[19]中华人民共和国专利局

[11] 公开号 CN 1088019A

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 93120703.7

[51]Int.Cl[5]

[43]公开日 1994 年 6 月 15 日

H01F 1/28

[22]申请日 93.10.30

[30]优先权

[32]92.10.30[33]US[31]07/968,735

[71]申请人 洛德公司

地址 美国宾夕法尼亚

[72]发明人 K·D·韦斯 J·D·卡尔森

T·G·达克劳斯

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

代理人 任宗华

说明书页数: 附图页数:

[54]发明名称 低粘度磁流变材料

[57]摘要

一种磁流变材料，其包含颗粒和载流体，而载流体所具有的每度温度的粘度变化（$\triangle\eta/\triangle T$ 比值）在 25℃至-40℃温度范围内小于或等于约 9.0 厘泊/℃。磁流变材料相对于温度的变化表现出机械特性极小变化的基本磁流变效应。磁流变材料的优点就在于它使装置的设计可以更小，更有效和消耗更小的能量。

权 利 要 求 书

1、一种磁流变材料，它包括载流体和颗粒成分，其中载流体在25℃至－40℃温度内具有的 $\Delta\eta/\Delta T$ 比值小于或等于约9.0厘泊/℃。

2、按照权利要求1的磁流变材料，其中在25℃至－40℃温度范围内 $\Delta\eta/\Delta T$ 比值是小于或等于约7.0厘泊/℃。

3、按照权利要求1的磁流变材料，其中载流体可选自下列一组成分，即丙二醇、乙酸酐、异硫氰酸烯丙酯、乙酸苄酯、双(2—丁氧基乙基)醚、双(2—乙基已基)邻苯二甲酸酯、双(2—巯乙基)硫化物、双(2—甲氧乙基)醚、1—溴庚烷、1—溴已烷、1—溴辛烷、1，3—丁二醇、2—(2—丁氧基乙氧基)乙醇、丁苯、丁基环已烷、N—丁二羟乙基胺、丁酸酐、1—氯—2—乙基苯、1—氯—4—乙基苯、1—氯庚烷、1—氯辛烷、3—氯丙腈，3—氯甲苯、环已酮、乙酸环已酯、环辛胺、癸甲基四硅氧烷、1—癸烯、1，2—二溴丁烷、1，2—二溴—1，1—二氯乙烷、1，2—二丁氧基乙烷、二丁二硫、丙二酸二丁酯、二丁硫、2—二乙氨基乙醇、1，4—二乙基苯、二乙基溴代丙二酸、二乙硫、二—(2—乙基已基)邻苯二甲酸酯、二乙基丙二酸酯、2，4—二甲基吡啶、二丙二硫、2—(2—乙氧乙氧基)乙醇、2—乙氧基乙基乙酸酯、2—(乙胺基)乙醇、N—乙基苯胺、N—乙基二乙醇胺、2，2′—(亚乙二氧基)双乙醇、乙基庚酸酯，乙基已酸酯、2—乙基已酸、2—乙基—1—已醇、2—乙基已基乙酸酯、乙基辛酸酯、S—乙硫基乙醇、乙基甲苯、4—氟—1—甲氧基苯、三丁酸某油酯，二十七氟三丁胺、庚醛、庚硫醇、六氟—2—苯基—2—丙醇、顺六氢—1，2—二氢化苊、2，5—已二醇，

已腈、1—已三醇、1—已醇、乙酸已酯、2—羟基乙肼、4—羧基—4—甲基—2—戊酮、3—羟基丙腈，茚、1—碘庚烷、1—碘戊烷、异丁基苯、异丙基苯、异丙基环已烷、异丙基—1—甲基苯、苎烯、3—甲氧基—1—丁醇、2—(甲氧基乙氧基)乙醇、甲基乙酰乙酸酯、N—甲基苯胺、甲基环戊二烯二聚物、甲基庚酸酯、甲基已酸酯、1—甲基咪唑、4—甲基戊腈、2—甲基戊酸、2—甲基丙酸、1—硝基丁烷、2—硝基乙醇、壬烷、壬酰氯化物、辛腈、1—辛硫醇、辛酰氯化物、1,5—戊二胺、乙酸戊酯、1—苯乙烷、蒎烷、蒎烯、1,2,3—丙三醇三乙酸酯、顺丙烯基苯、丙酸酐、丙基环已烷、苯甲酸丙酯、角鲨烯、四乙锗、四乙基锡、四氢吡喃—2—甲醇、2,6,10,14—四甲基十五烷、三丁胺，三丁基硼酸酯、三丁基磷酸酯、1,3,5—三甲基苯、2,6,8—三甲基—4—壬酮、三甲基磷酸酯、1,2,4—三甲基哌嗪、三丙胺、1—十一碳烯、和其混合物、以及乙二醇和丙二醇与水的混合物，其中亚烷基二醇与水的比是在 60：40 至 95：5 之间。

4、按照权利要求 1 的磁流变材料，其中载流体是聚硅氧烷或全氟聚醚，该载流体在 25℃下具有的粘度是在约 3 和 200 厘泊之间。

5、按照权利要求 4 的磁流变材料，其中载流体在 25℃下具有的粘度是在约 5 和 100 厘泊之间。

6、按照权利要求 4 的磁流变材料，其中聚硅氧烷是一种硅氧烷的均聚物或共聚物，它是由硅氧烷聚合物主链由羧基作为侧和端基所取代的材料组成，其中羧基可以是直链、支链或环状的，以及碳原子数在 1 至约 8 范围内的脂类或芳香类，其中羧基可以包含 H、N、O、S、Cl、Br 或 F 官能团。

