大型平板硫化机横梁温差变形分析及解决办法

凌玉荣 武 华
（湖南省益阳橡胶机械厂 413000）

大型平板硫化机的热板与横梁之间，一般用石棉板相隔。由于石棉板隔热能力有一定限度，热板的部分热量（热板的工作温度为150℃左右）仍将以热传导和热辐射的方式沿横梁的高度方向传递给横梁，致使横梁形成温度梯度而产生温差变形即变温挠曲。

由于热板与横梁是用螺栓刚性相连，横梁的变形又导致了热板的弯曲。弯曲的热板使硫化出的产品厚薄不均或压力不匀，从而产生次品或废品。因此，使平板硫化机上、下横梁的热变形减小到最低程度是必须解决的重要问题。

1 问题分析

因为大型平板硫化机下横梁是自由地放在多个油缸柱塞上的，可视为非约束的简单梁。非约束的简单梁（等截面）均匀变温时，梁中不会产生任何应力，因此也不会产生横向挠度。但是，当平板硫化机工作时，加热后的热板会将热量传递给横梁，并引起横梁的温度上升。横梁的变温属于非均匀变温，即靠近热板的温度要高些。

设横梁温度稳定后的顶面温度为 t_2，底面温度为 t_1，相应的温升为 T_2 及 T_1（$T_2=t_2-t_0$，$T_1=t_1-t_0$，t_0 为室温，$t_2>t_1$）。设梁顶面与底面的温度变化为线性，则梁的平均温升 $T_{均}=(T_1+T_2)/2$，$T_{均}$ 将发生在梁的一半高度处，梁顶面与底面的温升差 $\Delta T=T_2-T_1$，ΔT 将引起梁弯曲，即产生横向挠度，如图 1 所示。

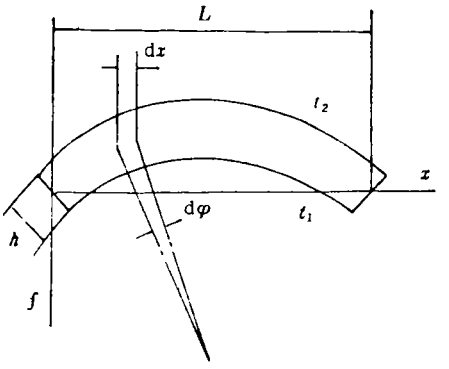

图 1 温升引起的梁弯曲

取长度为 dx 的单元分析，此单元的顶面和底面长度的变化分别为 $\alpha_t T_1 dx$ 和 $\alpha_t T_2 dx$。$T_2>T_1$，则单元两侧边相对旋转 $d\varphi$ 角。图 1 所示的几何关系式如下式（L 为梁的长度）：

$$h d\varphi = \alpha_t T_2 dx - \alpha_t T_1 dx = \alpha_t (T_2 - T_1) dx$$

或

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{\alpha_t}{h}(T_2 - T_1) \qquad (1)$$

式中 h——梁的高度；

α_t——材料的线性膨胀系数。

由材料力学可知，在温差（T_2-T_1）不大时，梁的挠度很小。$d\varphi/dx$ 代表梁弯曲曲线的曲率，φ 是一个非常小的角度，从而导出弯曲曲线的微分方程。由于

$$\varphi \approx \mathrm{tg}\varphi = \frac{df}{dx}$$

故

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{d^2 f}{dx^2} = \pm \frac{\alpha_t}{h}(T_2 - T_1) \qquad (2)$$

式中 f——梁的挠度。

“±”由梁弯曲方向与坐标选取方向来决定，按材料力学规定，图 1 所示弯曲应取“−”。

将式(2)对照材料力学公式：

$$\frac{d^2f}{dx^2}=-\frac{M}{EI} \tag{3}$$

式中　M——弯矩(当梁弯曲向上取正号)，N·m，；

I——梁截面惯性矩；

E——材料的弹性模量。

比较(2)和(3)式，$(\alpha_t/h)(T_2-T_1)$相当于M/EI。假定$(\alpha_t/h)(T_2-T_1)$在全长范围内是一个定值，即

$$\alpha_t(T_2-T_1)/h=K$$

则 $\frac{d^2f}{dx^2}=-K$

积分得 $\frac{df}{dx}=-Kx+C_1$

$$f=-\frac{K}{2}x^2+C_1x+C_2$$

根据边值条件：

当　$x=0$ 时，$f=0$

当　$x=L$ 时，$f=0$

得　$C_2=0, C_1=\frac{K}{2}L$

故　$f=\frac{\alpha_t(T_2-T_1)x(L-x)}{2h}$ (4)

则梁中间平面的最大挠度为

$$f_{max}=f_{x-\frac{L}{2}}=\frac{\alpha_t(T_2-T_1)L^2}{8h} \tag{5}$$

2　解决措施

根据式(5)和实际生产分析，只有减小温差(T_2-T_1)才是可行的，解决办法有如下几种。

(1)改进隔热板。热板是横梁温差变形的主要热源。热板与横梁之间是用耐压耐热的大块石棉板相隔的，热传导现象比较严重。如果采用 3 块石棉板，将中间的一块挖出长条或圆形空洞，使热板与横梁之间部分呈空气隔热状态。空气的隔热性能优于石棉板 4 倍以上(空气、石棉导热系数分别为0.0834，0.3962kJ·m^{-1}·h^{-1}·℃$^{-1}$)。这样可降低横梁的温升值，减小$\Delta T(T_2-T_1)$，最终达到减小f_{max}的目的。

(2)采取热补偿措施。横梁顶面与底面的温差$\Delta T(T_2-T_1)$是造成横梁变形的关键参数。适当提高T_1，使T_1尽量与T_2保持一致，可以达到减小ΔT的目的。因此，可以将横梁加工成图 2 所示结构。当平板硫化机工作时，通入蒸汽或热水，使横梁上、下两面同时加热，使ΔT趋于零，f_{max}达到最小。

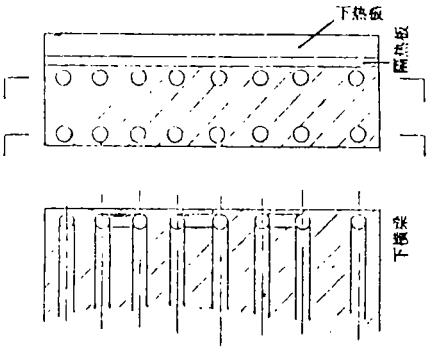

图 2　热补偿横梁结构示意

(3)采用预变形办法。从式(5)可以计算出最大变形量f_{max}。α_t是常数，h和L是特定值，T_2和T_1可以从实际量出或试验得出。计算出最大变形量f_{max}后，采用垫楔形块的方法，强迫热板在非工作状态下就存在一定的变形量，并使这个变形量等于f_{max}(只要使楔形块的较厚端等于f_{max}就可以做到)。当热板加热横梁变形后，热板的预变形能够完全抵消横梁的温差变形。

收稿日期　1994-05-12

征订启事

本刊编辑部尚有 1987—1989，1991—1994 年《橡胶工业》余刊(其中 1988 年缺第 8 期，1989 年缺第 9 期，1992 年缺第 2 期)供应，每本订价 4.00 元，全年订价 48.00 元。如有补订过刊者，请与本刊编辑部张川联系。款到发刊，余刊不多，欲订从速。

《橡胶工业》编辑部