

不同环境介质下天然橡胶磨耗性能的研究

韩晶杰, 马玉录, 许海燕, 吴驰飞

(华东理工大学, 上海 200237)

摘要: 采用旋转滚筒式磨耗机研究了在不同环境介质下天然橡胶(NR)相对分子质量对橡胶磨耗性能的影响。研究发现, 干磨引起的磨损比湿磨引起的磨损大得多, 这是因为在干磨的条件下橡胶磨损主要是由粘附摩擦引起的, 而在湿磨的条件下橡胶磨损主要是由滞后摩擦引起的。在同样的介质下, 随着橡胶相对分子质量的减小, 硫化胶的物理性能变差, 动态损耗因子增大, 即橡胶的磨损随着相对分子质量的减小而增大。

关键词: 天然橡胶; 磨耗性能; 干磨; 湿磨; 相对分子质量

磨耗是由于机械作用和(或)化学反应(包括热化学、电化学和力化学等反应)在固体摩擦表面上产生的一种材料逐渐损耗的现象, 这种损耗主要表现为固体表面尺寸和(或)形状的改变。材料磨耗是一种十分复杂的现象, 它不仅取决于材料本身的性质, 而且还是一个具有时变特征的渐进的微观动态过程, 同时还受到它所在的摩擦学系统(包括环境)中多方面因素的互相影响和互相作用。

为此, 对磨耗的研究必然涉及到物理、化学、力学、热力学、材料科学和机械工程等多种学科和科学技术领域的问题。为了研究橡胶磨耗机理, 进而预测橡胶制品的使用寿命, 许多研究者采用不同的设备对橡胶的磨耗进行了研究, 但是从橡胶相对分子质量的角度进行研究的很少。因此, 有必要在不同的环境介质(即干磨和湿磨)下, 研究天然橡胶(NR)相对分子质量对其磨耗性能的影响。

1 实验

1.1 原材料和设备

NR, 马来西亚产 1[#] 烟片胶, 选用 3 种不同相对分子质量及其分布的 NR(见表 1)。促进剂 CZ、促进剂 DM、硫黄、氧化锌、硬脂酸、防老剂 AO-20[三(3, 5-二叔丁基-4-羟基苄基)异氰酸酯]均由江西耐普实业有限公司提供。

XK-160 型双辊开炼机, 无锡晨光橡塑机械厂产品; ODR-100E 型硫化仪, 无锡市蠡园电子化

工设备厂产品; GT-7014-A30 型电热平板硫化机、GT-300K 电子拉力机和 GT-7012-D 型旋转滚筒式磨耗仪, 高铁检测仪器有限公司产品; LX-A 型橡胶硬度计, 上海利浦试验仪器厂产品; UBM Rheogel E4000 动态力学分析仪, 日本株式会社(UBM)产品; JSM 6360 扫描电镜, 日本电子株式会社(JEOL)产品。

1.2 试样制备

胶料的混炼是在 XK-160 型双辊开炼机上进行, 转速比为 1.4, 所用具体混炼配方列于表 2。混炼胶用 ODR-100E 型硫化仪测定硫化性能。在 GT-7014-A30 型电热平板硫化机上于 140 °C 下按照硫化仪测定的正硫化时间硫化。

表 1 3 种不同相对分子质量的 NR

样品编号	$\bar{M}_n (\times 10^5)$	$\bar{M}_w (\times 10^5)$	\bar{M}_w / \bar{M}_n
1 [#]	7.536	14.401	1.911
2 [#]	4.038	6.992	1.732
3 [#]	1.120	1.897	1.694

表 2 试验配方

组 分	用量
NR	100
氧化锌	5.0
硬脂酸	3.0
防老剂 AO-20	2.0
硫黄	1.8
促进剂 CZ	0.4
促进剂 DM	1.0

1.3 表征

1.3.1 性能测试

拉伸性能按照 GB/T 528 用 GT-300K 电子拉力试验机进行测定;撕裂强度按照 GB/T 530 测定;硬度按照 GB/T 531 在 LX-A 型橡胶硬度计上测定;磨耗性能按照 GB/T 9867 在 GT-7012-D 型旋转辊筒式磨耗仪上测定;动态力学性能用 UBM Rheogel E4000 动态力学分析仪测定;温度扫描时采用拉伸模式,应变 1%,每分钟升温 3 °C。