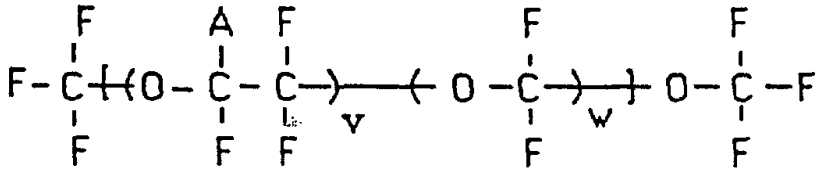
7、按照权利要求 6 的磁流变材料，其中聚硅氧烷是选自下

列一组材料，即聚二甲基硅氧烷、聚甲基苯基硅氧烷、聚(甲基—3,3,3—三氟丙基)硅氧烷、聚氯苯甲基硅氧烷、二甲基(四氯苯基)硅氧烷共聚物、二甲基(苯甲基)硅氧烷共聚物、二甲基(二苯基)硅氧烷共聚物和甲基—3,3,3—三氟丙基(二甲基)硅氧烷共聚物。

8、按照权利要求 7 的磁流变材料，其中聚硅氧烷是聚二甲基硅氧烷。

9、按照权利要求 4 的磁流变材料，其中全氟聚醚是一种线性氟化聚合物，它包含的聚醚主链是由碳和氧原子并带有 CF_3 或 F 官能团所组成的。

10、按照权利要求 9 的磁流变材料，其中全氟聚醚对应于下列通式：



其中 A 可以是 F 或 CF_3，并且 v/w 的比是在约 30 和 50 之间。

11、按照权利要求 10 的磁流变材料，其中 v/w 的比是在约 35 和 45 之间。

12、按照权利要求 1 的磁流变材料，其中颗粒成分是由顺磁、超顺磁或铁磁化合物组成。

13、按照权利要求 12 的磁流变材料，其中颗粒成分是由选自下列一组材料所组成的，即铁、铁合金、氧化铁、氮化铁、碳化铁、羰基铁、二氧化铬、低碳钢、硅钢、镍、钴、及其混合物。

14、按照权利要求 1 的磁流变材料，其中颗粒成分是一种选

自下列一组中的金属粉末，即纯铁粉末，粉碎铁粉末、绝缘的粉碎铁粉末和钴粉末。

15、按照权利要求 1 的磁流变材料，其中颗粒是纯铁粉末、粉碎铁粉末、氧化铁粉末/纯铁粉末混合物或氧化铁粉末/粉末铁粉末混合物。

16、按照权利要求 1 的磁流变材料，其还包括表面活性剂。

17、按照权利要求 16 的磁流变材料，其中表面活性剂是选自下列一组材料，即油酸和环烷酸亚铁、硬脂酸铝、碱性硬脂酸盐、磺酸盐、磷酸酯、硬酯酸、单油酸甘油酯、脱水山梨糖醇倍半油酸酯、脂肪酸、硬脂酸盐、月桂酸酯、脂肪醇、氟脂族聚酯、憎水发烟硅石、沉淀的硅胶、和钛酸、铝酸或锆酸偶联剂。

18、按照权利要求 17 的磁流变材料，其中表面活性剂是憎水发烟硅石、沉淀的硅胶、磷酸酯、氟脂族聚酯或偶联剂。

19、按照权利要求 18 的磁流变材料，其中沉淀的硅胶是在对流炉中在约 110℃至 150℃温度下进行约 3 至 24 小时时间周期的干燥。

20、按照权利要求 1 的磁流变材料，其中颗粒凝结是通过触变网络的形成而减到极小。

21、按照权利要求 1 的磁流变材料，其中载流体是占磁流变材料总体积的约 50 至 95%体积数量范围，而颗粒成分则为约 5 至 50%体积数量范围。

22、按照权利要求 21 的磁流变材料，其中载流体是在约 60 至 85%体积的数量范围，而颗粒成分是在约 15 至 40%体积的数量范围。

说　明　书

低粘度磁流变材料

本发明涉及其流体材料，在其处于磁场中时，会显现出流动阻力的明显增加，特别是，本发明涉及低粘度磁流变材料，其实质上减小了在给定温度范围内磁流变装置所需的力的变化。

在有磁场的情况下，可经受视在粘度的变化的流体混合物通常可称作 Bingham 磁流体或磁流变材料。磁流变材料通常是由铁磁或顺磁颗粒组成的，其粒经通常大于 0.1 微米，它分散于载流体内，在有磁场的情况下，其颗粒极化，并由此在流体内组成粒子链。粒子链增加了整个材料的视在粘度或流动阻力，并且在有磁场的情况下，颗粒会恢复到无组织状态或自由态，并且整个材料的视在粘度或流动阻力也就相应地降低了。这些 Bingham 磁流体混合物显示出可控制的特性，该特性类似于相应地用电场来代替磁场，而对电流变材料所观察到的情况。

