[19]中华人民共和国专利局

[11] 公开号 CN 1088021A

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 93120749.5

[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]07/969,687

[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 D·A·尼克松

J·D·卡尔森

[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 陈季壮

说明书页数: 附图页数:

[54]发明名称 使用表面改良粒子的磁流变材料

[57]摘要

本发明涉及一种包含载液及磁活性粒子的磁流变材料。这些粒子被改良，以致粒子的表面实质上没有杂质产物。从粒子表面去除杂质产物是利用研磨处理、化学处理或它们的组合来达到的。使用除去杂质产物的粒子制备的磁流变材料呈现出显著提高的磁流变力。

权利要求书

1．一种磁流变材料，包括一种载液及一种磁活性粒子，其中粒子已被改良得使其粒子的表面基本上没有杂质产物。

2．根据权利要求1的磁流变材料，其中从粒子表面移去杂质产物是通过研磨处理，化学处理，或它们的结合。

3．根据权利要求2的磁流变材料，其中研磨处理涉及利用在高速下由研磨介质冲击粒子表面的杂质产物物理去除。

4．根据权利要求3的磁流变材料，其中研磨介质是一种研磨添加剂。

5．根据权利要求4的磁流变材料，其中的研磨添加剂是从下列物质的氧化物组中选出的：铝，铁．铬，锆，铪，钛，硅及锰；及从铝，硅及硼的碳化物，氮化物及硼化物中选出或是上述的组合。

6．根据权利要求4的磁流变材料．其中研磨添加剂是从下列物质组成的组中选出的：金刚石粉末．金刚砂，刚玉，矾土，黑矿渣，Cr_2O_3，HfO_2，TiO_2，MgO，玻璃，砂，硅石，硅化铝，浮石，红铁粉，刚石粉，长石，SiC，B_4C，BN，Si_3N_4，AIN，氧化铈，自然铁，磁铁石及烧结矾土。

7．根据权利要求6的磁流变材料，其中研磨添加剂是疏水性硅石，自然铁或矾土。

8．根据权利要求4的磁流变材料，其中高速度是利用将磁活性粒子，载液组合并用括刀或类似物彻底地混合，及然后用均质器，机

械混合器，机械振动器，或合适的碾磨装置例如球磨，砂磨，碾磨机，胶磨，漆磨，砾石磨、喷射磨，振动磨，滚磨、小质体水平磨或类似物作更彻底的混合得到的。

9．根据权利要求3的磁流变材料，其中研磨介质是一种磨削介质。

10．根据权利要求9的磁流变材料，其中磨削介质包括：各种材料的小球，小珠，小颗粒，小砾粒，粗砂粒或细粒，这些材料包括不锈钢，陶瓷，瓷，火石，高碳钢，高锰钢，铸镍合金，低碳钙钢，硬质钨，玻璃，硅化锆，氧化锆及氧化铝。

11．根据权利要求9的磁流变材料，其中的速度是用下述组中选出的一种碾磨装置获得的：砂磨，球磨，碾磨机、喷射磨，振动磨及水平小质体磨。

12．根据权利要求9的磁流变材料，其中磨削介质为轮状，盘状或片状，并且速度是用滚磨产生的。

13．根据权利要求2的磁流变材料，其中化学处理是利用酸洗，碱洗，电解清洗，超声波清洗或它们的组合进行的。

14．根据权利要求2的磁流变材料，其中化学处理是在制备磁流变材料或对粒子施加保护层以前进行的，及其中的化学处理是从下述组中选择出的：酸洗，碱洗，电解质清洗，超声波清洗，金属还原，等离子清洗，离子腐蚀，溅洗及它们的组合。

15．根据权利要求2的磁流变材料，其中除去杂质产物是在粒子表面施加保护层的紧前面进行的。

16．根据权利要求15的磁流变材料，其中保护层是从非磁金属，陶瓷，高性能热塑塑料，热固性聚合物及它们的组合中选得的。

17．根据权利要求16的磁流变材料，其中保护层是采用物理沉积或用化学蒸积施加的。

18．根据权利要求1的磁流变材料，其中粒子包括顺磁，超顺磁或铁磁的化合物。

19．根据权利要求18的磁流变材料，其中粒子包括从以下组中选择的材料：铁，铁合金，氮化铁，碳化铁，羰基铁，二氧化铬，低碳钢，硅钢，镍，钴及它们的混合物。

20．根据权利要求1的磁流变材料，其中粒子是从以下组中选择的金属粉末：纯铁粉，还原铁粉，隔离还原铁粉及钴粉。

21．根据权利要求1的磁流变材料，其中粒子是一种纯铁粉，一种还原铁粉，一种铁钴合金粉末或一种铁镍合金粉末。

22．根据权利要求1的磁流变材料，其中载液是从以下组中选出的：矿物油，硅油，硅的共聚物白油，石蜡油，液油，氯化烃类转换油，卤化芳香族液体，卤化石蜡，二元酸酯，聚氧烷撑，过氟化聚醚，氟化烃类，氟化硅，受阻酯化合物，氰烷基硅氧烷均聚物，具有的导电率小于约$1\times10^{-7}s/m$的改良载液，聚硅氧烷及它们的混合物。

23．根据权利要求22的磁流变材料，其中载液是从以下组中选出的：矿物油，石蜡油，硅油，硅的共聚物及过氟化聚醚。

24．根据权利要求23的磁流变材料，其中载液是一种硅油或一种矿物油。

25．根据权利要求1的磁流变材料，其中粒子的沉积利用形成一种触变网使之减至最小。

26．根据权利要求25的磁流变材料，其中触变网的形成是利

用加入一种含有羟基，羰基或胺官能度的小分子重量的氢结合分子作辅助的。

27．根据权利要求26的磁流变材料，其中小分子重量的氢结合分子是从以下组中选出的：水，甲基，乙基，丙基，异丙基，丁基及己基醇；乙二醇，二甘醇，丙二醇，甘油，脂族，芳香族及杂环的胺，包括分子中具有1－16个碳原子的一，二及三氨基醇及氨基酯；甲基，丁基，辛基，十二烷基，十六烷基，二乙基，二异丙基及二丁基胺；乙醇胺；丙醇胺；乙氧基乙胺；二辛基胺；三乙基胺；三甲基胺；三丁基胺；乙撑二胺；丙撑二胺；三乙醇胺；三乙撑四胺；吡啶；吗啉；咪唑及它们的组合。

28．根据权利要求1的磁流变材料，还包括一种表面活化剂。

29．根据权利要求28的磁流变材料，其中表面活化剂是从以下的组中选出的：油酸及环烷酸亚，磺酸盐，磷酸盐酯，甘油单油酸，索氏倍半油酸，硬脂酸盐，月桂酸盐，脂酸，脂醇，硬脂酸锂，硬脂酸钠，三硬脂酸铝，脱溶硅胶，二硬脂酸铝，氟脂族聚合酯及钛酸盐，铝酸盐及锆酸盐偶联剂。