1.3.2 扫描电镜(SEM)观察

将磨耗后的样品表面喷金后,用 JSM 6360 扫描电镜对表面进行形貌观察。

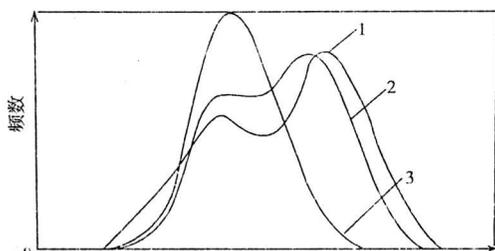
2 结果与讨论

2.1 物理性能

表 3 是 3 种不同相对分子质量的 NR 的物理性能。3 种不同相对分子质量的 NR 是通过不同塑炼时间得到的。一般 NR 的相对分子质量具有典型的双峰分布,如图 1 中曲线 1 所示。经过塑炼后, NR 相对分子质量变小,相对分子质量分布变窄,最后成为单峰分布,如曲线 3。1#样品的塑炼时间最短,最大限度地保留了原 NR 的相对分子质量及其分布。从表 3 中可以看到,1#样品的拉伸强度、300%定伸应力、撕裂强度及硬度最大,

表 3 3 种不同相对分子质量的 NR 物理性能

项 目	1#样品	2#样品	3#样品
邵尔 A 型硬度/度	35	32	30
300% 定伸应力/MPa	1.02	0.88	0.81
拉伸强度/MPa	22.3	20.5	19.1
拉断伸长率/%	870	921	941
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	39	33	29



1—1#样品; 2—2#样品; 3—3#样品。

图 1 NR 相对分子质量分布

这是由于 1#样品高相对分子质量部分含量大,分子之间的相互作用较强,因而具有较高的物理性能。2#样品次之,3#样品最差。

2.2 干磨和湿磨条件下磨耗性能比较

表 4 是不同相对分子质量的 NR 在干磨、湿磨条件下的磨耗量。

表 4 不同相对分子质量 NR 的磨耗量

项 目	1#样品	2#样品	3#样品
湿磨耗量/cm ³	0.008	0.016	0.021
干磨耗量/cm ³	7.045	8.974	10.458

从表 4 可以看出,同一种相对分子质量的橡胶样品在不同的环境介质下磨耗量相差很大。众所周知,磨耗是由摩擦引起的一种破坏现象。而橡胶和固体的摩擦由粘附摩擦和滞后摩擦两部分组成。粘附摩擦是橡胶与硬表面相对滑动时,两层之间形成局部连续点,在滑动过程中,粘附键被拉伸、破裂、松弛,直到在新的平衡位置重新发生粘附。

按照弹性体摩擦的粘附理论,可以得出粘附摩擦因数为:

$$\mu_a = B\varphi(E/P^r)\tan\delta \quad (1)$$

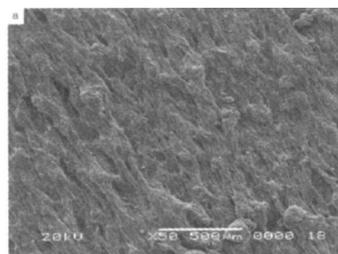
滞后摩擦是由于压入一微凸体后橡胶产生滞后损失而产生的。按照有关滞后摩擦的松弛理论,可以得出滞后摩擦因数为:

$$\mu_h = K(P/E)\tan\delta \quad (2)$$

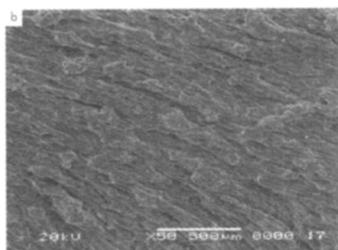
在干磨的实验条件下,橡胶与砂纸之间的摩擦由粘附摩擦和滞后摩擦组成,主要以粘附摩擦为主。同时,在滑动摩擦过程中,橡胶表面局部受热,导致分子热降解。大分子在剪切力的作用下机械断裂产生各种反应性的自由基引起力化学降解,加剧了橡胶的磨耗。而在水做润滑剂(即湿磨)的条件下,橡胶与砂纸之间的粘附摩擦大大降低,主要表现为滞后摩擦,同时摩擦产生的热量被水带走,降低了橡胶的热降解。因此,湿磨产生的磨耗量要比干磨大大降低。从图 2 的 SEM 照片也可以看出两者的不同。