电流变和磁流变材料二者在装置内提供变化的阻尼力方面是有用的，其装置如阻尼器、冲击吸收器和弹性装置，以及在各种离合器、制动器和阀门装置中控制转矩和/或压力参数方面也是有用的。在这些应用中，磁流变材料本身提供了一些优于电流变材料的优点。磁流变流体显示出比电流变材料高的屈服强度，因此，它可以产生较大的阻尼力。另外，磁流变材料是通过磁场来激活的，而与提供给用以有效地使电流变材料工作所需的昂贵的高压电力相比，该磁场可以很容易地由简单的低

压电磁线圈来产生。在 1992 年 6 月 18 日申请的二个后续未决美国专利申请系列号 07/900，571，和 07/900，567，其名称分别为“磁流变流体阻尼器”和“磁流变流体装置”中，提供了将磁流变流体加以有效利用的装置类型更为详细的描述，其全文在此可以结合作为参考。

磁流变流体或 Bingham 磁流体不同于胶质磁流体或铁磁流体。在胶质磁流体中，颗粒的粒径通常为 5—10 毫微米，在磁场的作用下，胶质铁磁流体不会显现出构成或出现阻止流动的粒子，相反，胶质磁流体在整个材料上会经受一与磁场梯度成正比的体积力，该力会使整个胶质铁磁流体被吸引到高磁场强度区域。

在各种专利及出版物中已经讨论了磁流变流体及其相应的装置。例如，美国专利 2，575，360 提供了一机电控制施加转矩的装置的说明书，它采用了一种磁流变材料以提供在两个单独旋转部件之间的传动连接，如可以在离合器和制动器中所看到的，所述的适用于该场合的流体混合物包括 50%体积的软铁粉末，通常称作“羰基铁粉末”，其分散在适当的液体介质中，如轻润滑油。

在美国专利 2，661，825 中公开了另一种设备，它可以通过使用磁场或电场来控制移动部件之间的滑动。在可移动部件之间的空间可填充场敏感介质，产生的磁场或电场通量通过该介质便可以控制最终的滑动量。所述的随磁场作用变化的流体包含羰基铁粉末和少量矿物油。

美国专利号 2，886，151 描述了力传递装置，如离合器和制动器，它使用与相应的电场或磁场耦合的流体薄膜。其公开了磁场对应于流体的一个例子，其流体包含减小的氧化铁粉末，

和在 25℃下粘度为 2 至 20 厘泊的润滑级油。

在美国专利 2，670，749 和 3，010，471 中，描述了用来控制磁流变流体流动的阀门结构，在所公开的阀门设计中可以使用的磁流体包括铁磁、顺磁和抗磁材料。在美国专利 3，010，471 中所述特殊的磁流体混合物是由少量的烃油中含羰基铁的悬浮物组成的。在美国专利 2，670，749 中描述了可以使用的磁流体混合物，它是由羰基铁粉末分散于硅油中，或分散于氯化或氟化悬浮流体中所组成的。

在美国专利 2，667，237 中公开了各种磁流变材料混合物。该混合物规定了将小顺磁或铁磁颗粒分散于一种液态冷却抗氧化气体中，或铁磁颗粒分散于一种液态冷却抗氧化气体中，或是一种半固态润滑酯中。而对于磁流变材料的最好的混合物是由铁粉末和少量机油组成的。特别要提及的最好的磁粉末是平均粒径为 8 微米的羰基铁粉末，其它可能的载体成分包括煤油、润滑脂和硅油。

美国专利 4，992，190 公开了一种对应于磁场的可流变材料。所公开的该材料组成是将可磁化颗粒和硅胶分散于液态载体中。可磁化的颗粒可以是粉末状磁铁矿或羰基铁粉末，其具有隔离的减小的羧基铁粉末，如由 GAF 公司制造的粉末是特别优选的。所述的液态载体在 100℉ 下具有粘度在 1 至 1000 厘泊范围内，适用载体的特别实例包括 Conoco LVT 油，煤油，轻石腊油，矿物油和硅油，最好的载体是硅油，它在 100℉ 下粘度在约 10 至 1000 厘泊范围内。

最好是，磁流变材料的连续成分或载流体能够表现出一些基本特性，这些特性包括：(a) 流体颗粒成分与装置材料二者是化学相容的；(b) 相对低的成体；(c) 低热膨胀；和 (d) 高密

度。磁流变材料还应该是一种对周围环境无危害的材料，并且更重要的是，它能够在一个宽扩的温度范围内一直起作用。

如上所述，惯用于磁流变材料中的许多载流体成分不能充分满足所有这些基本要求。例如，许多上述的磁流变材料象使用该材料的磁流变装置所显示的那样，在较宽的温度范围内会引起力的很大变化。因此，许多采用传统载流体制备的磁流变材料不能有效地用于自动和航空航天阻尼装置中，以及类似的需要在较宽变化温度内一直使用精确的控制力的装置中。

相对于操作温度变化的磁流变材料的性能特征对于许多磁流变装置商业上的成功是极为重要的，其中装置如离合器，制动器，阻尼器，振动吸收器和发动机部分。所有这些装置在其使用过程中本身经历了操作温度的变化。例如，自动和航空航天应用的技术规范通常需要装置处于或保持在约—40℃至150℃温度范围内仍可工作。

因此，需要这样的磁流变材料，其在较宽温度范围内仍可表现出特性上的有限变化。

本发明就是关于一种磁流变材料，它相对于温度的变化表现出显著的磁流变效应，而机械性能只有极小的变化。特别是，本发明包括一种载流体和一种颗粒成分，其中载流体在25℃至—40℃温度内每度温度（T）只具有小于或等于约9.0厘泊/℃的粘度（η）变化（$\Delta\eta/\Delta T$比）。