30．根据权利要求29的磁流变材料，其中表面活化剂是一种脱溶硅胶，一种氟脂族聚合酯，一种磷酸盐酯，或一种偶联剂。

31．根据权利要求30的磁流变材料，其中脱溶硅胶被置于对流炉中在从约110℃至150℃的温度下干燥约3至约24小时。

32．根据权利要求1的磁流变材料，其中被加入的粒子量为约5至50全部磁流变材料的体积百分比，而被加入的载液的量为约40至95全部磁流变材料的体积百分比。

33．根据权利要求32的磁流变材料。其中被加入的粒子量为

约15至40全部磁流变材料的体积百分比，而被加入的载液的量为约60至85的全部磁流变材料的体积百分比。

说　明　书

使用表面改良粒子的磁流变材料

本发明涉及某些液体材料，当其暴露于磁场中时呈现出流动阻力的实质性增加。特别是本发明涉及使用表面改良粒子成份用以增强屈服强度的磁流变材料。

在存在磁场时经受表面粘度变化的液体混合物通常称为宾汉（Bingham）磁液体或磁流变材料。磁流变材料通常是由分散在一种液体载体中的铁磁或顺磁粒子组成，这些粒子典型地其直径大于0．1微米，在存在磁场的情况下，这些粒子形成极化，由此在液体中构成粒子链。这些粒子链起到增加整个材料表面粘度或流动阻力的作用，而在没有磁场的情况时，粒子恢复到未组链或自由状态，并且整个材料的表面粘度或流动阻力也相应地降低了。这些宾汉磁液体混合物表现出与对电流变材料通常观察到的相似的可控制性能，而电流变材料是对电场起反应而非对磁场起反应。

电流变及磁流变材料两者均可用在一些装置如阻压器，减振器及弹性机构中提供可变化的阻压力，并可用在各种离合，制动及阀装置中用于控制力矩及／或压力值。在这些应用中磁流变材料固有地比电流变材料带来更多的优越性。磁流变液体比电流变液体呈现较高的屈服强度，并由此产生出较大的阻尼力。此外，与使电流变材料有效工作所需的昂贵高压电源相比，磁流变材料可由简单的低压电磁线圈方

便地产生磁场所激励。对能有效使用磁流变材料的装置类型的专门的描述记载在未定案的美国专利申请系列文献07/900571及07/900567中，其名称分别为“磁流变液体阻尼器”及“磁流变液体装置”，申请日均为1992年6月18日，它们的全部内容结合在此作为参考。

磁流变或宾汉磁液体可与胶态磁液体或铁液体相区分。在胶态磁液体中的粒子，其直径典型为5至10毫微米。在施加磁场时，胶态铁液体不呈现粒子结构或增加流动阻力。而是使胶态磁液体经受正比于磁场梯度的作用于整个材料的体积力。这个力使整个胶态铁液体被吸引到高磁场强度的区域上。

磁流变液体及相应的装置已在一些专利和出版物中作过讨论。例如在美国专利US 2575360中提供了对一种可机电控制的力矩施加装置的说明，该装置使用一种磁流变材料在两个独立转动部件之间提供驱动连接，这些独立转动部件例如为离合器及制动器中所使用的部件。能满足于这种应用的液体混合物据述为散布在合适液体媒介如一种轻润滑油中的通常称为“羰基铁粉”的软铁粉末以50%的体积组成的。

另一种利用磁或电场可控制运动部件之间滑动的装置公开在美国专利US 2661 8-25中。在这些可运动部件中间的空间中填有一种场反应介质。磁场或电场通量的增长通过该介质产生了对结果滑动量的控制。所述的对施加磁场起反应的液体包括羰基铁粉及轻重量的矿物油。

美国专利US 2886151中描述了力传递装置例如离合器及制动器，它们中使用了对电场或磁场起反应的一种液膜耦合。所公

开的对磁场起反应的一个例子包括还原的氧化铁粉及在25℃时具有2至20厘泊粘度的一种润滑级油。

使用来控制磁流变液体流动的阀结构描述在美国专利US 2670749及US 3010471中。用于该公开的阀结构中的磁液体包括铁磁、顺磁及逆磁材料。在US 3010471中所规定的一种专门磁液体混合物由在一种羟重量碳氢化合物油中的羰基铁悬浮物组成。所述在US 2670749中使用的磁液体混合物由分散在或是硅油或是氯化物或氟化物悬浮液中的羰基铁粉组成。

在US 2667237中公开了多种磁流变材料的混合物。该混合物被确定为在一种液体，冷却剂，阻氧化剂气体或半固态润滑脂中分散的小顺磁或铁磁粒子。对于磁流变材料的一种优选混合物是由铁粉和轻机械油组成的。所陈述的一种特别优选的磁粉为具有8微米平均粒子尺寸的羰基铁粉。另外可能用的载体成分包括煤油，润滑脂及硅油。

美国专利US 4992190中公开了一种对磁场起反应的流变材料。该所公开的混合物材料为在一种液体载体中分布的可磁化粒子及硅胶。该可磁化粒子可为粉状磁铁矿或具有被隔离还原羰基铁粉的羰基铁粉，例如由GAF公司生产的铁粉特别适用。所描述的液体载体在100 °F时具有的粘度其范围为1至1000厘泊。合适载媒的专门例子包括 Conoco LVT油，煤油，轻石腊油，矿物油及硅油。一种优选的载媒为在100 °F时粘度范围为10至1000厘泊的硅油。

在许多需要磁流变材料的应用中，如用于小汽车及载重车的阻尼器或制动器，要求磁流变材料呈现高的屈服强度，以使其能耐受在此

类应用中所经受的强力。已经证实利用在磁流变材料中传统使用的各种铁粒子中选择所获得的已知磁流变材料的屈服强度仅能有微小的增加。为了增加一种已知磁流变材料的屈服强度，通常是必须增加磁流变粒子的体积比或是增加所施加磁场的强度。这种技术没有一种是理想的，因为粒子成份的高体积比可能对磁流变装置添加可观的重量，及增加材料的整体非工态粘度，由此限制了能使用该材料的磁流变装置的尺寸及几何形状，而高的磁场会明显增加磁流变装置的功率需求。

因此需要一种磁流变粒子成份，它能增强磁流变材料的屈服强度，而无需增加粒子体积比或增加磁场。

本发明是一种包括载液及磁活性粒子的磁流变材料，其中的粒子已经改良，以致粒子的表面实质上无污染产物，如腐蚀产物。在磁活性粒子表面的腐蚀产物的形成是由粒子表面与水和环境气体以及电解液和粒子或杂质的化学及电化学反应产生的，这些电解液和粒子或杂质是存在于周围环境中的，或是在粒子制备或处理时作为剩余物遗留下来的。腐蚀产物可能与金属表面密切与坚固的粘接，也可能与金属表面松驰的粘连，并且可能呈现粉末，薄膜，片层或锈皮的形式。最普遍的腐蚀产物类型包括各种形式的金属氧化物层，它们有时被称为铁锈，锈皮或轧制铁鳞。

最近已经发现，利用去除磁活性粒子表面的杂质，可以显著地提高磁流变材料呈现的屈服强度。通过研磨工序，化学处理或这两者的结合可以有效地除掉杂质产物。为了有效地进行处理，这些技术必须在磁流变材料制备时（在现场），或是在磁流变材料制备或施加保护层之前使用。研磨工序涉及在高速下利用研磨介质冲击磁活性粒子的表面对杂质产物的物理或机械的去除。研磨介质可以是一种对磁流变

材料的研磨添加剂或是作辅助处理的研磨介质。

在磁流变材料制备时用于除去杂质产物的化学处理方法或技术包括：酸蚀、清洗或酸浸；碱洗：电解清洗；超声波清洗及这些的组合。在制备磁流变材料前的可用来除去杂质产物的附加化学处理方法包括金属还原或反应气体处理，等离子清洗，离子腐蚀，溅洗及他们的组合。

