

增塑剂对磁流变弹性体磁流变效应的影响*

陈琳¹, 龚兴龙¹, 江万权², 张培强¹

(1. 中国科学技术大学 力学和机械工程系, 中国科学院材料力学行为与设计重点实验室, 安徽 合肥 230027;
2. 中国科学技术大学 化学系, 安徽 合肥 230026)

摘要: 磁流变弹性体是磁流变材料的一个重要分支, 它兼有磁流变材料和弹性体的优点, 同时克服了磁流变液沉降、稳定性差等缺点。但目前研制出的磁流变弹性体存在磁流变效应和机械性能上的矛盾, 难以在需要高强度的变刚度器件中实际应用。本文研究了磁流变弹性体基体中增塑剂对材料磁流变效应的影响。结果表明, 在基体中添加增塑剂使得磁流变弹性体的相对磁流变效应有较大幅度提高, 并超过了目前文献中报道的最佳水平。文中还对磁流变弹性体的机械性能进行了评估, 结果发现添加增塑剂对磁流变弹性体的机械性能影响不大。这表明在制备硬性工程实用磁流变弹性体时, 在基体中添加增塑剂可以在保证机械性能的同时提高材料的磁流变特性。

关键词: 磁流变弹性体; 增塑剂; 机械性能

中图分类号: TB381

文献标识码: A

文章编号: 1001-9731(2006)05-0703-03

1 引言

磁流变液在磁场作用下铁磁颗粒被磁化后会发相变形成链状或柱状结构, 在磁场作用下微观结构的巨大变化造成了其它宏观力学性能也发生了巨大变化。一般情况下, 可以通过磁场改变磁流变液的剪切屈服强度到一个数量级以上^[1]。但颗粒沉降等问题一定程度上限制了其在实际中的应用。

磁流变弹性体同样是磁流变材料的一个重要分支。它是由高分子聚合物和铁颗粒组成, 在外加磁场作用下铁颗粒产生相互磁作用力, 因此它的弹性模量外场可以由外加磁场来控制^[2,3]。由于它兼有磁流变材料和弹性体的优点, 又克服了磁流变液沉降、稳定性差等缺点, 因而近年来成为磁流变材料研究的一个热点^[4,5]。不过磁流变弹性体, 目前还处于研究状态, 远不能够广泛应用于工程实际中。主要是由于为了制备简单和获得较高的相对磁流变效应, 目前研制出的磁流变弹性体大多是用硅橡胶等软性基体^[6,7]。但是它们的机械性能不佳, 并不能很好地在需要高强度高磨损工程领域中应用。目前国际上也有尝试用天然橡胶、丁晴橡胶等综合性能良好的聚合物为基体制备磁流变弹性体, 不过磁流变效应都不高^[8,9], 无法显出磁

流变材料的优异特性。

本文通过对比实验研究了在材料制备过程中增塑剂含量对磁流变弹性体磁流变效应的影响。增塑剂是一种加入到材料中以改进它们的加工性、可塑性、流动性、柔韧性的物质^[10]。增塑剂不会改变材料的化学性质, 但可以改变材料的玻璃化转变温度和熔体粘度等物理性质。在天然橡胶基体内添加增塑剂, 可以改变基体的门尼黏度, 从而改变铁磁颗粒在基体中的移动的阻力, 形成不同的内部结构。这种内部结构直接关系到弹性体的磁流变效应。同时文中还对磁流变弹性体的基本机械性能进行了评估。

2 材料制备

材料制备时使用双滚筒 XK-160 炼胶机(如图 1 所示)将块状天然橡胶和铁粉与增塑剂以剪切挤压式混合均匀, 再将混炼胶填充到模具中, 放入磁热耦合硫化装置。硫化设备如图 2 所示, 模具放在加热板上, 加热板由外部温控仪和电源控制温度。