现在已经发现，可以使用在25至—40℃温度范围内具有$\Delta\eta/\Delta T$比值小于或等于约9.0厘泊/℃的载流体来制轩磁流变材料，该材料在较宽温度范围内具有不寻常的低机械特性变化。通常的载流体，如矿物油和石腊油，具有的$\Delta\eta/\Delta T$的比大于上述限定，因此，不适用于较宽的温度范围。聚硅氧烷和全氟聚

醚在25℃下具有的粘度在约3和200厘泊之间，它们可以用来制备极佳的磁流变材料，它们在较宽温度范围内具有非常低的机械性能变化。特别是，本发明的磁流变材料，在用于某一装置中时，如阻尼器，设备或离合器，与使用传统载流体制备磁流变材料的装置相比，在约－40°至150℃温度范围内，表现出极低的力输出变化。

图1表示线性磁流变阻尼器力的输出随温度的函数。对于该阻尼器使用本发明的低粘度磁流变材料在约1000奥斯特磁场下所获得的力的数据（例1），与该阻尼器使用高粘度对比磁流变材料在类似条件下所获得的数据（例2）进行了对比。

本发明的磁流变材料是由载流体和颗粒成分组成的，其中载流体在25℃至－40℃温度范围内，每度温度的粘度变化（$\Delta\eta/\Delta T$比值）小于或等于约9.0厘泊/℃，最好小于或等于约7.0厘泊/℃。

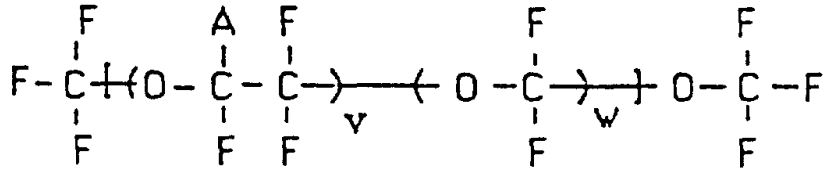
具有适当（$\Delta\eta/\Delta T$）比值的载流体的实例包括丙二醇、醋酸酐、异硫氰酸烯丙酯、乙酸苄酯、双（2—丁氧基乙基）醚、双（2—氯乙基）醚、双（2—乙氧基乙基）醚、双（2—乙基已基）邻苯二甲酸酯、双（2—巯乙基）硫化物、双（2—甲氧乙基）醚、1—溴庚烷、1—溴已烷、1—溴辛烷、1，3—丁二醇、2—（2—丁氧基乙氧基）乙醇、丁苯、丁基环已烷、N—丁二羟乙基胺、丁酸酐、1—氯—2—乙基苯、1—氯—4—乙基苯、1—氯庚烷、1—氯辛烷、3—氯丙腈、3—氯甲苯、环已酮、乙酸环已酯、环辛胺、癸甲基四硅氧烷、1—癸烯、1，2—二溴丁烷、1，2—二溴—1、1—二氯乙烷、1，2—二丁氧基乙烷、二丁二硫、丙二酸二丁酯、二丁硫、2—二乙氨基乙醇、1，4—二乙基苯、二乙基溴代丙二酸、二乙硫、二—（2—乙基已基）邻苯二

甲酸酯、二乙基丙二酸酯、2，4—二甲基吡啶、二丙二硫、2—(2—乙氧乙氧基）乙醇、2—乙氧基乙基乙酸酯、2—（乙胺基）乙醇、N—乙基苯胺、N—乙基二乙醇胺、2，2′—（亚乙二氧基）双乙醇、乙基庚酸酯、乙基已酸酯、2—乙基已酸、2—乙基—1—已醇、2—乙基已基乙酸酯、乙基辛酸酯、S—乙硫基乙醇、乙基甲苯、4—氟—1—甲氧基苯、三丁酸甘油酯、二十七氟三丁胺、庚醛、庚硫醇、六氟—2—苯基—2—丙醇、顺六氢（—1，2—二氢化茚、2，5—已二醇、已腈、1—已三醇、1—已醇、乙酸已酯、2—羧基乙肼、4—羧基—4—甲基—2—戊酮、3—羧基丙腈、茚、1—碘庚烷、1—碘戊烷、异丁基苯、异丙基苯、异丙基环已烷、异丙基—1—甲基苯、苎烯、3—甲氧基—1—丁醇、2—（2—甲氧基乙氧基）乙醇、甲基乙酰乙酸酯、N—甲基苯胺、甲基环戊二烯二聚物、甲基庚酸酯、甲基已酸酯，1—甲基咪唑、4—甲基戊腈、2—甲基戊酸、2—甲基丙酸、1—硝基丁烷、2—硝基乙醇、壬烷、壬酰氯化物、辛腈、1—辛硫醇、辛酰氯化物、1，5—戊二胺、乙酸戊酯、1—苯已烷、蒎烷、蒎烯、1，2，3—丙三醇三乙酸酯、顺丙烯基苯、丙酸酐、丙基环已烷、苯甲酸丙酯、角鲨烯、四乙锗、四乙基锡、四氢吡喃—2—甲醇、2，6，10，14—四甲基十五烷、三丁胺、三丁基硼酸酯、三丁基磷酸酯、1，3，5—三甲基苯、2，6，8—三甲基—4—壬酮、三甲基磷酸酯、1，2，4—三甲基哌嗪、三丙胺、1—十一碳烯、和其混合物、以及乙二醇和丙二醇与水的混合物，其中亚烷基二醇与水的比是在 60：40 至 95：5 之间。