能有效保护粒子表面的阻挡涂层，其类型包括非磁性金属，陶瓷，高性能热塑性塑料，热固性聚合物及它们的组合。为了保护粒子表面使其免于被杂质产物再污染，必须作到使这个涂层或层实质上封闭或密封住粒子。

图 1 是根据本发明的例 1 2 及对比例 1 3 制备的磁流变材料作为磁场强度函数的 2 5 ℃下的磁变流效应图。

本发明涉及包括载液及粒子成分的一种磁流变材料，其中粒子成分已被改良变质，以致粒子成分的表面基本上没有杂质产物。

这些杂质产物实质上可能是出现在粒子表面的任何外来材料，并且杂质产物通常为腐蚀产物。如上所述，磁活性粒子表面腐蚀产物的形成是由粒子表面与水和环境气体以及电解液和粒子或杂质的化学及电化学反应产生的，这些电解液和粒子或杂质是存在于周围环境中的，或是在粒子制备或处理作为剩余物遗留下来的。涉及表面腐蚀过程的环境气体的例子包括：O_2，SO_2，H_2S，NH_3，NO_2，NO，CS_2，CH_3SCH_3 及 COS。虽然一种金属可以阻挡这些周围气体中一种或多种的侵蚀，但是金属表面通常与这些气体中的多种起反应。由公知粉末处理技术及方法形成的污染金属粒子表面的化学元素例子包括碳，硫，氧，磷，硅及锰。涉及在各种金属表面形

成腐蚀产物的环境粒子或杂质的例子包括灰尘，水或湿气，污物，碳及碳化合物或碳黑，金属氧化物，（NH_4）SO_4，各种盐（如Nacl等）及腐蚀性酸，如盐酸，硫酸，硝酸及铬酸。通常金属腐蚀发生在存在多种这些环境气体及杂质组合的情况中。在金属表面存在的固态粒子，例如灰尘，污物或碳黑会增加腐蚀速率，因为它们具有保留腐蚀反应物如湿气，盐及酸的能力。关于铁和其它金属环境腐蚀更详细的讨论由H.Uhlig 及 R.Revie 所著的“腐蚀及腐蚀控制”（John Wiley & Sons 出版社，纽约，1985年）中所记载，该文的全部内容结合于此作为参考。

暴露在环境中的金属表面的固有腐蚀通常持续到腐蚀产物完全包围或封闭粒子时或到整个的粒子块完全与杂质起了反应时为止。腐蚀产物可能紧密与坚固地粘接在金属表面，或者松驰地粘接在作为粉末、薄膜、片层或锈皮的金属表面。最普遍的腐蚀产物类型包括各种形式的金属氧化物层，它们有时被称为铁锈、锈皮或轧制铁鳞。

本发明基于这个发现的基础上：从可磁化粒子表面去除杂质产物可使粒子在产生可呈现高屈服强度的磁流变材料时特别的有效。从金属粒子表面有效地除去杂质产物可以通过研磨工艺，化学处理或它们的组合。为子有效地处理，这些技术必须在磁流变材料制备时（在现场），或是在磁流变材料制备或施加粒子挡层或涂层的紧前面使用。

研磨工序涉及在高速下利用研磨介质冲击磁活性粒子表面对杂质产物的物理或机械的去除。这种研磨介质可以是一种对磁流变材料的研磨添加剂或是作辅助处理的研磨介质。

本发明的研磨添加剂必须是能够有效地研磨磁流变粒子，使得从粒子表面实质上除去杂质产物的一种材料。因此该研磨添加剂必须具

有实质性的硬度或韧度，以便能有效地研磨磁流变粒子的表面。能够从金属表面除去杂质产物的各种类型研磨材料是研磨技术或精磨技术领域的技术人员所熟悉的，它们均可使用在本发明中作为研磨添加剂。本发明的研磨添加剂通常是粉末形式的，并可由多种材料组成，例如铝的、铬的、锆的、铪的、钛的、硅的及锰的氧化物；及铝、硅、及硼的碳化物、氮化物及硼化物：及陶瓷如WC－Co及Ni－Cr－Al_2O_3及他们的组合。研磨添加剂的专门例子包括：金刚石粉末，金刚砂，刚玉，矾土，黑矿渣，Cr_2O_3，HfO_2，TiO_2，MgO，玻璃，砂，硅石，硅化铝，浮石，红铁粉，刚石粉，长石，SiC，B_4C，BN，Si_3N_4，AIN，氧化铈，及烧结矾土，以及另外耐熔的或陶瓷的研磨剂。

作为用于本发明目的的研磨添加剂，氧化铁被证实是有效的。尤其是发现了，相对硬的氧化铁可以与相对软的铁粉组合使用以使得用氧化铁移去铁粉表面的杂质产物。必须指出，虽然氧化铁在整个磁流变材料中使用相当小的量，但它能被磁化，并可作为与铁相组合的附加的磁流变粒子。氧化铁包括已知的纯氧化铁，例如Fe_2O_3及Fe_3O_4，及那些包含少量另外元素例如锰、锌或钡的氧化铁。氧化铁的专门例子包括铁氧体及磁铁石，最好是磁铁石。

作为本发明中研磨添加剂使用的硅石必须是疏水性的。换言之，硅石的表面必须被处理得含有最少量的羟基功能，并且硅石必须是相对不吸湿气的。重要的是硅石的表面被化学地处理成疏水性的，因为已经证实了传统干燥的其它疏水性硅石（即硅胶，如ＰＰＧ工业公司以商品名ＨＩ－ＳＩＬ　２３３出售的硅胶）不足以提供用于本发明的硅石疏水性。虽然未完全弄清楚原因，但相信过量的吸收湿气和／或羰基功能阻止了这种疏水性硅石足够地研磨粒子成分的表面。

本发明的疏水性硅石可以将硅石表面的羟基族与各种有机功能的单体硅烷或与硅烷链接的剂物，如该领域中公知的羟基硅烷，酰氧基硅烷（acyloxysilanes），环氧硅烷，肟硅烷（oximesilanes），烷氧基硅烷，氯硅烷，及氨基硅烷起反应来制备。硅石表面的羟基族也可与聚合化合物如硅油，矿物油及石腊油。为获取硅石疏水性用各种材料，关于对硅石表面的处理被W.Noll描述在“硅化学及工艺”中。Academic 出版公司，纽约，１９６８年；及由E.P.Plueddemann 描述在“硅烷链接剂”中，Plenum 出版社，纽约，１９８２年，它们中的全部内容结合于此作为参考。疏水性硅石的专门例子包括分别由Degussa 公司及Cabot 公司以商品名 AEROSIL 和 CABOSIL 销售的那些产品。

本发明的优选研磨添加剂包括疏水性硅石，氧化铁，及矾土，这是因为他们的有助于形成一种触变网组织的潜力，这在下文中将描述。特别优选的是氧化铁，这是由于它们的磁流变活性及相当大的比重。

这里所用的研磨添加剂，其直径可在约０．００１至５０，０um的范围中，优选范围为约０．００１至２０．０μm，特别优选范围则为０．００１至５．０μm。这些研磨添加剂普遍使用的量值范围为整个磁流变材料体积的约有百分之０．０５至约１０．０，优选为约百分之０．１至约５．０，特别优选为约百分之０．２至３．０。

