

生胶摩擦性能对密炼机工作的影响

李 勇¹, 于明进¹, 李亚莉¹, 李 荣²

[1. 青岛化工学院, 山东 青岛 266042; 2. 银川中策(长城)橡胶有限公司, 宁夏 银川 750011]

摘要: 由微观和唯象分析建立了橡胶粘附摩擦的理论模型。通过对模型的分析 and 试验验证, 提出了提高密炼机混炼效果的新途径: (1) 密炼机温度控制采用温水冷却, 使密炼机处于最佳工作状态; (2) 通过合理选择密炼室和转子表面材料以改变材料表面能来增大胶料与它们之间的摩擦力; (3) 在压砣压力较大的条件下, 在密炼室内壁沿与转子轴线同方向加工浅的光滑槽, 可明显改善混炼效果。

关键词: 密炼机; 摩擦; 粘弹性; 混炼效果

中图分类号: T Q330. 1 文献标识码: A 文章编号: 1000-890X(2000)01-0033-04

为了提高密炼机的生产能力并改善混炼效果, 设计师和工艺师曾做了许多工作, 并且积累了不少经验。例如设计师对密炼机转子构型的设想及转子凸棱和密炼室之间间隙的选择; 工艺师在压砣压力、加料量和转子转速等方面的探讨, 无疑会对密炼加工起着积极的作用。

橡胶的混炼是一个极其复杂的过程, 影响因素众多, 单考虑上述因素的影响往往是不够的, 有时会出现适得其反的效果。

例如, 对密炼机转子构型的设计, 就要考虑到加工的可行性及成本; 减小转子凸棱与密炼室壁的间隙, 会增大功率消耗和混炼强度, 但间隙过小也会使混炼胶质量下降; 增大压砣压力, 提高转子转速, 虽然能够缩短混炼周期, 提高生产能力, 但是同时也会增大功率消耗, 导致胶料温度升高。

橡胶在加工过程中的工艺行为主要取决于粘附-摩擦性能以及内聚强度和胶料各层间的自粘性能。橡胶的内聚强度和粘附-摩擦性能变化在温度-速度过渡区表现更为突出, 会产生一系列影响工艺过程正常进行的反常现象。

例如, 加工 BR 和 IIR 或在一定条件下加工 NR 和 SBR 时, 在混炼起始阶段, 物料在密炼机转子和混炼室壁间会产生滑移, 这时混炼

过程实际上处于停顿状态, 几乎不消耗能量, 由于破坏了粘性流动的边界条件, 故不能进行剪切变形, 因而也不会使配合剂分布和分散。

尽管高分子材料与加工设备间的摩擦对其加工性能的影响早已被人们所认识, 并且也有过一些试验探讨, 但并没有人对摩擦机理进行过研究并建立相应的理论模型。

由于研究者所采用的材料和试验条件不同, 不但很难从试验中找到规律性, 甚至还出现一些相互矛盾的结论。例如, Evans^[1] 对聚丙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚乙烯进行的摩擦试验发现, 摩擦因数是随金属表面粗糙度的增大而减小, 随金属表面温度的升高而增大, 与 Has-sam Helmy^[2] 的结论不同。Ellwood^[3] 对几种胎面胶进行了摩擦因数对温度的依赖性这一单一条件的试验, 但没有对摩擦机理进行过阐述。没有说明试验条件就得出摩擦因数随温度升高而增大的结论, 显然这个结论是片面的。

本工作从摩擦的观点出发, 建立橡胶摩擦的理论模型并进行试验研究, 旨在增大胶料与混炼室及转子表面的摩擦力, 以提高密炼机混炼效果和产品质量。

1 理论模型的建立

假定橡胶材料为线形粘弹体, 认为橡胶在光滑刚性表面上的摩擦起因于界面层橡胶分子链在金属表面的粘附-蠕变-回复准周期性的变

形过程,采用 Kelvin 力学模型,根据 Boltzman 叠加原理和 W. L. F 方程及能量守恒定律,经微观和唯象分析,建立一个包含微观参数、粘弹参数及工艺参数在内的理论混合模型:

$$F_a = \frac{\frac{\pi}{2} \sigma_0^2 R_F \rho \tan \delta}{E' \nu a_0 \tau_s \ln \left[\left(\frac{R_F \sigma_0}{\nu a_0 \tau_s E'} - 1 \right) \frac{E_\infty}{E_0} \right]} \times S_p [1 - \exp(-\frac{\beta P}{E'})] \quad (1)$$