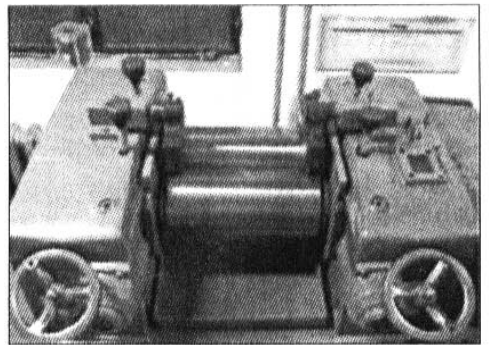


图 1 双滚筒式炼胶机

Fig 1 Two-roll miller

本文制备了 4 种不同组分的磁流变弹性体作性能对比实验。4 组中统一使用从江油公司购买的直径为 $5\mu\text{m}$ 的炭基铁粉, 选用天然橡胶作为基体。对比实验中固定铁粉体积比为 20%, 增塑剂的体积含量分别为 15%、20%、32%、40%, 其余成分为天然橡胶。

3 磁流变效应的测试

我们课题组自行研制了一套动态剪切模量的测试系统^[11], 原理如图 3 所示。样品夹在两块铝板中间,

* 基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20050358010)

收到初稿日期: 2005-12-15

收到修改稿日期: 2006-02-07

通讯作者: 龚兴龙

作者简介: 陈琳 (1983-), 男, 江苏东台人, 在读硕士, 师承龚兴龙教授, 主要从事电磁流变智能材料方向的研究。

两块铝板一块激励,一块响应。通过测得的剪切运动方向上的输入与响应,可算出相应的传递函数 $T(\omega)$,再通过公式(1)得到 k_r 。其中 $k_r = GA/h$, A, h 测样品的形状参数,可得材料的剪切模量 G 。测试实验中,外加磁场平行于磁流变弹性体厚度方向。

$$T(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{k_r(1+j\eta)}{-M\omega^2 + k_r(1+j\eta)} \quad (1)$$

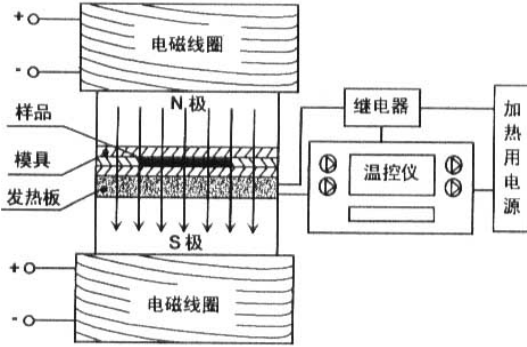


图2 磁热耦合硫化装置
Fig 2 Sulfuration device

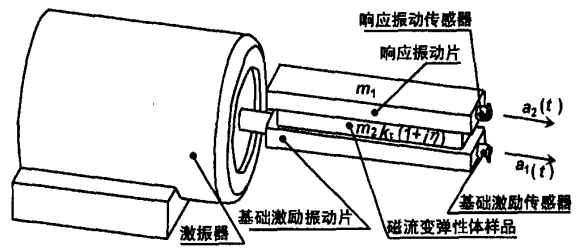


图3 测试原理图

Fig 3 Testing schematic

图4是在基体中添加不同含量增塑剂的磁流变弹性体的剪切模量频率谱。

从图4中可以看出,磁流变弹性体在外场为1T时的剪切模量大大高于零场时的剪切模量。这是由于外加磁场作用,磁流变弹性体内部铁磁颗粒被磁化后,产生相互磁作用力,引起附加磁致模量,使得磁流变弹性体模量增大。在基体中添加增塑剂,增加了基体的柔韧性,基体模量下降。因此,随着增塑剂比例的逐步升高,磁流变弹性体的模量也在逐步下降。同时,加入增塑剂,降低了基体在固化前的黏性,固化过程中,颗粒移动的阻力系数降低。

