业产品质量进行归口管理。性能测试室则承担锻压机械的性能试验。本室拥有本行业一流的测试试验仪器和完备的测试装置,完全满足现行锻压机械产品国家、行业标准性能试验的要求,为上级部门、广大锻压机械制造厂及用户提供具有公正性、科学性和权威性的检测服务。本室承接以下几种性能试验:

一、新产品鉴定前的全面性能试验或型式试验:提供具有法律性的国家级检验中心试验报告,为上级领导部门及鉴定委员会提供鉴定

依据。

二、可靠性试验:多数锻压机械产品已有“可靠性考核评定规范”,制造厂可以委托我室进行试验室试验,取得可靠性证书。

三、安全性能或技术性能认证试验:为用户放心选用本厂的产品,制造厂可以委托我室试验,我室出具认证报告。

四、上级部门下达的科研课题、用户订购的未用锻压机械、生产线的验收,我室承接委托试验。

五、产品在申请出口许可证等时,可委托我室进行型式试验和性能试验。

六、进口锻压机械也可委托我室进行验收试验,我室出具进出口商品检验试验室“正式

温控一般用热电偶来实现。将热电偶的测温触头安放在铜瓦与钢套配合面上的孔内,一旦铜瓦工作温度上升到限定值,热电偶就发出电信号,切断电源,迫使停机。这时就可以对铜瓦和润滑等进行必要的检查,分析铜瓦升温原因,排除隐患,保证铜瓦不至破坏。

温控有个温度限定值问题。如果温度限定值过低,即过于接近正常工作温度,就会产生经常停机现象;而温度限定值过高,即过于接近最高允许工作温度,一旦停机,铜瓦就可能破坏到无法挽救的程度。

实践证明,温度限定值比正常工作温度高 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 比较合适。正常工作温度可由热电偶直接测得,也可由经验公式: $t_1 = t_0 + (20\sim 25)^{\circ}\text{C}$ 求出。离合器一边主轴瓦最高允许工作温度较低,温度限定值应比正常工作温度高 10°C ,而制动器一边主轴瓦及连杆瓦温度限定值可取比正常工作温度高 15°C 。

铜瓦最高允许工作温度是不一样的。最高允许工作温度高比低好,高者可减少铜瓦产生塑变的可能性,能提高铜瓦的使用寿命。

2.从公式(4)可看出,提高轴瓦屈服极限 σ_s ,或选用屈服极限较高的材料做轴瓦可提高轴瓦的最高允许工作温度。

3.从公式(5)可以看出,增大比值 d_1/d 和 d/d_2 ,即减薄铜瓦和钢套的厚度,也可提高最高允许工作温度。因此,设计时在强度允许条件下,铜瓦和钢套厚度应尽可能薄些。

4.从公式(11)看出,如果轴瓦和钢套两种材料的膨胀系数能接近或相等,也能提高轴瓦最高允许工作温度。这给选择和开发新轴瓦材料提供了一个途径。

当然,轴瓦材料还有耐磨性能、润滑性能等方面的要求。但如果能在设计、选材、使用和温控等方面充分考虑以上各项,将会大大提高轴瓦的使用寿命。

五、结论

1.从以上计算示例可以看出,不同位置的

参考文献

机械设计手册,化学工业出版社,1985。