式中 F_a ——粘附摩擦力;

R_F ——分子链 Florey 半径;

$\tan \delta$ ——橡胶损耗因子;

E' ——橡胶储能模量;

E_∞, E_0 ——变形频率趋于无穷和零时的橡胶弹性模量;

a_0 ——W. L. F. 方程中的平移因子;

τ_s ——在温度 θ_s ($\theta_s = T_g + 50$) 下的推迟时间;

ν ——橡胶与刚性表面相对滑动速度;

P ——正压力;

S_p ——刚性表面的轮廓接触面积;

β ——刚性表面的几何特性参数;

σ_0 ——分子链的粘附应力,反映了橡胶与金属表面的粘合强度的大小;

ρ ——系数,根据胶料配方确定。

2 摩擦力的影响因素

2.1 温度和速度的影响——温度和速度的等效性

分析式(1)发现,粘附摩擦力 $F_a = f(\nu a_0, E', \tan \delta)$ 是橡胶粘弹参数的函数,与橡胶的粘弹性相关,满足温度和速度的等效性。对于无定型材料, a_0 符合 W. L. F. 方程。

对资料中的试验数据重新回归分析^[4,5],结果(见图1和2)证实了理论预测的正确性。

从图1和2可以看出,橡胶的粘附摩擦力主曲线中存在峰值,且对应于摩擦界面层物料中的玻璃化转变点。尽管此时基体材料不一定发生玻璃化转变,但由于界面层分子链受到强烈的剪切而变形,并摩擦生热,性能表现出类似于发生该转变。

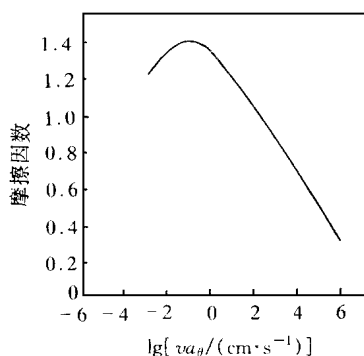


图1 NBR 纯胶在光滑钢表面上的摩擦因数主曲线

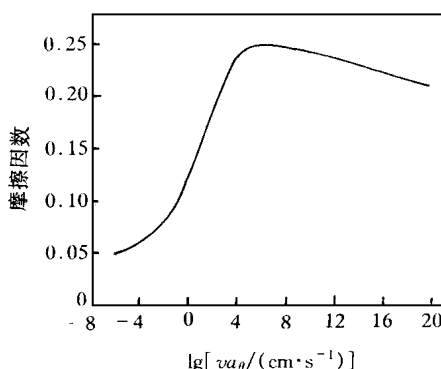


图2 未填充的 NBR 在 11 MPa 压力下与钢的摩擦因数主曲线

低于临界点,即变形频率低(速度小)或温度高,界面层物料处于高弹态,粘附摩擦力随 νa_0 增大而增大。高于临界点,即变形频率高(速度大)或温度低,界面层物料处于玻璃态,粘附摩擦力随 νa_0 增大而减小。在转变点处,由于物料性能发生急剧变化,摩擦力也发生很大变化。

2.2 压力和表面粗糙度的影响

将式(1)简化为

$$F_a = A' [1 - \exp(-\frac{\beta P}{E'})] \quad (2)$$

从式(2)可以看出,粘附摩擦力随压力升高而增大。这是由于压力增大,实际接触面积增大,当压力增到一定数值后,实际接触面积趋于轮廓接触面积,从而使粘附摩擦力增大并趋于恒定。