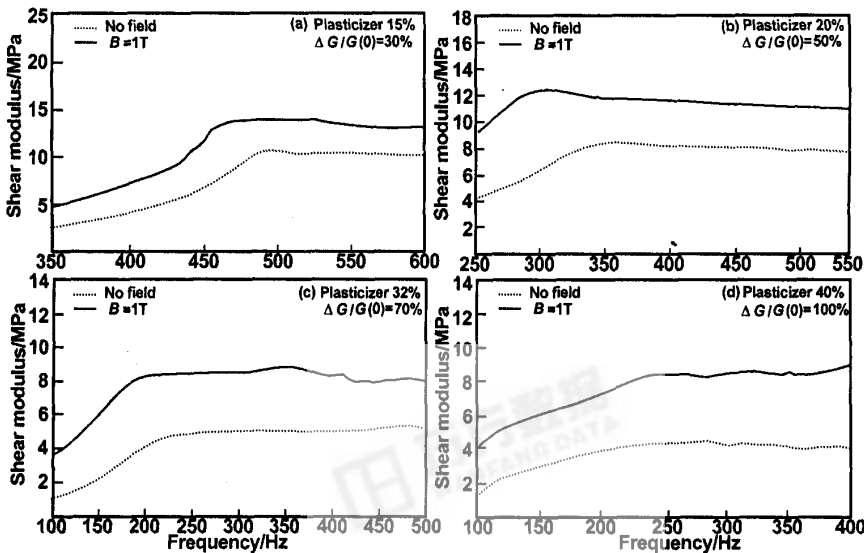


图4 增塑剂为15%、20%、32%、40%时模量-频率曲线

Fig 4 Shear storage modulus with the plasticizer content of 15%, 20%, 32%, 40%

在同样的主动力作用下,基体中的颗粒更易形成有序排列。而基体固化前的黏性与增塑剂的量成反比,所以增塑剂量越多,基体中颗粒有序程度越高,宏观上表现为磁流变效应越高,模量变化越明显。图4中,增塑剂体积比为从15%增至40%时,磁致模量即磁流变弹性体的模量改变值从3MPa增至4MPa。增塑剂使磁致模量增大的同时,也降低了弹性体的原有模量,因此相对磁流变效应大大增强,从增塑剂体积比为15%增至40%时,剪切模量相对磁流变效应从30%增至100%。在此之前文献上并无剪切模量磁流变效应达100%的公开报道。

另外,此时磁流变弹性体基体为天然橡胶,属于典型的粘弹性材料。粘弹性材料在低频时处于高弹态,模量随着频率的升高而升高。到玻璃转变频率以上,材料处于玻璃态,此时随着频率的升高,模量基本不变^[12]。在图4中模量频率谱跟普通粘弹性材料变化趋势相吻合。因此磁流变弹性体除具有磁流变材料的特性外,同样保留了粘弹性材料的一般特征和性能。

4 其它基本机械性能的测量

本文采用JPL系列多功能电子拉力机、JC-1007冲击弹性试验机、邵氏LX-A型硬度计,分别测得其拉伸

强度和撕裂强度、回弹率以及硬度分别对4组磁流变弹性体进行了基本机械性能的测量。结果如表1所示。

表1 不同增塑剂含量的机械性能比较

Table 1 Mechanical behavior comparison for different plasticizer contents

增塑剂含量 (%)	拉伸强度 (MPa)	撕裂强度 (N/mm)	回弹率 (%)	硬度
15	3.57	11.8	44	46
20	3.51	12.1	39	43
32	3.34	11.5	34	37
40	3.25	10.8	28	35