图 2(a)是干磨后的 SEM 照片,可以看出,在被磨橡胶表面上呈现一条与滑动方向一致的平行磨痕带。这种磨耗是因在干磨的条件下橡胶与摩擦体之间的摩擦力很大,摩擦体的坚硬面划破

(微小割伤)橡胶表层所致。图2(b)是湿磨后的SEM照片,与干磨耗相比,由于其磨粒与橡胶间有水的存在,水起到了润滑作用,因而磨耗较小,而且磨耗表面相对干磨耗比较平滑,没有较长的裂纹。



(a)



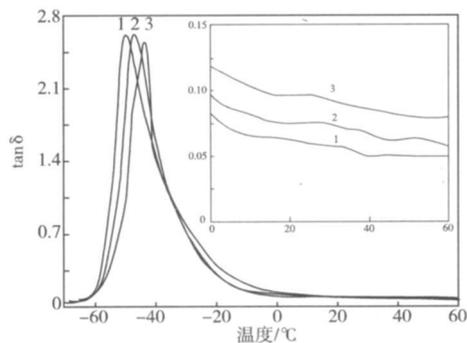
(b)

图2 被磨橡胶表面的SEM照片

2.3 相对分子质量对磨耗性能的影响

从表4中可以看到,不管是湿磨还是干磨,橡胶磨耗量都随着相对分子质量的减小而增大。

从公式(1)和(2)可以看到,粘附摩擦因数及滞后摩擦因数都是与材料的 $\tan\delta$ 成正比例的,即在实验条件相同的情况下,样品的滞后越大,橡胶与摩擦体之间的摩擦力越大,橡胶的磨耗量就越大。图3是3种不同相对分子质量橡胶的温度扫描动态力学性能曲线。从右上角的放大曲线上可以清楚地看出,在室温(即实验条件)下,随着橡胶平

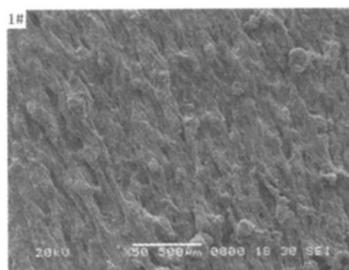


注同图1。

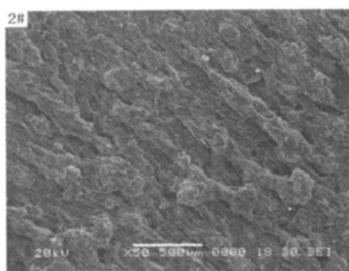
图3 3种不同相对分子质量NR的温度扫描动态力学性能曲线

均相对分子质量的减小, $\tan\delta$ 逐渐增大。因此3#样品与摩擦体的摩擦因数最大,磨耗量也最大。

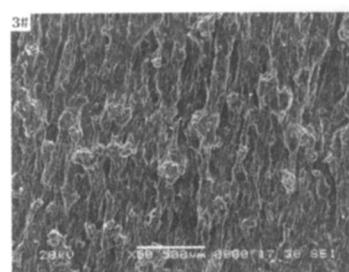
通过SEM照片,可以直观地看到放大后的摩擦样品表面形态。图4是3个样品干磨后的SEM照片。由于摩擦力比较大,摩擦条件苛刻,可以看到样品表面产生了与摩擦方向平行的犁沟。而且随着橡胶相对分子质量的减小,摩擦表面更加粗糙。



(a)1#样品



(b)2#样品



(c)3#样品

图4 被磨橡胶表面的SEM照片

3 结论

随着相对分子质量的减小,NR的物理性能变差,在室温下的动态损耗因子增大,因而在同样外界环境下,NR磨耗量随相对分子质量的减小而增大。在不同环境介质下,干磨时的NR磨耗量比湿磨时的NR磨耗量大得多。这是因为在干磨条件下橡胶磨损主要由粘附摩擦引起,而在湿磨条件下橡胶磨损主要由滞后摩擦引起。