但当物料粘附性较小时,且物料较硬或压力小时,如果刚性表面粗糙,由于实际接触面积

远小于轮廓接触面积, 会出现摩擦力随粗糙度增大而减小的反常现象。

2.3 材料表面能的影响

材料表面能大, 意味着橡胶分子链与刚性表面的引力大, 即 σ_0 值大。

分析式(1)发现, σ_0 不仅影响粘附摩擦力的峰值, 同时也影响分子链的变形频率, 即影响粘附摩擦力主曲线的形状。

σ_0 值增大时, 摩擦力的峰值向低速高温方向移动。在转变点左侧(低速高温), 粘附摩擦力比 σ_0 小时的值要大, 而在转变点右侧(高速低温), 粘附摩擦力会出现反而减小的奇异现象。

3 实验验证

采用工业上的鞋底胶和胎面胶实用配方, 在界面温度为室温 $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、速度为 $7\sim 75\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 和压力为 0.35 MPa 的条件下, 在双环摩擦试验机上进行试验研究。

应用 W. L. F. 方程进行数据处理, 作出了两种胶料的摩擦主曲线(图 3 和 4)。根据主曲线作出了这两种胶料的最佳操作线(图 5 和 6)。

4 结论

(1)提出了一种新的橡胶粘附摩擦机理, 并

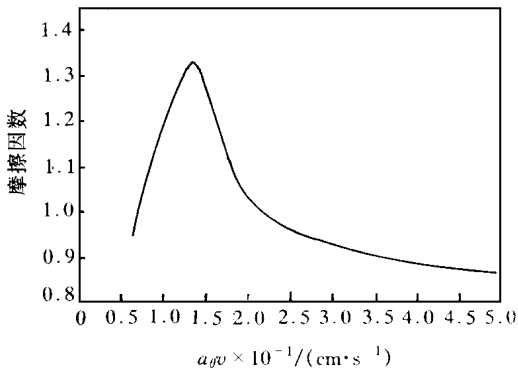


图 4 胎面胶的摩擦主曲线
注同图 3

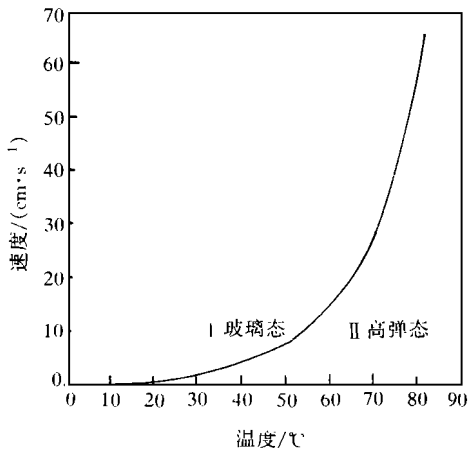


图 5 鞋底胶摩擦因数最大时的
速度-温度关系曲线

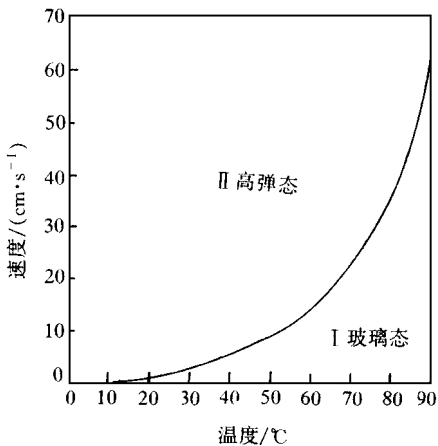


图 6 胎面胶摩擦因数最大时的
速度-温度关系曲线

导出了估测橡胶在刚性表面粘附摩擦的混合模型。理论表明, 橡胶粘附摩擦是与其粘弹性质相关的。影响橡胶摩擦性能的因素不是独立的

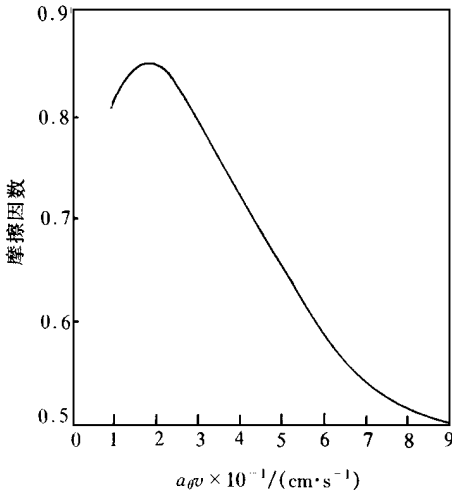


图 3 鞋底胶的摩擦主曲线
压力为 0.35 MPa ; θ_s 为 $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$