由表1中可以看出,随着增塑剂含量的升高,拉伸强度、撕裂强度、回弹性及硬度都有下降趋势。但同时可以看出拉伸强度和撕裂强度的下降值很小。拉伸强度下降0.32MPa,甚至在增塑剂为20%时的撕裂强度要高于增塑剂为15%时的值。由于增塑剂进入橡胶后,增大了分子间距离,使大分子链较易滑动,均匀化了材料内部应力分布^[13],此时材料的强度并没多少降低。同时由于基体内部一些缺陷被增塑剂填充,材料的柔软性和流动性增大,使得一些情况下撕裂强度上升。因此,增塑剂的加入,对其基本机械性能影响不大,某些性能还可在一定程度上得到提高。

5 结论

本文通过比较实验研究了增塑剂含量对磁流变弹性体磁流变效应的影响。实验结果表明,在基体中添加增塑剂,可以有效地提高磁流变弹性体的磁致模量,同时降低弹性体的自身模量,从而使得磁流变弹性体的相对磁流变效应有较大幅度提高,并超过了目前文献中报道的最佳水平。

另外,文中还对加入增塑剂的磁流变弹性体进行了基本机械性能测试。结果发现增塑剂对磁流变弹性体的机械性能影响不大。这表明在制备硬性工程实用磁

流变弹性体时,添加增塑剂可以在保证机械性能的同时提高材料的磁流变特性。

致谢:感谢中国科学院“百人计划”项目对本课题的大力支持!

参考文献:

- [1] Jolly M R, Bender J W, Carlson J D. [J]. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 1999, 10 (1): 5-13.
- [2] Bellan C, Bossis G. [J]. *International Journal of Modern Physics B*, 2002, 16(17&18): 2447-2453.
- [3] Shen Y, Golnaraghi M F, Heppler G R. [J]. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2004, 15: 27-35.
- [4] Lokander M, Stenberg B. [J]. *Polymer Testing*, 2003, 22: 677-680.
- [5] Davis L C. [J]. *Journal of Applied Physics*, 1999, 85(6): 3348-3351.
- [6] Shiga T, Okada A, Kurauchi T. [J]. *J Appl Polym Sci*, 1995, 17(2): 787-792.
- [7] Jolly M R, Carlson J D, et al. [J]. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 1996, 13(7): 613-622.
- [8] Ginder J M, Nichols M E, et al. [J]. *Proceedings of SPIE*, 1999, 3(1): 131-138.
- [9] Lokander M, Stenberg B. [J]. *Polymer Testing*, 2003, 22: 677-680.
- [10] Treloar L R. *橡胶弹性物理学* [M]. 北京: 化学工业出版社, 1982.
- [11] 方生, 龚兴龙, 张先舟, 等. [J]. *中国科学技术大学学报*, 2004, 34(4): 456-463.
- [12] 周光泉, 等. *粘弹性理论* [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996.
- [13] 杨清芝. *现代橡胶工艺学* [M]. 北京: 中国石化出版社, 1997.

Influence of plasticizer on the magnetorheological effect of magnetorheological elastomers

CHEN Lin¹, GONG Xing-long¹, JIANG Wan-quan², ZHANG Pei-qiang¹

(1. CAS Key Laboratory of Mechanical Behavior and Design of Materials, Department of Mechanics and Mechanical Engineering,

University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;

2. Department of Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Magnetorheological elastomer (MRE) is an important branch in magnetorheological materials. It holds both characteristics of magnetorheological materials and the excellence of elastomer. Meanwhile, it gets over the problems of sedimentation and stability in magnetorheological fluids. But by now, it is difficult to use them on the practical applications, because there is a contradiction between the MR effect and the mechanical performance for the prepared MRE. In this paper, the influence of the contents of plasticizer on the MR effect is studied through the experiments. The results indicate that adding plasticizer to the MRE would improve the relative MR effect obviously, and it has exceeded the best report in the other literatures. The mechanical properties are also evaluated. Results show that plasticizer has little effect on the mechanical properties. It indicates that when preparing MRE for practical applications, adding plasticizer can improve its magnetorheological characteristics while not affecting its mechanical properties.

Key words: magnetorheological elastomer; plasticizer; mechanical property