

文章编号: 1000-5471(2008)02-0136-03

# 盘式磁流变液离合器的设计与分析<sup>①</sup>

赵计平<sup>1</sup>, 邹继文<sup>2</sup>

1. 重庆工业职业技术学院 汽车工程系; 2. 重庆工学院 机械工程系, 重庆 400050

**摘要:** 磁流变液离合器是一种利用磁流变液剪切应力来进行离合的一种装置, 它传递的力矩随外加磁场的变化迅速变化. 本文在理论上给出了盘式磁流变液离合器的设计方法, 推出了磁流变液离合器传递力矩的方程, 得出了盘式磁流变液离合器中磁流变液体积、厚度等的计算公式. 为盘式磁流变液离合器的设计奠定了理论基础.

**关键词:** 磁流变液; 离合器; 设计方法

**中图分类号:** TH12

**文献标识码:** A

磁流变液(MRF)是一种在外加磁场作用下流变特性发生急剧变化的材料, 它在无外场作用下表现为流动良好的牛顿流体, 然而在强磁场作用下, 其表观粘度可在毫秒级的短时间内增加几个数量级以上, 并呈现类似固体的力学性质, 而且粘度的变化是连续、可逆的, 即一旦去掉磁场后, 又变成可以流动的液体. 磁流变效应连续、可逆、迅速和易于控制的特点使得磁流变液装置将广泛应用在汽车、机械、建筑、航空、医疗等领域. 被认为是未来最具前途的智能材料之一<sup>[1]</sup>.

## 1 盘式磁流变液离合器的工作原理

磁流变液离合器是一种利用磁流变液剪切应力来进行离合的一种装置, 它传递的力矩随外加磁场的变化迅速变化. 其工作原理如图 1 所示, 图中轴 1 是转轴, 转动速度为  $\omega$ , 轴 2 为固定轴.

在没有磁场作用的情况下, 磁流变液处于液体状态, 离合器的离合力矩仅为粘性阻力. 当有一个外加磁场作用时, 磁流变液中的极性粒子马上被极化并沿着磁力线方程成链状分布. 这种链状结构就使磁流变液的剪切应力增大, 表现出塑性体的特性, 因此离合器就可以传递一定的力矩. 力矩的大小可以通过调节磁场强度的大小来控制.

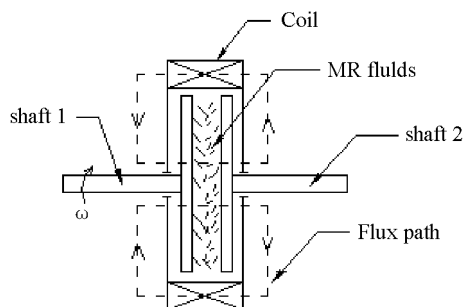


图 1 盘式磁流变液离合器的工作原理

## 2 磁流变液的剪切应力

对磁流变液本构性质的描述有很多种形式<sup>[2-4]</sup>, 但是大部分都比较复杂而很难实际应用. 目前最普遍的观点是把磁流变液近似认为是 Bingham 流体, 其本构方程为<sup>[5]</sup>:

$$\tau = \tau_B + \eta\dot{\gamma} \quad (1)$$

式中  $\tau$  是剪切应力;  $\tau_B$  是动态屈服应力, 为磁场强度  $B$  的函数;  $\eta$  是粘度;  $\dot{\gamma}$  为剪切率.

图 2 显示了某一种典型磁流变液在不同磁场强

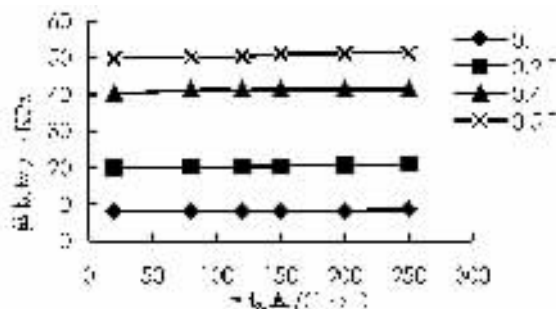


图 2 不同磁场下剪切应力与剪切率的关系曲线

① 收稿日期: 2007-11-05

基金项目: 重庆市教委科研项目.