为了有效地处理，研磨添加剂必须以足够高的动能冲击磁流变粒子的表面，以便高效地移去粒子表面的杂质产物。这可以在制备磁流变材料（在现场）时，在制备磁流变材料的紧前面或施加给粒子保护层的紧前面进行。如果在制备磁流变材料时进行，则研磨添加剂与磁流变粒子成分，载液及任何可选择的配料相混合，所生成的混合物成

分起初用手持刮刀或类似物混合，然后用均质器，机械混合器，机械振动器，或合适的碾磨装置，例如球磨，砂磨，碾磨机胶磨，漆磨，砾石磨，喷射磨，振动磨，滚磨，小质体水平磨或类似物（所有这些后文中统称“混合装置”）更细致地混合。

确定对移去磁流变粒子上的杂质产物所能获得的动能幅值，应是研磨添加剂质量及在混合或散布过程中由该添加剂所获得的速度。该研磨添加剂的速度取决于磁流变材料的粘度及混合装置工作时的速度。对于在25℃时具有的粘度小于约1000厘泊的典型磁流变材料，当混合装置工作的最小峰值速度约为50ft／min时，可以使该研磨添加剂获得能有效移去磁流变粒子上杂质产物的足够速度。该成分组合必须被混合在一起或扩散一段足够的时间，以便实质上从磁流变粒子的表面除去杂质产物，研磨添加剂速度的增加，往往将引起所需混合或扩散时间的减少。一般地，这些成分组合必须混合的一段时间，通常在约1分钟至24小时的范围内，优选范围为约5分钟至18小时。需要作一定次数的试验来确定有效地从特定磁流变粒子上除去杂质产物的最佳参数。

对从磁流变粒子表面除去杂质产物的确认，可以使用对于从事分析化学及表面分析领域的技术人员所公知的各种材料特性技术来取得。用于定量／定性地检测原子和／或分子类的几种公知技术的例子包括：中子激活分析：扫描离子质量频谱（SIMS）；X射线法，例如X射线粒子绕射，X射线荧光分光仪（XRF），X射线光电分光仪（XPS）及用于化学分析的电子分光仪（ESCA）；及显微镜法，例如隧道扫描显微镜（STM），电子扫描显微镜（SEM），螺旋扫描显微镜分析（SAM）及电子取样显微分析（EPMA）。粒子

样品的显微镜法通常用该领域技术人员公知的超微切片工艺来进行。

如果从磁流变粒子表面除去杂质产物在制备磁流变材料的紧前面或在施加保护层的紧前面进行时，遵照上述的混合步骤，只是仅使用磁流变粒子及研磨添加剂这点除外。在混合步骤以后，研磨添加剂可以直接和制备磁流变材料的其它成分相组合，或直接地涂上适合的涂层以阻止腐蚀产物的再生成。所谓“直接地”，通常是指在完成混合步骤后研磨粒子与其他的磁流变材料成分的组合或涂上保护层是在不大于约60分钟的时间内完成的，优选时间在不大于约30分钟时间内；对于粒子在无杂质环境中存放一段较长的时间的情况除外。

从粒子成分上除去杂质产物也可通过使用作为辅助处理的各种研磨介质的研磨处理来进行。这种研磨处理的形式也可分为在制备磁流变材料时，或在制备磁流变材料的紧前面或在施加粒子保护层的紧前面进行。研磨介质的类型及施行研磨步骤所需的相应设备的性能被认为是与能够减小或改变粒子成分直径或尺寸的那些介质与设备相同的。合适介质及设备的具体类型是制造油漆与涂层领域的技术人员所公知的。不使用碾磨型处理的装置为均质器，机械混合器及振动器，因而不能减小粒子尺寸，故不适合用于本发明从磁流变粒子表面去除杂质产物，除非有一种为前述的研磨添加剂与该装置结合使用才行。

通常适合用于辅助处理的研磨介质的例子，包括各种材料的小球，小珠，小颗粒，小砾粒，粗砂粒或细粒，这些材料包括不锈钢，陶瓷，瓷，火石，高碳钢，高锰钢，铸镍合金，低碳锈钢，硬质钨，玻璃，硅化锆，氧化锆及氧化铝。使用这些类型研磨介质的普遍介质碾磨装置或碾磨机的例子包括砂磨，球磨，碾磨机，砾石磨，细粒磨，振动磨及水平小质体磨。此外，研磨介质可能是轮状，盘状或片状，如通

常在滚磨中所使用的那些。对研磨介质更完整的描述记载在G.Tank及T.Patten 所著的“工业油漆磨光技术工艺”（Ellis Horwood 有限公司，英国West Sussex 郡，１９９１年）及“漆流及颜料扩散”（第二版，纽约John Wiley & Sons 出版社，１９７９年）中，它们的全部内容结合于此作为参考。

与上述对于研磨添加剂的情况一样，研磨介质必须以足够高的动能冲击磁流变粒子的表面，以使得有效地从粒子表面除去杂质产物。确定对从磁流变粒子上移去杂质产物所能获得的动能幅值，应是研磨介质的质量及在碾磨处理时由该介质所获得的速度。该研磨介质的速度取决于磁流变材料的粘度及碾磨装置工作时的速度。对于在２５℃时具有的粘度小于约１０００厘泊的典型磁流变材料，当碾磨装置工作时的最小峰值速度约为３００ft／min时，可以使该研磨介质获得能有效移去磁流变粒子上杂质产物的足够速度。这些成分必须被混合在一起或扩散一段足够的时间，以便基本上从磁流变粒子的表面除去杂质产物。研磨介质速度的增加往往会引起所需碾磨时间的减少。一般地，这此成分必须混合的一段时间通常范围在约１小时至４８小时，优选范围为约２小时至２４小时。需要作一定次数的试验来确定有效地从特定的磁流变粒子上除去杂质产物的最佳参数。

必须指出，研磨添加剂可与研磨介质联合使用，在此情况下，相应的碾磨装置的效率将会提高，结果使从磁流变粒子表面去除杂质产物所需的时间及碾磨装置的速度均下降。

从磁流变粒子表面去除杂质产物也可通过化学处理来完成。该化学处理可以在制备磁流变材料时（在现场），在制备磁流变材料的紧前面或在施加给粒子保护层的紧前面进行。在制备磁流变材料时可用

于除去杂质产物的化学处理方法或技术包括：酸洗，碱洗，电解清洗，超声波清洗及他们的组合，例如用于电镀工业中的电解清洗与碱洗相结合。用于本发明的碱洗剂例子包括：碱金属正磷酸盐，浓缩磷酸盐，氢氧化物，碳酸盐，重碳酸盐，硅酸盐及硼酸盐。碱清洗剂通常与该领域公知的一种表面活化剂联合使用。

使用在本发明中通常的酸洗剂的例子包括：有机酸，例如柠檬酸，酒石酸，醋酸，草酸及葡萄酸：酸盐，例如磷酸钠，过硫酸铵，硫酸铵，及二氧化合物盐；和无机酸，例如硫酸，磷酸及盐酸。

在制备磁流变材料时的酸洗及碱洗可以这样进行：将酸或碱洗剂加入到制备磁流变材料所使用的成分中，然后用手持括刀或类似物彻底混合这些成分，并接着用机械混合装置混合这些成分。这些酸或碱洗剂通常使用的量范围为粒子成分重量比的百分之０．１至５．０，优选范围为百分之０．５至３．０。