本发明最佳的载流体是聚硅氧烷和全氟聚醚，它们在 25℃下的粘度是在约 3 和 200 厘泊之间，最好是在约 5 和 100 厘泊之间。

本发明的聚硅氧烷可以是任何硅氧烷均聚物或共聚物，它是由硅氧烷聚合物主链由羟基作为侧和端基所取代的材料组成。羟基可以是直链、支链或环状的，以及碳原子数在1至约8范围内的脂类或芳香类。另外，羟基可以象氟化聚硅氧烷情况一样包含H、N、O、S、Cl、Br或F官能团。通常市售的聚硅氧烷实例包括聚二甲基硅氧烷、聚甲基苯基硅氧烷、聚（甲基—3，3，3—三氟丙基）硅氧烷、聚氯苯甲基硅氧烷、二甲基（四氯苯基）硅氧烷共聚物、二甲基（苯甲基）硅氧烷共聚物、二甲基（二苯基）硅氧烷共聚物和甲基—3，3，3—三氟丙基（二甲基）硅氧烷共聚物、其中聚二甲基硅氧烷是最好的。

全氟聚醚可以是任何线性氟化聚合物，其包含的聚醚的主链是由碳和氧原子并带有CF_3或F官能团所组成的。本发明全氟聚醚对应于下列通式：



其中A可以是F或CF_3，并且v/w的比是在约30和50之间，最好是在约35和45之间。一般市售的全氟聚醚的实例包括GALDEN和FOMBLIN二种氟化液，其可以由Montediso美国股份有限公司得到。

本发明的聚硅氧烷类和全氟聚醚类可以通过本技术领域公知的方法制备，并且许多还可以通过上述市售的方式得到。如果需要的话，市售得到的聚硅氧烷和全氟聚醚的粘度可以通过硅氧烷和有机硅化合物制造领域的普通专业人员公知的技术来

降低。该技术包括在高温和减压下的热解聚，以及在有适当的端基封闭剂情况下的酸和碱二者的解聚，如六甲基二硅氧烷。

由于它们表现出一些低温与粘度的依赖性能，因而在本发明的使用中，聚硅氧烷要优于全氟聚醚，聚二甲基硅氧烷尤其优选。

本发明的载流体也可以是一种上述任何两种或多种载流体的混合物。

本发明的载流体通常可以占磁流变材料总体积的约 50 至 95%，最好约 60 至 85%数量范围来使用。当磁流变材料的载流体和颗粒分别具有约 0.95 和 7.86 的比重时，则对应于约 11 至 70%重量，最好约 15 至 41%重量范围。

本发明的载流体在 25℃至－40℃温度范围内，具有的（$\Delta\eta/\Delta T$ 比值）小于或等于约 9.0 厘泊/℃是必要的，因为已经发现，具有在该温度范围内的 $\Delta\eta/\Delta T$ 比值的载流体会对相应的磁流变材料稳定性给予意外的过高温度。特别是，本发明低粘度磁流变材料，比采用较高粘度的聚硅氧烷，较高粘度的全氟聚醚或通常载体成分，如石腊或矿物油，所制成的磁流变材料相比，可以在约－40 至 150℃温度范围内表现出非常小的机械特性变化。因此，使用本发明的磁流变材料的装置（即阻尼器，固定件，离合器等），与使用传统载体成分制备的磁流变材料的装置相比，在较宽温度范围内表现出极恒定的力的输出。

相对于本发明磁流变材料温度的变化而在机械特性上只有极小改变，这一点是十分有益的，它使得在许多场合下使装置的设计愈小愈有效。另外，本发明低粘度磁流变材料使设计人员在装置的最后几何尺寸或形状方面，以及在控制装置电力消耗的方式方面具有更大的余地。

本发明磁流变材料的颗粒成分实质上可以由表现出磁流变活动特性的任何公知固体所组成，用于本发明的典型颗粒成分可以由，例如顺磁、超顺磁或铁磁混合物所组成。可用于本发明的颗粒成分的特别实例包括由下列材料组成的颗粒，如铁、氧化铁、氮化铁、碳化铁、羰基铁、二氧化铬、低碳钢、硅钢、镍、钴、及其混合物。氧化铁包括所有公知的纯铁氧化物，如 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4，以及含有少量其它元素的氧化铁，如镁，锌或钛。氧化铁的特别实例包括铁氧体和磁铁矿。另外，颗粒成分可以由任何公知的铁合金所组成，如它们可以包含铝、硅、钴、镍、钒、钼、铬、钨、镁和/或铜。颗粒成分还可以由特定的铁—钴和铁—镍合金所组成，其描述在申请人 J. D. Carlson 和 K. D. Weiss 同时申请的题为“基于合金颗粒的磁流变材料”的美国专利申请中，并且它已转让给本受让人，其整个公开内容在此可以结合作参考。

颗粒成分一般是以金属粉末的形式，它是通过本技术领域普通专业人员公知的方法制备的，用以制备金属粉末的通常方法包括，金属氧化物的粉碎，研磨或磨碎，电解，金属羰基分解，迅速固化或熔化方法。市场上得到的各种金属粉末包括纯铁粉末，粉碎的铁粉末，绝缘的（insulated）粉碎铁粉末、和钴粉末。这里所用颗粒的直径是在约 0.1 至 500μm 范围内，最好是在约 1.0 至 50μm 范围内。

