

磁流变体流变学特性研究

张 平* , 刘 奇 , 黄元龙

(重庆仪表材料研究所 ,重庆 400700)

摘 要 : 对所研制的矿物油介质和硅油介质磁流变体样品的零场粘度、磁流变性能、示功及速度特性进行了系统的测试和分析 ,并对其影响因素进行了详细的讨论。研制的磁流变体零场粘度小于 $0.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ($\dot{\gamma} = 81 \text{ s}^{-1}$) 且具有良好的粘温特性 ;磁流变体的剪切应力接近和超过 70 kPa ($B = 6000 \text{ G}$) ;在智能减振器的应用试验中获得理想的示功特性曲线。

关键词 : 磁流变体 ; 剪切应力 ; 粘度 ; 减振器

中图分类号 : TF125.8 文献标识码 : A

1 引 言

磁流变体(MRF)系一种在外界磁场作用下流变性能发生明显变化的分散体材料 ,与电流变体(ERF)相比 ,具有磁场下剪切应力值高 ,对杂质污染不敏感和 η_p/τ_y^2 值低的明显优点^[1] ,有广阔的工程化应用前景。我们针对汽车智能减振器的应用所研制的磁流变体材料的零场粘度、磁场下剪切应力、示功特性及影响因素进行了系统研究 ,在此做一简要介绍。

2 实验方法

实验样品为羰基铁粉、矿物油或硅油及添加剂组成的磁流变体。磁流变体的零场粘度 η_0 采用 NDJ-1 和其它 RV 粘度机在不同温场条件和剪切速率($\dot{\gamma}$ 为 7 及 81 s^{-1})下测量。磁流变性能(剪切应力 τ)采用重庆大学研制的 MRTS-01 平板式磁流变性能测试仪分别在 0.10.6 T 磁场和剪切速率($\dot{\gamma}$)50400 s^{-1} 的室温条件下测量。磁流变体的阻尼减振效果(示功特性)通过重庆大学研制的智能减振器的示功试验结果评价。

3 实验结果及讨论

3.1 零场粘度(η_0)

研制的典型磁流变体的室温零场粘度大部分为 $0.41.0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ($\dot{\gamma} = 7 \text{ s}^{-1}$) ,影响零场粘度的因素主要为(1)材料因素如悬浮相的种类、体积分数、粒度分布与型貌、悬浮介质的类别与粘度、添加剂的类别与配入量等(2)工艺因素如合成方法、球磨的配球量与速度和时间等(3)测试方法因素 ,如剪切速率和测试温度范围等。

所研制的磁流变体在零场下仍属于一种符合弱 Bingham 模型的非牛顿流体 ,且部分样品具有一定的触变性 ,其零场粘度呈现随剪切速率($\dot{\gamma}$)的提高明显下降的剪切稀化现象。图 1

* 通讯联系人 , Email : liuqida@163.net

收稿日期 : 2001 - 08 - 14 ; 修回日期 : 2001 - 08 - 25。

和图 2 分别为矿物油和硅油介质磁流变体的 $\eta_0\dot{\gamma}$ 关系曲线。可见即使在工艺和配比相同条件下,硅油与矿物油介质样品的剪切稀化程度明显不同,前者剪切稀化趋势小于后者。

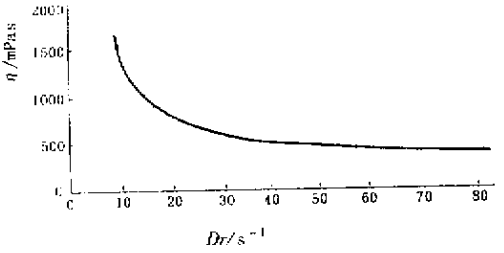


图 1 矿物油介质 MRF 剪切稀化曲线

Fig.1 $\eta_0\dot{\gamma}$ curve for MRF with mineral oil vehicle

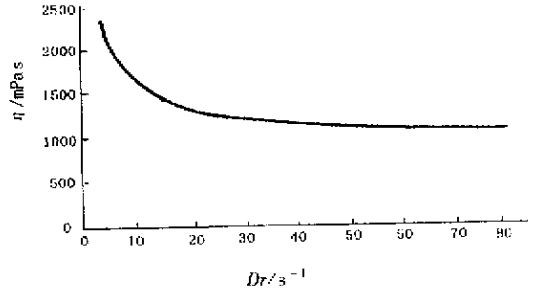


图 2 硅油介质 MRF 剪切稀化曲线

Fig.2 $\eta_0\dot{\gamma}$ curve for MRF with silicone oil vehicle

温度是影响磁流变体粘度值和稳定性的另一重要环境因素,主要取决于悬浮介质的粘温特性,倾点及闪点等参数,某些添加剂可明显改变这些参数。图 3、图 4 分别为矿物油和硅油介质磁流变体的粘温特性曲线,可见矿物油系磁流变体样品的粘温特性明显优于硅油系样品。