在制备磁流变材料时用的电解清洗或电清洗通常是对该材料施加电流，以便在粒子表面产生活泼的气体，并促使杂质的释放。电清洗剂在性质上可分为阴极的或阳极的。如前所述，该技术一般与酸或碱洗相结合使用。

在制备磁流变材料时的超声波清洗一般是将高频声波穿过材料进行的。这些超声波产生穿过载质成分的微小气泡，它们活跃地清洗粒子的表面。如前所述，该技术常常与酸或碱洗相结合使用。

在制备磁流变材料或施加保护层紧前面进行的化学处理方法包括上述在现场处理的技术，及金属还原法；等离子清洗；离子腐蚀；溅洗及它们的组合。金属还原通常涉及通过与一种气体分子如氢在升高的温度下的反应使金属粒子表面还原。由于他们能提供非常清洁的表

面及可控制杂质的去除，因此在制备磁流变材料或施加保护层紧前面从粒子表面去除杂质产物的优选方法为金属还原法及等离子清洗。

上述化学处理技术的详细描述记载在B.Bhushan 及B.Gupta 著的“磨擦学手册”中，它由纽约，McGraw-Hill 公司１９９１年出版（以下将该书称为Bhushan），该书的全部内容结合于此作为参考。

为上所述，在利用研磨工艺，化学处理或它们的组合去除粒子表面的杂质产物的紧后面，可将一种保护层施加在粒子表面。为了有效地保护粒子表面以免粒子受到杂质产物的再污染，必须基本上将保护层最好完全封闭或密封粒子。实质地封闭粒子的保护层应与隔离层区别开来，例如现在发现的基于羰基铁粉末的那些隔离层，如由ＧＡＰ公司以牌号“ＧＱ－４”及“ＧＳ－６”销售的隔离还原的羰基铁粉末。

基于隔离还原的羰基铁粉的隔离层用来阻止粒子对粒子的接触，并可简单地用硅胶粒子涂于这些粒子上形成。因此隔离涂层实质上不能密封粒子及阻止杂质粒子的形成。由隔离涂层对粒子表面的零星覆盖可由J.Japka 所著题为“金属注射成型用的铁粉”（粉末冶金国际杂志第２７（２）卷第１０７－１１４页）一文给出的电子扫描显微照片中看到，该文的全部内容结合于此作为参考。由涂层对粒子表面的不完全覆盖，通常会引起通过上述对于固态环境粒子如灰尘及烟黑的过程加速杂质粒子的形成。在上文中所述的用作隔离涂层的氧化铁，不能用作本发明的保护层，因为氧化铁本身是一种腐蚀产物。

能够有效地阻止在磁流变粒子表面形成杂质产物的本发明保护层可从各种材料中得到，它们包括：非磁性金属，陶瓷，高性能热塑塑料，热固性聚合物及它们的组合。用于形成保护层的热固性聚合物的

例子包括：聚酯，聚酰亚胺，酚醛塑料，双氧树脂，尿烷，合成橡胶及硅树脂；而热塑性聚合材料包括丙烯酸树脂，纤维素，聚苯撑硫，聚五草酸脂（polyquinoxilies），聚乙醚亚胺，及聚苯并咪唑。用作形成保护层的典型非铁金属包括耐熔过渡金属，如钛，锆，铪，钒，铌，钽，氯，钼，钨，铜，银，金，及铅，锡，锌，镉，钴基金属，化合合金，例如Co-Cr-W-C及Co-Cr-Mo-Si，及镍基金属，化合合金，例如：Ni-Cu,Ni-Al,Ni-Cr,Ni-Mo-C,Ni-Cr-Mo-C,Ni-Cr-B-Si-C及Ni-Mo-Cr-Si。用于形成保护层的陶瓷材料包括：上述耐熔过渡金属的碳化物，氮化物，硼化物及硅化物，例如：Al_2O_3 ,Cr_2O_3 ,ZrO_3 ,HfO_2 ,TiO_2 ,SiO_2 ,BeO,MgO及ThO_2 ；非金属的非氧化物，如B_4C, SiC，BN,Si_3N_4 ,AIN 及金刚石；以及各种金属陶瓷。

通常用于保护金属表面免于其增加腐蚀产物的各种材料的详细描述由C.Munger 写的“利用保护层阻止腐蚀”（腐蚀工程师全国协会，休斯敦，德克萨斯，１９８４年）一文所记载，该文的全部内容结合于此作为参考。利用聚乙醚胺涂层封闭的铁粉商品是由Hoeganaes 生产的商标名称为ＡＮＣＯＲ的产品。

本发明的保护层可利用在磨擦学领域技术人员所熟悉的技术或方法施加。通常的涂层技术的例子包括物理沉积及化学蒸积方法。物理沉积技术包括物理蒸积及液体或浸润方法。物理沉积方法包括：直接的、反应的、活化反应的及离子射线辅助的蒸发；ＤＣ　ＲＦ二极管的交流的、三极管的、空心阴极放电的、溅射离子的、及阴极电弧增长放电离子电镀；直接的、集束离子及离子射线电镀；ＤＣ／ＲＦ二极管、三极管及磁控管增长放电溅射；及单和双离子射线溅射。通常物理液体或浸润方法包括：空气／无空气喷射，浸渍，自旋转，静电

喷射，喷射热解，喷射熔化，液化床，电化学沉积，化学沉积为化学转换（例如磷酸盐处理，铬酸盐处理，电镀处理等），非电沉积及化学还原；金属互化合，及胶体扩散或可溶胶涂层技术。化学蒸积方法包括：传统的、低压力的、激光诱发的、电子加速的、等离子增强的及反应脉冲式的化学蒸积；及化学蒸发聚合。有关这些不同涂层工艺的详细讨论记载在Bhushan 中。

由于附加的生产成本是与在制备磁流变材料前从粒子表面去除腐蚀产物相关的，因此本发明的优选研磨处理及化学处理方法包括在磁流变材料制备时使用的那些方法。以此看来，研磨处理一般地优先于化学处理。

可根据本发明改良的磁活性粒子成分基本上包括任何已知呈现磁流变作用及能在其表面固有形成杂质产物的固体材料。用于本发明的典型粒子成分包括：例如顺磁、超顺磁或铁磁化合物。用于本发明的粒子化合物的专门例子包括这些材料：如铁，氮化铁，碳化铁，羰基铁，二氧化铬，低碳钢，镍，钴，及它们的混合物。此外，该粒子成分可包括任何已知的铁合金，例如包含铝，硅，钴，镍，钼，镍，铬，钨，锰和／或铜的那些。该粒子成分也可以是在一项名称为“基于合金粒子的磁流变材料”的美国专利申请中所述的特种铁钴及铁镍合金，该项专利申请是由申请人J.D.Carlson 及 K.D.Weiss 与本发明同时提交申请的并也转让给了本受让人，该申请所公开的全部内容结合于此作为参考。

通常是金属粉末形式的粒子成分可用该领域技术人员公知的方法制备。制备金属粉末的典型方法包括金属氧化物还原，碾磨或研磨，电解沉积，金属羰基合物分解，快速固化，或熔炼处理。从市场可得