本发明优选的颗粒是纯铁粉末，粉碎铁粉末，氧化铁粉末/纯铁粉末混合物和氧化铁粉末/粉碎铁粉末混合物。氧化铁粉末/铁粉末混合物是有利的，其中可以相信，氧化铁粉末在与铁粉末混合情况下可以从铁粉末表面除去任何腐蚀性产物，由此增强了整个材料磁流变活性。氧化铁粉末/铁粉末混合物进一步

描述在申请人 K. D. Weiss, J. D. Carlson 和 D. A. Nixon 同时申请的题为“使用表面改善颗粒的磁流变材料”的美国专利申请中，并且它也转让给本受让人了，其整个公开内容在此可结合作参考。

颗粒成分通常根据整个材料所要求的磁活性和粘度而占总成分体积的约 5 至 50%，最好约 15 至 40%，当磁流变材料的载流体和颗粒分别具有约 0.95 和 7.86 的比重时，其对应于约 30 至 89%重量，最好约 59 至 85%重量。

在本发明中还可以选用用以分散颗粒成分的表面活性剂，该表面活性剂包括公知的表面活性剂或分散剂，如油酸亚铁和环烷酸亚铁、金属脂肪酸盐（如，三硬脂酸和二硬脂酸铝）、碱性脂肪酸盐（如，硬脂酸锂和钠）、磺酸盐、磷酸酯、硬酯酸、单油酸甘油酯、月桂酸酯、硬脂酸盐、脱水山梨糖醇倍半油酸酯、脂肪酸、脂肪醇、和其综表面活性剂，它们在美国专利号 3，047，507 中进行了讨论（在此可以结合作参考）。另外，可选择的表面活性剂可以由空间稳定的分子来组成，包括氟脂族聚酯类，如 FC—430（3M 公司），和钠酸酯，铝酸酯或锆酸酯偶联剂，如 KEN—REACT(Denrich 石油化学制品股份有限公司)偶联剂。可选择的表面活性剂还可以是憎水的金属氧化物粉末，如 AEROSIL R972，R974，EPR976，R805 和 R812（Degussa 公司）和 CABOSIL TS—530 和 TS—610（Cabot 公司）表面处理憎水发烟硅石。最后，用以扩散颗粒成分还可采用沉淀的硅胶，如在美国专利号 4，992，190 中所公开的内容（其在此可结合作参考）。为了减少磁流变材料中水分的存在，如果使用沉淀的硅胶分散剂，可以选择在约 110℃至 150℃温度下，在对流炉中进行约 3 小时至 24 小时时间周期的干燥。

如果使用表面活性剂，其最好是憎水发烟硅石，“干燥的”沉淀硅胶、磷酸酯、氟酯族聚酯、或偶联剂。可选择的表面活性剂可以使用的量相对于颗粒成分的重量为约 0.1 至 20%重量范围。

在本发明的磁流变材料中，可以通过形成触变网络而使颗粒凝结尽可能小。触变网络可定义为颗粒的悬浮物，即在低剪切速率下，其形成一种松散网络或结构，有时称作群集体或絮凝体。该三维结构的存在使磁流变材料的具有较小的刚度，由此可减小颗粒的凝固。然而，当通过轻度搅拌而提供剪切力时，该结构会很容易地被分裂或分散。当去掉剪切力时，该松散网络会在一定时间周期内重新形成。

通过氢键连触变剂和/或聚合改良的金属氧化物的使用而形成了一种触变网络或结构。还可以使用胶体添加剂以辅助触变网络的形成。在申请人 K. D. Weiss, D. A. Nixon, J. D. Carlsin 和 A. J. Margida 同时申请的题为“触变磁流变材料”的美国专利申请中进一步描述了使用氢键连触变剂，聚合物改良的金属氧化物和胶体添加剂的触变网络的形成，该申请也转让给了本受让人，其整个公开内容在此可结合作参考。

本发明的磁流变材料可以通过手拿刮刀或类似物（低剪切）而将各成份一起进行最初的混合，然后接着采用均化器，机械混合器或振动器，或采用适当研磨装置来分散，如球磨机，沙磨机，磨碎机，涂料碾盘，胶磨机或类似装置更完全地混合（高剪切）以制成更稳定的悬浮物来制成。

本发明的磁流变材料以及其它磁流变材料的机械性能和特性的测定可以通过使用平行板和/或同心圆筒库爱特流变仪来获得。提供该技术的基础理论已通过 S. Oka 在流变学，理论和

应用（volume 3，F. R. Eirich，ed.，科学出版社：纽约，1960）而完全描述了，其整个内容在此可结合作参考。通过流变仪所获得的信息包括关于机械剪切应力作为剪切应变速率的函数的数据。对于磁流变材料，为了确定动态屈服应力和粘度，剪切应力作为剪切应变速率的数据可以按照 Bingham 塑料来制作。在该型式的范围内，对应于线性回归曲线零值截距的磁流变材料运态屈服应力合乎所测数据。在特定磁场下的磁流变效应进一步地由在该磁场下的所测动态屈服应力与无磁场下所测动态屈服应力之间的差来限定。