作者简介: 赵计平(1962-), 女, 安徽怀远人, 副教授、工程师, 主要从事机械加工工艺设计和机械制造专业教学工作.

度下剪切应力与剪切率的关系曲线. 从图中可以看出, 磁流变液的剪切应力随着磁场强度的升高而升高, 而剪切率对剪切应力的影响很微小.

### 3 离合器传递转矩的分析

图 3 显示的就是盘式磁流变液离合器中起作用的磁流变液, 图中作用半径为  $R$ , 厚度为  $H$ . 当有外加磁场时, 由图中参数可以推出磁流变液所能传递的离合转矩:

$$T = 2\pi \int_0^R \int_0^H \tau r^2 dr dz \quad (2)$$

式中  $R$  是圆盘半径,  $H$  是厚度,  $\omega$  为主动轴转速. 而任意位置磁流变液的剪切率为<sup>[6]</sup>:

$$\gamma = \omega(z) \frac{r}{H} \quad (3)$$

式中  $\omega(z)$  是任意位置磁流变液的转速,  $r$  和  $h$  为这一位置的半径与厚度.

因为  $H$  值与  $R$  值相比是很小的, 所以我们可以近似认为  $\omega(z)$  成线性分布, 在引入边界条件:  $\omega(z) = \omega_1$  当  $z = 0$  时;  $\omega(z) = \omega_2$  当  $z = H$  时, 可以得到:

$$\omega(z) = \omega \frac{H - z}{H} \quad (4)$$

由等式(1)、(2)、(3)、(4), 就可以推出盘式磁流变液离合器的离合转矩  $T$ :

$$T = \frac{2}{3} \pi \tau_B H R^3 + \frac{1}{2} \pi \omega \eta R^4 \quad (5)$$

从等式(5)可以看出离合力矩由两部分组成, 一个为磁流变效应所引起的分量  $T_B$ , 另一个为磁流变液的粘性转矩分量  $T_\eta$ .

$$T_B = \frac{2}{3} \pi \tau_B H R^3 \quad (6)$$

$$T_\eta = \frac{1}{2} \pi \omega \eta R^4 \quad (7)$$

总离合转矩为两者之和:

$$T = T_B + T_\eta \quad (8)$$

### 4 磁流变液的体积、半径及厚度

盘式磁流变液离合器中磁流变液的作用体积由下式得出:

$$V = \pi R^2 H \quad (9)$$

由等式(6)、(7)、(9)可以推出  $H$  与  $R$  的关系式:

$$\frac{H}{R} = \frac{3}{4} \cdot \frac{T_B}{T_\eta} \cdot \frac{\eta \omega}{\tau_B} \quad (10)$$

等式(10)显示了盘式磁流变液离合器的几何约束与下列参数有关: 磁流变液的材料属性( $\eta/\tau_B$ )、转矩分量比期望值( $T_B/T_\eta$ )、输入转速  $\omega$ .

由式(10), 只要根据功率的大小, 选定  $R$  的值, 就可以推出  $H$  的值.

### 5 设计实例

下面用实例说明设计过程. 已知输入功率  $P_m = 1\ 000\ \text{W}$ ,  $\omega = 20\ (1/\text{s})$ , 对于转矩分量比期望值( $T_B/T_\eta$ )的选择来说, 因为粘性阻力矩  $T_\eta$  在不需要离合时也起作用, 所以理论上希望其越低越好, 而  $T_B$  则越大越好. 根据所需离合转矩和磁流变液的实际粘性特点, 可以选择为:  $T_B/T_\eta = 20$ .