到的各种金属粉末包括纯铁粉，还原铁粉，隔离还原铁粉及钴铁粉。这里所使用的粒子直径其范围可从约0．1至500um，优选的范围是约1．0至50um。

本发明的优选粒子为纯铁粉，还原铁粉，铁钴合金粉末及铁镍合金粉末。

典型的粒子成份占全部组成成份的百分比约5至50，优选为约15至40，视所需的磁活性及整个材料的粘度而定。

本发明的磁流变材料的载液可以是在先公开的用于磁流变材料的任何载液或媒质．例如在前面提到的专利所述的矿物油，硅油及石腊油。适合本发明的附加载液包括硅的共聚物白油，液油，氯化烃类转换油，卤化芳香族液体．卤化石腊，二元酸酯，聚氧烷撑，过氟化聚醚，氟化烃类，氟化硅及它们的混合物。如同熟悉这些化合物的人所了解的，转换油是指那些具有电及热隔离特性的液体。自然形成的转换油包括具有低粘度及高化学稳定性的精炼矿物油。合成物转化油一般包括氯化芳香族（氯化联苯及三氯苯），它们统称为“askarels；”硅油；及酯类液体如癸二酸二丁酯。

适用于本发明的附加载液包括硅共聚物，受阻酯化合物，及氰烷基硅氧烷均聚物，它们是在1992年9月9日申请的未结案美国专利申请：系列申请号07／942549，名称为“高强度低压电导率的电流变材料”中公开的，它的全部公开内容结合于此作为参考。本发明的载液也可以是一种改良的载液，它是用彻底的纯化或与一种低导电率的载液形成溶混液体改性的，以使得被改良的载液具有的导电率小于1×10^{-7}s／m。关于这些改良载液的详细描述可参考名称为“具有最小导电率的改性电流变材料”的美国专利申请，它是由申

请人B.C.Munoz, S.R.Wasserman, J.D.Carlson 及K.D.Weiss 于1991年10月16日申请的，并也转让给本受让人，它所公开的全部内容结合于此作为参考。

在25℃时具有的粘度在约3及200厘泊之间的聚硅氧烷及过氟化聚醚也适合在本发明的磁流变材料中使用。对这些低粘度聚硅氧烷及过氟化聚醚的详细描述记载在名称为“低粘度磁流变材料”的美国专利申请中，该申请是由申请人K.D.Weiss, J.D.Carlson 及R.G.Duclos 共同申请的，并也转让给本受让人，它的全部公开内容结合于此作为参考。本发明的优选载液包括：矿物油，石蜡油，硅油，硅共聚物及过氟化聚醚，其中尤其推荐硅油及矿物油。

本发明的磁流变材料的载液在25℃下应具有的粘度在约2至1000厘泊之间，最好在约3至200厘泊之间，特别优选为约5至100厘泊之间。本发明的载液的典型使用的量为整个磁流变材料体积的百分之约50至95，优选范围为从约60至85。

在本发明磁流变材料中的粒子沉积可利用形成一种触变网结构使之减至最小。触变网被定义为在低剪变率下形成松弛网或结构的粒子悬浮，有时指粒团或絮凝物。这种三维结构的存在给予磁流变材料小程度的刚性，因此降低了粒子的沉积。但是通过和缓的搅动施加剪切力时，这种结构很容易瓦解或散开。当剪切力去掉时，该松弛的网结构在一段时间后又重新形成。

触变网或结构是利用一种氢结合触变剂和/或变质聚合金属氧化物形成的。胶体的附加物也可用来在触变网的形成中起辅助作用。使用氢结合触变剂，变质聚合物金属氧化物及胶体附加物形成触变网也被描述在美国专利申请“触变磁流变材料”中，它是由申请人K.D.

Weiss，D.A.Nixon，J.D.Carlson 及 A.J.Margida 共同申请的 并也转让给本受让人，它公开的全部内容结合于此作为参考。

本发明中触变网的形成可以利用添加小分子重量的氢结合分子作辅助，这些分子例如为水及其它含有羟基，羰基或胺官能度的分子。除水以外的氢结合分子包括甲基，乙基，丙基，异丙基，丁基及己基醇；乙二醇；二甘醇；丙二醇；甘油；脂族，芳香族及杂环的胺，包括分子中具有1－16个碳原子的伯，仲及叔氨基醇及氨基酯；甲基，丁基，辛基，十二烷基，十六烷基，二乙基，二异丙基及二丁基胺；乙醇胺；丙醇胺；乙氧基乙胺；二辛基胺；三乙基胺；三甲基胺；三丁基胺；乙撑二胺；丙撑二胺；三乙醇胺；三乙撑四胺；吡啶；吗啉；咪唑及它们的混合物。低分子重量氢结合分子，如果使用时，通常的重量值为粒子成分重量的百分之约0．1至10．0，优选范围为约0．5至5．0。

本发明中可以选择使用使粒子成分更适于扩散的附加表面活化剂。这些表面活化剂包括公知的表面活化剂或扩散剂，例如铁油酸及环烷盐，磺酸盐，磷酸盐酯，甘油单油酸，索氏倍半油酸，硬脂酸盐，月桂酸盐，脂酸，脂醇，及其它的美国专利US 3047507（这里结合来作为参考）中讨论的活化剂。现在还可以使用碱性脂酸盐，例如锂硬脂酸盐及钠硬脂酸盐；及金属，脂酸盐，例如铝三硬脂酸盐及铝二硬脂酸盐。此外，附设的表面活化剂可以由立体稳定分子组成，包括氟脂族聚合脂，例如FC－430（3M公司），及钛酸盐，铝酸盐或锆酸盐连接剂，例如KEN－REACT®（Kenrich 石油化学公司连接剂。最后，一种脱溶硅胶，例如在美国专利US 4992,190（这里结合来作为参考）中所公开的那种能用于扩散粒子的成分。为

了使磁流变材料中存在的湿气减少，如果使用脱溶硅胶时，最好将其置于对流炉中在从约１１０℃至１５０℃的温度下干燥约３至２４小时的时间。

如果使用表面活化剂时，最好是用“干燥”的脱溶硅胶，氟脂族聚合脂，磷酸盐酯或一种连接剂。附设的表面活化剂的重量为粒子成分重量的百分之约０．１至２０。

本发明在现场从磁流变粒子表面去除杂质产物的磁流变制备已在上面描述了。如果在制备磁流变材料或在施加保护层紧前面去除杂质产物时，本发明的磁流变材料可以利用与载液，预处理粒子成份及任何附加成分一起简单地混合来制备。

这些磁流变材料的成份组合开始可一起用手持括刀或类似物混合，接着用均质器，机械混合器，机械振动器或合适的碾磨装置更彻底地混合以便产生更稳定的悬浮物，合适的碾磨装置例如为球磨，砂磨，碾磨机，胶磨，漆磨，砾石磨，喷射磨，振动磨，滚磨，小质体水平磨或类似物。使用磁流变粒子制备磁流变材料的混合条件对于制备前去除杂质产物来说比在现场制备时去除杂质产物所需的条件稍许宽松些。

本发明的磁流变材料及另外的磁流变材料的机械性能及特性的改进可以通过平行扳和/或同心圆柱束射流布置来获得。作为这些技术基础的理论充分地记载在 S.Oka 所著的“流变学理论及应用”（第三卷，由F.R.Eirich 编辑，Academic 出版社出版，纽约，１９６０年）中，该文的全部内容结合于此作为参考。可由流变计获得的信息包括涉及作为剪切应变率函数的机械剪切力的数据。对于磁流变材料，剪切刀与剪切应变的比率数值可以效法于Bingham 塑料的值以确定动