同心圆筒形电池构造中，是将磁变流材料放置在半径 R_1 的内圆筒和半径 R_2 的外圆筒之间形成的环形间隙中，而在简单的平行板构造中是将材料放置在半径 R_3 的上下两平板之间形成的平面间隙中，在该技术中，是将板或圆筒的某一个以一定角速度 W 旋转，而另一板或圆筒保持不动，径向地对同心圆筒结构或轴向地对平行板结构通过流体填充间隙而对这些电池结构施加磁场。然后由提供的保持或阻止的角速度和转矩 T 来导出剪切应力与剪切应变率之间的关系。

或使用本发明的磁流变材料或使用其它磁流变材料的各种应用特殊装置的试验，如阻尼器，固定装置和离合器，这是测定这些材料机械性能的第二种方法。含磁流变材料的装置是按一定机械传动来简单放置的，并按特定的平移幅度和频度动作，对装置施加适当的磁场，并且通过按时间函数绘制的最后伸长/压缩波形来确定力的输出，用以试验阻尼器，固定器和离合器的方法对于振动控制领域的普通专业人员来说是公知的。

下列实例是用来解释说明发明的，但它不应构成对本发明范围的限制，在实施例中，所述所有粘度是在 25℃下测定的，并

且是以厘泊为单位的。

例 1

磁流变材料是通过将 1257.6g 纯羰基铁粉（MICROPOWDER—S—1640，其类似于老的 E1 铁粉标志，来自 GAF 化学制品公司），25.0g Mn/Zn 铁酸盐（#73302—0，D. M. Steward 制造公司），17.3g 硅氧烷低聚物改良的二氧化硅（CABOSIL TS—720，Cobot 公司）作为聚合物改良的金属氧化物，和磷酸酯分散剂（EMPHOS CS—141，Witco 化学公司），同 294.7g 的聚二甲基硅氧烷油（L—45，10 厘沲，联合碳化物化学制品和塑料股份有限公司）的总量加在一起来制备。聚二甲基硅氧烷的粘度，可通过同心圆筒流变仪来测定，其约为 16 厘泊。将磁流变材料采用研磨机经 16 小时时间制成一种均匀混合物。将材料储存在聚乙烯容器中直至使用。

比较例 2

按照例 1 所述步骤来制备磁流变材料，然而，在该例中，是用较高粘度硅油（PS042，500 厘沲，Huls 美国公司）来代替 16 厘泊的聚二甲基硅氧烷油，该硅油的粘度可通过同心圆筒流变仪来测定，其约 660 厘泊。将磁流变材料储存在聚乙烯容器中直到使用。

例 1 和 2 的机械特性

例 1 和 2 中制备的磁流变材料机械性能可以在－40 至 150℃温度范围内以线性磁流变阻尼器来测得，特别是，该阻尼器包含有大约 25ml 的磁流变材料，它们是通过活塞的运动而被迫流动的，通过对包含在活塞内的电磁线圈提供电流的产生磁场，并通过装置内的间隙来控制磁场，通过该间隙而使流体流动的间隙宽度约为 1.5mm。在试验过程中，阻尼器是在 1.0Hz

的频率下工作并伴以±0.5英寸的位移幅度，给装置提供适当的磁场，并通过按时间函数绘制的最后伸长/压缩波形来确定力的输出。

使用本发明低粘度磁流变材料的该线性阻尼器的力的输出（例1）在图1中与使用高粘度比较磁流变材料的该同样阻尼器的力的输出（例2）进行了比较，在该图中，在约1000奥斯特磁场下测得的力的数据是为温度的函数而绘制的。可以看到，使用本发明磁流变材料的阻尼器在－40至150℃温度范围内可提供相对恒定（小于约15%变化）的力的输出，而当使用例2的比较磁流变材料时，该同样阻尼器在该温度范围内将会出现大于约70%变化的力的输出。

氧化聚硅氧烷的粘度降低

将500ml的聚（甲基—3，3，3—三氟丙基）硅氧烷（PS181，300厘沲，Huls美国公司），108g的浓硫酸（Aldrich化学制品有限公司）和51.0g的六甲基二硅氧烷（99.95%，Aldrich化学制品有限公司）加入到配备有磁搅拌棒的反应烧瓶中，然后，给反应烧瓶配备一个干燥管，反应混合物在室温下经5天的搅拌，将总共100ml的蒸馏去离子水加到反应混合物中，经过两个小时的搅拌以后，去掉有机层，并用100ml的蒸馏去离子水分三次冲洗，用40ml的10%的碳酸氢钠溶液冲洗四次，并用100ml的蒸馏去离子水冲洗七次。在60℃减压下去掉任何多余的六甲基二硅氧烷。通过红外分光器和^{13}C核磁共振分光器表征出保留有聚（甲基—3，3，3—三氟丙基）硅氧烷，并使用同心圆筒流变仪测量粘度，其约为83厘泊（66厘沲），将该低粘度氟化聚硅氧烷储存在聚乙烯瓶中直到使用。

例3—5

通过将总共 117.9g 的羰基铁粉（MICROPOWDER—S—1640，GAF 化学制品有限公司）加入按表 1 特定的相应载流体中来制备磁流变材料，通过低剪切和高剪切分散技术的结合使用，将磁流变材料制成一种均匀混合物，特别是，最初是用手将颗粒与载流体加以混合，然后使用配有 16 齿的旋转头的高速分散器来更彻底地分散。在每种磁流变材料中所含铁颗粒的重量相当于 0.30 体积比。将磁流变材料储存在聚偏氟烯容器中。