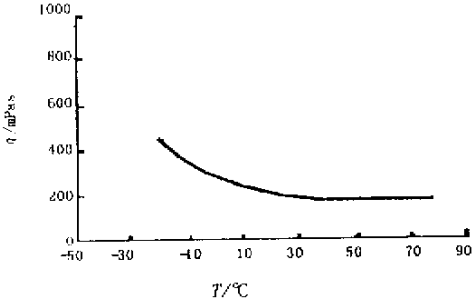


图 3 矿物油介质 MRF 粘温曲线

Fig.3 η_0T curve for MRF with mineral oil vehicle

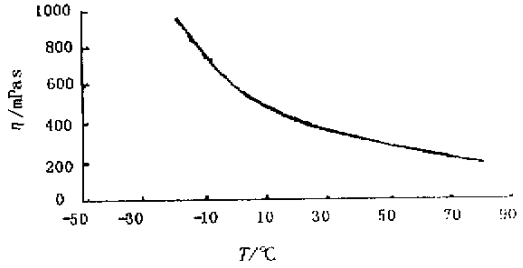


图 4 硅油介质 MRF 粘温曲线

Fig.4 η_0T curve for MRF with silicone oil vehicle

3.2 磁流变性能(τ)

研制样品的最大剪切应力值也已接近和超过 70 kPa(6000 Gs 或 250 kA/m 磁场下),如图 5 和图 6 分别为研制的矿物油介质和硅油介质 MRF 样品在不同磁场和剪切速率为 100 s^{-1} 时的剪切应力测试结果。

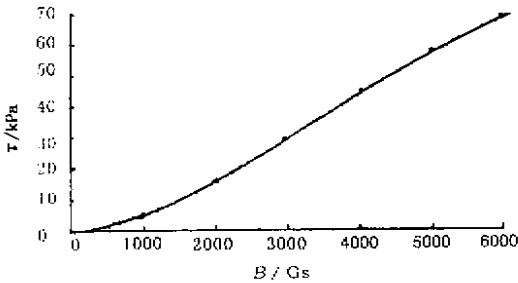


图 5 矿物油介质 MRF τB 曲线

Fig.5 τB curve for MRF with mineral oil vehicle

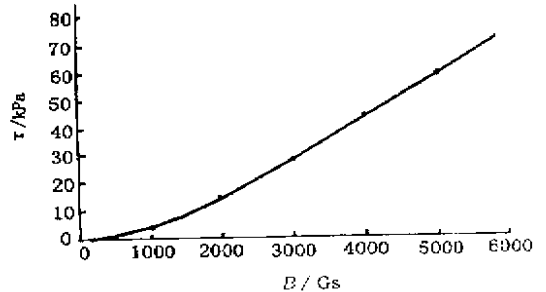


图 6 硅油介质 MRF τB 曲线

Fig.6 τB curve for MRF with silicone oil vehicle

3.2.1 材料因素及工艺因素 由具有高的饱和磁化强度 M_s 的悬浮相制备的磁流变体具有高的切应力值,磁流变体的饱和磁化强度与其悬浮相饱和磁化强度关系约为 $M_s = \varphi M_s'$,其中 φ 为悬浮相体积分数, M_s' 为悬浮相饱和磁化强度值。但实际测得比饱和磁化强度 σ_s 远高于计算值。试验表明即使在两种悬浮相比饱和磁化强度相同的情况下,悬浮相的粒度分布对

2001年10月

CHINESE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS

Oct. 2001

切应力值有明显的影响,当偶合系数 $\lambda \geq 1$ 时,微粒间静磁作用力 $F_H \propto a^2$,即使 $\lambda = 10^3$ 时,微粒尺寸仍对磁流变性能产生强烈影响,且与多分散系 MRF 相比,一定尺寸的单分散体系具有最佳的磁流变效应^[1]。因此,对不同批次悬浮相材料应较严格的控制粒径及分布范围。还原型羰基铁粉(HT)的 τ 值明显高于磷化型羰基铁粉(LDT)除了粒度区别影响外,前者高的纯度可能是另一重要因素。所选择的矿物油和硅油介质在 0.6 T 的磁场下,与 0.5 T 磁场相比 τ 值仍有较大幅度的增值,说明两种介质制备的样品均未达到磁化饱和,或者说均有较高的饱和磁化强度。但初步试验表明,由聚 α -烯烃(机油)制备的样品在由 0.4 T 升至 0.5 T 磁场时, τ 值已不再增加,此时的 τ 值也明显低于另两种介质样品的切应力值。添加剂对磁流变性能的影响反映在两个方面,属于界面活性剂型的部分添加剂通过明显改变样品的零场粘度而提高切应力值,研制过程也获得了零场粘度为 1880 Pa·s 的高粘度呈膏状磁流变体样品,具有沉降为零和明显高的磁流变性能($\tau = 100$ kPa),可用于大扭矩智能离合器研究开发。而属于稳定剂型添加剂(如 SiO_2 等)通过形成触变结构提高零场粘度,但这种结构在较高的切应力下很容易破坏,故对 τ 值无明显影响。适当的对悬浮相预处理有时可明显提高磁流变性能。