态屈服强度及粘度。在这种模仿的范围内，磁流变材料的动态屈服强度对应于与测量数据符合的一个线性回归曲线的零比率截距。在一个特定的磁流变效应可进一步定义为在该磁场下测得的动态屈服强度与在无磁场作用时测得的动态屈服强度之差。磁流变材料的粘度相应于与测量数据符合的一个线性回归线的斜率。

在同心圆柱室构型中，磁流变材料被置于一个半径为 R_1 的内圆柱面及一个半径为 R_2 的外圆柱面之间形成的环形间隙中；而在一个简单的平行扳构型中，该材料被放置在由半径均为 R_3 的上、下扳间形成的平面形成的平面间隙内。在这些工艺中任一平扳或圆柱以角速度W旋转。而另一平扳或圆柱则保持不动。对于这些结构可通过充液间隙施加磁场：或是对于同心圆柱构型的径向磁场，或是对于平行扳结构的轴向磁场。剪切力和剪切应变率之间的关系便可从角速度及用于保持或阻止它的力矩T来获得。

以下给出的例子乃是用于说明本发明，而不应理解成限定本发明的范围。

例1及2

在例1中，利用在全部117.9g的羰基铁粉（Sigma 化学公司）中缓慢地加入3.54g的，11当量浓度的磷酸溶液来制备磁流变材料，后者是利用磷酸（99%，Aldrich 化学公司），蒸馏水及28.29克的，20cstk 矿物油（DRAKEOL 10, Pennzoil 产品公司）制备的。在开始混合步骤时磁流变材料的温度保持在约30至45℃的温度范围中。开始时液体用手持括刀（低剪切力）混合，然后通过使用具有十六齿旋转头的高速扩散器作形成均质混合物的更细致扩散（高剪切力）。在磁流变材料中经化学处理的铁粒子重量相当

于约０．３０的体积比。磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中。

在例２中，磁流变材料根据例１中所述步骤制备。但是，在该例中用３．５４g 的、１１当量浓度的硫酸溶液来取代磷酸溶液，该硫酸溶液是利用硫酸（９５－９９％，Aldrich 化学公司）及蒸馏水制备的。矿物油的重量调整在使磁流变材料中粒子体积比保持为0.30。磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中。

对比例３

在例３中，磁流变材料根据例１中所述步骤制备。但是在该例中是用全部为１１７．９g 羰基铁粉（Sigma 化学公司）．２．３５g 硬脂酸（Aldrich 化学公司）作扩散剂，及２８．６７g 的２０cstk 矿物油（DRAKEOL 10, Pennzoil 制品公司）一起混合。在磁流变材料中未处理的铁粒子重量相当于约０．３０的体积比。该传统的磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中。

例１－３的磁流变效率

在例１，２及３中制备得的磁流变材料通过使用平行板流体布置来测定。表１给出了在各种磁场强度及２５℃下对这些磁流变材料测得的磁流变力的综合值。对于利用由化学处理（例１及２）除杂质产物的粒子之磁流变材料所测得磁流变力显著地高于对含有传统处理粒子（例３）的磁流变材料所测得的值。在磁场强度为５０００奥斯特时，由含有化学处理粒子的磁流变材料呈现的磁流变力比传统的磁流变材料所呈现的值大约高７１％。

表 1

		磁场强度（奥斯特）				
		1000	2000	3000	4000	5000
磁流变力（Kpa）	例 1	32.4	46.2	72.5	91.7	100.7
	例 2	10.0	38.0	65.4	80.3	94.5
	对比例 3	8.9	25.1	43.3	53.5	55.3

例 4

利用将全部 1 2 3 . 2g 的羰基铁粉（Sigma 公司），2 . 4 6 克硬脂酸（Aldrich 化学公司）作扩散剂，及 3 4 . 2 0g 的 2 0 0 cstk 硅油（Dow 制粒公司）一起混合制备磁流变材料。铁粒子的重量相当于磁流变材料体积比约 0 . 3 0。使用备有 1 1 0 cm^3 容器的一种“Union Process OIHD”碾磨机将溶液制成均质混合物。在该碾磨机中所使用的碾磨介质为不锈钢球的形式。当碾磨介质具有大冲击动能时，该磨机能够减小粒子成分的平均尺寸及粒度分布。当该磨机搅拌轴及该磨机臂以约 3 0 0 ft min的峰值速度转动时，碾磨介质给出足够的动能从粒子成分上去除杂质产物。该碾磨机的最大峰值速度被测得的约 6 0 0 ft／min。该磁流变材料在该研磨步骤中以约 4 4 5ft／min 的峰值速度被强制地碾磨 4 8 小时。将磁流变材料与碾磨介质分离开，并被存储到一个聚乙烯容器中。

对比例 5

根据例 4 所述的步骤制备磁流变材料。但是，在该例中，碾磨机以约 2 5 0ft/min 的峰值速度持续运转 9 6 个小时。其搅拌轴及臂的转速为不能使不锈钢碾磨介质得到从粒子成分的表面去除杂质产物

足够动能的角速度。这种传统的磁流变材料与碾磨介质分离开来，并被储存到一聚乙烯容器中。

例4及5的磁流变效率

用例4及5制备的磁流变材料通过使用平行板流体布置来测定。表2中给出了在各种磁场强度及25℃下对这些磁流变材料测得的磁流变力的综合值。其中对使用在碾磨步骤（例4）中用不锈钢碾磨介质除去杂质产物的粒子的磁流变材料所测得的磁流变力比包含传统粒子（例5）的磁流变材料的情况有显著的提高。在3000奥斯特的磁场强度下由包含碾磨步骤改良粒子的磁流变材料表现的磁流变力比传统材料所表现的力高出约69%。

表2

		磁场强度（奥斯特）		
		1000	2000	3000
磁流变力（Kpa）	例4	19.1	43.0	84.3
	对比例5	8.0	31.9	50.0

例6

利用加入全部117.9g的还原铁粉（ATOMET 95G），魁北克金属粉末有限公司），8.75g的Mn/Zn铁粉（＃73302－0，D.M.Steward制造公司）作为研磨添加剂，2.53g聚氧乙烯 硅接枝共聚物（SILWET L7500，联合碳化物化学及塑料公司）作为触变剂，及29.13g的10cstk硅油（L－45，联合碳化物化学及塑料公司）一起制备磁流变材料。开始用手持括刀（低剪切力）混合液体，然后利用备有16齿旋转头的高速扩

散器（高剪切力）在峰值速度约4000ft/min下更充分扩散约5分钟，形成均质混合物。在该磁流变材料中铁粒子的重量相当于约0.30的体积比。在该磁流变材料中加入研磨铁粉能有效地从铁粒子表面除去杂质产物。这种其粒子成分用研磨处理改良过的磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中。

对比例7

根据例6中的步骤制备磁流变材料，但不使用研磨铁粉。油成份的重量修改成使铁粒子在磁流变材料中的体积比保持为0.30。将该传统的磁流变材料存储到一个聚乙烯容器中。

例6及7的磁流变效率

由例6及7制备得的磁流变材料通过使用平行板流体布置来测定。表3给出了各种磁场强度及25℃下对这些磁流变材料测得的磁流变力的综合值。其中对使用在碾磨步骤（例6）中用加入研磨附加剂除去杂质产物的粒子的磁流变材料比对包含传统粒子（例7）的磁流变材料所测得的磁流变力有显著的提高。在5000奥斯特的磁场强度下，由包含研磨步骤的改良粒子的磁流变材料表现的磁流变力比传统磁流变材料表现的力高出约147%。