表　1

例 #	油重(g)	载流体的说明
3	44.80	按上述方法制备 83 厘泊，降低了粘度的聚(甲基—3,3,3—三氟丙基硅氧烷)
4	35.00	50 厘泊，(88—92%)—二甲基/(8—12%)—苯甲基—硅氧烷(PS061,50 厘泊，Huls 美国公司)
5	64.40	27 厘泊，全氟聚醚(GALDEN D—10,12 厘泊，Montedison 美国公司)

例 3—5 的机械特性。

例 3—5 中制备的磁流变材料的机械特性可以通过平行板流变仪的使用来测得，可以看到，所有磁流变材料在 25℃下和 2000 和 3000 奥斯特的磁场下表现出有效的动力屈服应力。这些屈服应力值在下面的表 2 中示出了，它是定义为符合由流变使所获得的剪切应力作为应变率函数的数据的线性回归曲线的 Y 截距。

表　2

例	磁场(奥斯特)	屈服应力(KPa)
3	2000	40.17
3	3000	51.11
4	2000	31.37
4	3000	48.15
5	2000	42.54
5	3000	52.32

如上述实例所看到的，本发明磁流变材料表现出明显的电流变活性，并且在－40至150℃温度范围内表现出稳定的性能，鉴于在类似不同温度条件下传统磁流变材料性能有较大变化，因而在上述不同温度下本发明材料取得一致的性能是意想不到的。

可以理解，前述是本发明最佳实施例的描述，本发明范围不限于上述的特定术语和条件，而其是通过后续权利要求来确定的。

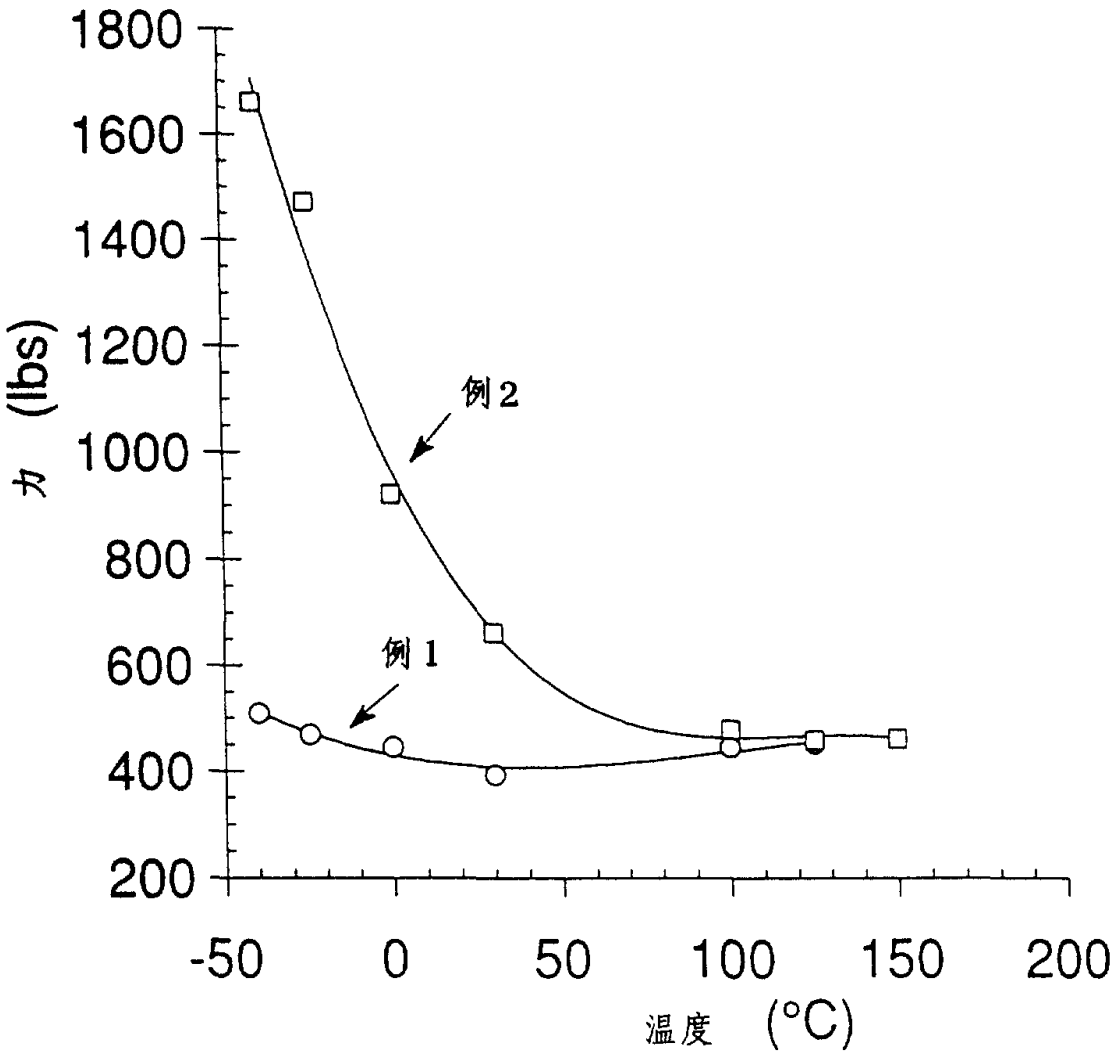

1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
力 (lbs)
例2
例1
-50
0
50
100
150
200
温度 (°C)

图 1