参数, 试验条件对其影响是非常显著的, 也是极其复杂的。试验条件的微小变化, 有时会引起摩擦力的急剧变化, 甚至变化的趋势也不相同。故在研究橡胶摩擦性能时, 必须将这些因素综合考虑, 尤其是速度和温度的影响。

(2) 根据理论分析, 粘附摩擦力是由内耗引起的, 服从时间-温度等效原理。从理论和试验两方面证实了最大摩擦力的存在, 即橡胶加工存在最佳工艺控制参数。也就是说, 从改变摩擦力角度方面考虑, 改变温度和改变转速具有等效性。由于橡胶加工工艺参数多数处于临界点右侧, 即摩擦力随温度的升高而增大, 当密炼机转子转速较大时, 应提高密炼室内壁冷却水的温度。为了不使胶温太高, 应增大冷却水流量, 反之, 应减小冷却水流量, 以保证密炼机处于最佳工作状态。这也为密炼机温控装置采用温水冷却来提高混炼效果提供了理论依据。

(3) 实际接触面积受压力、界面层物料储能模量及刚性表面几何特征的影响。刚性表面的几何性状一方面影响轮廓接触面积, 另一方面控制着参数 β 的大小。一般情况下, 橡胶摩擦力随刚性表面的粗糙度、不平度增大而增大, 但在低压、低温和高速, 或者橡胶较硬时, 由于实际接触面积的减小, 摩擦力会出现随粗糙度、不平度的增大而减小的特殊现象。这与上面提到

的 Evans 试验结果完全符合。

(4) 由于不锈钢表面能远大于碳钢的表面能, 建议密炼室内壁和转子表面镀铬或堆焊硬质合金, 或者其它高耐磨、防腐且表面能大的材料, 并且在密炼室内壁沿转子轴向加工浅的光滑槽, 以增大胶料与它们之间的摩擦力, 同时保证其耐磨性和耐腐蚀性。

参考文献:

- [1] Evans R E. The measurement of the coefficient of friction of polymer pellets under extrusion[J]. Journal of Testing and Evaluation, 1975, 13(2): 133-136.
- [2] Hassam H. Effect of slip at the barrel/melt interface on the efficiency of a single-screw melt-fed extruder[J]. Plastics and Rubber Processing, 1977, 2(1): 3-5.
- [3] Ellwood H. Determination of friction of rubber over a solid surface at low sliding rates[J]. Kautschuk Gummi Kunststoff, 1981, 34(4): 125-131.
- [4] Schallamach A. Recent advances in knowledge of rubber friction and tire wear[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1986, 41(1): 209-244.
- [5] Vinogradov G V, YeF kin A L, Bartenev G M, *et al.* Effect of normal pressure on temperature and rate dependences of elastomer friction in the glass transition region[J]. Wear, 1973, 23(1): 33-38.
- [6] 李 勇. 从摩擦学的角度探讨提高挤出机生产能力的途径[J]. 橡胶工业, 1998, 45(2): 106-108.

收稿日期: 1999-08-08

Influence of rubber friction on mixer performance

LI Yong¹, YU Ming-jin¹; LI Ya-li¹, LI Rong²

[1. Qingdao Institute of Chemical Technology, Qingdao 266042; 2. Yinchuan China Strategy (Great Wall) Rubber Co., Ltd. Yinchuan 750011]

Abstract: A theoretical model of rubber adhesion friction has been developed based on the microscopic and phenomenological analysis. By analysing and verifying the model experimentally, some new ways for improving mixer performance have been provided: a) warm cooling water should be used in the mixer temperature control to make the mixer work under optimum conditions; b) the surface materials of mixing chamber and rotors should be rationally chosen to change material surface energy and increase friction force on them; c) when the compound is processed under higher ram pressure, shallow grooves or stripes should be made on inner mixing chamber wall and in the same direction as that of rotor axis to increase the real contact area and improve the mixing effect.

Keywords: mixer; friction; viscoelasticity; mixing effect