表3

		磁场强度（奥斯特）				
		1000	2000	3000	4000	5000
磁流变力（KPa）	例6	11.2	31.4	62.5	93.1	122.4
	对比例7	7.74	31.8	43.5	46.6	49.5

例8－10

在例8中，利用加入全部117.9g的纯羰铁粉（MICROPOWER S-1640，GAF化学公司），1.18g的碳化硼（99%，Johnson Matthey公司）作研磨添加剂，2.36g有机改良的聚二甲基硅氧烷芝聚物（SILWET L7500，联合碳化物化学及塑料公司）作为氢接合触变剂及27.55g的10cstk硅油（L－45，联合碳化物化学及塑料公司）一起制备磁流变材料。开始用手持括刀（低剪切力）混合液体，然后利用备有16齿旋转头的高速扩散器（高剪切力）在峰值速度约4000ft/min下作更彻底扩散约5分钟，形成均质混合物。在该磁流变材料中的铁粒子的重量相当于约0.32的体积比。在该磁流变材料中加入研磨铁粉能有效地从铁粒子表面除去杂质产物。这种其粒子成份由研磨处理改良的磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中。

根据例8所述步骤，在例9及10中制备磁流变材料。但是，在例9中，用1.51g碳化硅粉（alpha，99.8%，Johnson Matthey公司）取代碳化硼粉作研磨附加物。在例10中，用2.43g（II，III）氧化铁粉（97%，Johnson Matthey公司）取代原研磨附加剂。在每一种磁流变材料中的铁粒子重量相当于约0.32的体积比。这些其粒子成份由研磨处理改性的磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中。

对比例11

根据例8中所述的步骤制备磁流变材料。但是，在该情况下在磁流变材料中不加入研磨附加剂。适当地增加载油成分的量以保证在磁流变材料中的铁粒子的体积比约为0.32。该传统的磁流变材料被

存储到一个聚乙烯容器中。

例 8 － 1 1 的磁流变效率

在例 8，9，10 中制备得到的磁流变材料，通过使用平行板流体布置来测定。表 4 中给出了在各种磁场强度及 25℃下对这些磁流变材料测得的磁流变力的综合值。其中对使用在研磨步骤（例 8－10）中用加入研磨附加剂或氧化铁除去杂质产物的粒子的磁流变材料比对包含传统粒子（例 11）的磁流变材料所测得的磁流变力有明显的提高。在 3000 奥斯特的磁场强度下，由包含研磨步骤改良粒子的磁流变材料呈现的磁流变力比传统磁流变材料呈现的力高出约 74%。

表 4

		磁场强度（奥斯特）		
		1000	2000	3000
磁流变力（KPa）	例 8	18.8	74.3	131.0
	例 9	26.2	73.8	129.5
	例 10	10.8	62.4	120.6
	对比例 11	22.5	46.5	69.4

例 12

利用加入全部 117.9g 的还原羰基铁粉（MICROPPWDER R-1430，GAF 化学公司），1.90g 的疏水蒸发硅石（CABOSIH TS-720,Cabot 公司）及 29.95g 的 10cstk 硅油（L－45，联合碳化物化学及塑料公司）一起制备磁流变材料。开始用手持括刀（低剪切力）混合液体，然后利用备有 16 齿旋转头的高速扩散

器（高剪切力）在峰值速度约4000ft/min下作更彻底扩散约5分钟，形成均质混合物。在该磁流变材料中铁粒子的重量相当于约0.32的体积比。在磁流变材料中加入研磨的疏水硅石粉能有效地从铁粒子表面除去杂质产物。这种其粒子成分由研磨处理改良的磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中

对比例13

根据例12中所述的步骤制备磁流变材料，不同的是用相同数量的疏水硅胶扩散剂（HI-SIL 233，PPG工业公司）取代疏水硅石粉。这种已在先由US 4992,190公开的作为扩散剂的硅胶扩散剂，在使用前置于对流炉中在130℃下干燥24小时。该磁流变材料包含的粒子的体积比为0.32。这种传统的磁流变材料被存储到一个聚乙烯容器中

例12及13的磁流变效能

由例12及13制备得的磁流变材料通过使用平行板流体布置来测定。图1给出了在各种磁场强度及25℃下对这些磁流变材料测得的磁流变力的综合值。其中对使用在研磨步骤（例12）中用加入研磨的疏水硅石添加剂除去杂质产物的磁流变材料比对包含传统粒子（例13）的磁流变材料所测得的磁流变力有显著的提高。在5000奥斯特的磁场强度下，由包含研磨步骤改良粒子的磁流变材料表现的磁流变力比传统磁流变材料表现的磁流变力高出约1679%。

由以上的例子可以看出，包含通过化学处理或者研磨处理作去除固有杂质产品改良的粒子的磁流变材料，呈现出比传统磁流变材料显著提高的磁流变力。

说　明　书　附　图

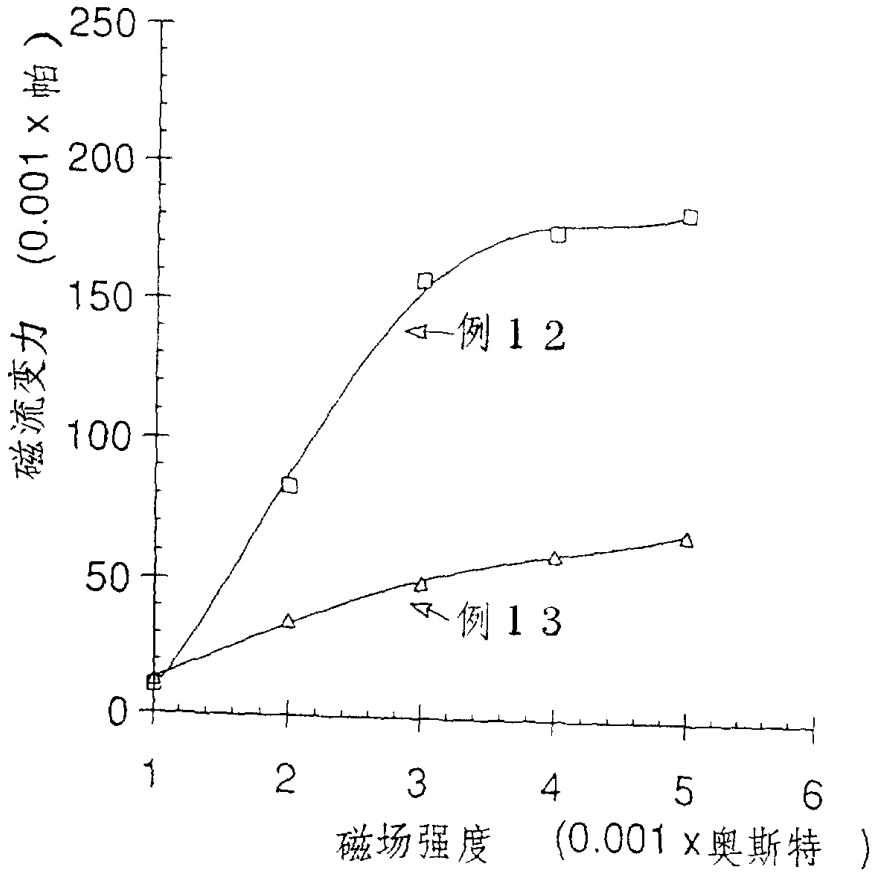


图 1