3.2.2 测试因素 在外磁场作用下磁流变体中的磁性微粒在磁偶极子作用下沿磁场方向排列成链状结构或复杂的网状结构,阻碍机械变形,需更大的外力才能使其屈服,其塑性行为符合 Bingham 模型:

$$\tau = \tau_y(H) + \eta_{sp}\dot{\gamma} \quad \tau \geq \tau_y$$

国外研究结果表明在较低和中等磁场下剪切应力与磁场的关系分别为 $\tau = B^{1.75}$ 和 $\tau = B^{1.5}$ ^[2]。在较高磁场下,由于样品磁化饱和的发生而不再符合上述关系。对于含较高悬浮相体积分数的样品,相应的磁化饱和点升高。研究表明,在一定磁场下剪切速率在 0.300 s^{-1} 范围变化, τ 值基本保持恒定,说明样品的表观粘度仍存在明显剪切稀化现象,因为 $\eta = \tau/\dot{\gamma}$ 。有一定粗糙度的壁面材料有助于提高镜向磁矩幅值,加强颗粒与表面的相互作用,提高剪切力传递效率^[1]。

3.3 振动阻尼性(示功特性)

将研制的矿物油介质样品用于重庆大学智能减振器的示功特性试验,示功试验在室温下(20°C),工作频率 1.81 Hz,工作速度 0.3 m/s 条件下进行,试验结果如图 7 所示。当电流为 0

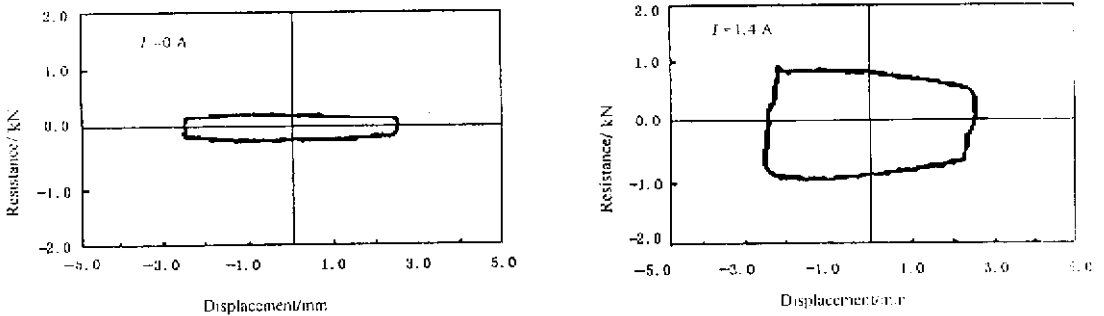


图 7 位移-阻力曲线

Fig. 7 Displacement - drag curve of MRF damper

A 时,复原阻力为 250 N,压缩阻力为 195 N,当电流为 1.4 A(2.8 V)时,其复原阻力为 928 N,压缩阻力为 855 N,阻力值增大 4 倍左右,已达到汽车减振器的阻尼力的要求,与美国 Lord 公司磁流变体减振器阻尼效果相当。

致谢: 本研究由重庆市科委资助,磁流变性能测试由重庆大学工程力学系常建同志完成,减振器设计及示功试验由重庆大学光机系廖昌荣同志完成,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Zhang Ping(张平), Wang Dongya(王东亚), Huang Yuanlong(黄元龙). *Materials Review* (材料导报), 2000, 14(4): 57
- [2] John M Ginder. *MRS Bulletin*, 1998, 8: 26

Study on the Rheology Character of Magnetorheological Fluid

Zhang Ping* , Liu Qi , Huang Yuanlong

(*Chongqing Instrument Materials Institute , Chongqing 400700*)

Abstract The off - state viscosity(η_0), shear stress(τ) and on - state performance curve of magnetorheological fluid based on carbonyl iron powder , mineral oil or silicone oil were investigated , the influence factor on the rheology character were also discussed. The MRF developed own ideal comprehensive property($\eta_0 < 0.5 \text{ Pa s}$, $\tau < 70 \text{ kPa}$), good temperature stability and performance curve.

Key words Magnetorheological fluid , Viscosity , Rheology , Damp

* To whom correspondence should be addressed , Email : liuqida@163.net