参数( $\frac{\eta}{\tau_B}$ )与离合器的几何尺寸成正比, 所以为了限制离合器的尺寸, 理论上设计者应该选择高的屈服

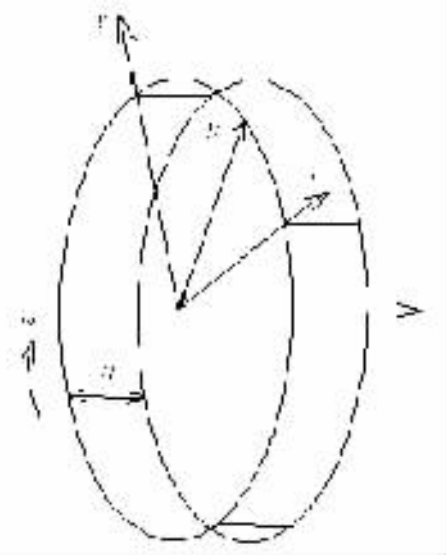


图 3 磁流变液离合力矩分析

应力和低的粘度, 结合磁流变液的材料特性, 选择  $\tau_B = 40 \text{ Kpa}$ ,  $\eta = 0.33 \text{ Pa} \cdot \text{S}$ .

由上述条件代入公式(10), 得到  $\frac{H}{R} = 0.002475$ .

在由功率  $P_m = 1000 \text{ W}$ , 可知离合器尺寸不会很大, 所以选  $R = 100 \text{ mm}$ , 因此  $H = 0.2475 \text{ mm}$ .  $V = 7771.5 \text{ mm}^3$ .

## 6 结 论

本文在理论上探讨了盘式磁流变液离合器的设计方法, 分析了不同磁场强度下磁流变液的离合转矩. 得出了盘式磁流变液离合器中磁流变液的体积、厚度、作用半径的工程计算公式, 在已知输入转速和确定了转矩分量比之后, 只要根据输入功率的大小就可以得到一系列参数. 为盘式磁流变液离合器的设计奠定了理论基础, 并由此还可以扩展到其它磁流变液应用器件的设计上.

### 参考文献:

- [1] Carlson D J, Catanzarite M D, Clair A K. Commercial magnetorheological fluid devices [J]. Magnetorheological Suspensions and Associated Technology, 1995(7): 20 - 28.
- [2] Shulman Z P, Kordonsky W I. Structure. Physical Properties and Dynamics of MR Suspensions [J]. Multiphase Flow, 1986, 12(6): 935 - 955.
- [3] Mark Jolly R, David Carlson J, Beth Munoz C. A Model of The Behavior of MR Materials [J]. Smart Material and Structure, 1996 ( 5): 607 - 614.
- [4] Yang Y, Huang W J, Li H, et al. The Discussion of Mechanical Model of Electrorheological Fluids [J]. Proceedings of the Sixth International Conference on Electronic Measurement & Instruments , 2003, 1(8): 739 - 742.
- [5] Ashour O, Craig A. Magnetorheological Fluids: materials, characterization, and devices [J]. Int. Mater. Syst Struct, 1996( 7): 123 - 130.
- [6] 常 建, 彭向和. 一种磁流变液测试装置的研究 [J]. 仪器仪表学报, 2001, 1(22): 354 - 357.

# Analysis and Design of Circular Plate MR Fluids Clutch

ZHAO Ji-ping<sup>1</sup>, ZOU Ji-wen<sup>2</sup>

1. Chongqing Industry Polytechnic College Automotive Department, Chongqing, 400050, China;

2. Dept. of Mechanics, Chongqing Institute of Technology, Chongqing, 400050, China

**Abstract:** A magnetorheological (MR) fluids clutch is a device to achieve clutch by shear force of MR fluids. A MR clutch has the property that its transmitting torque changes quickly in response to an external magnetic field. In this study, the design method of the circular plate MR fluids clutch is investigated theoretically. The equation of the torque transmitted by the MR fluids in the clutch is derived to provide the theoretical foundation in the design of the clutch. Based on this equation, after mathematically manipulated, the calculations of the volume, thickness of the MR fluids within the circular plate MR fluids clutch are yielded.

**Key words:** MR fluids; clutch; design method

责任编辑 汤振金