ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 532.135 / 537.84

ЖУРАВСКИЙ Николай Анатольевич

ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ И СДВИГОВАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Минск – 2005

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Работа выполнена в Государственном научном учреждении "Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова" Национальной академии наук Беларуси.

Научный руководитель: кандидат технических наук
Мансуров Валерий Анатольевич,
ГНУ "Институт тепло- и массообмена
им. А. В. Лыкова" НАН Беларуси.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Баев Алексей Романович,
ГНУ "Институт прикладной физики"
НАН Беларуси;

кандидат физико-математических наук
Колпащиков Виктор Леонидович,
ГНУ "Институт тепло- и массообмена
им. А. В. Лыкова" НАН Беларуси.

Оппонирующая организация: Белорусский государственный
технологический университет.

Защита состоится "11" января 2006 года в 14.00 часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.05.16 при Белорусском национальном техническом университете (220013, Минск, пр-т Независимости, 65, тел. 232-85-90).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан "7" декабря 2005 года

Ученый секретарь Совета Д 02.05.16,
канд. физ.-мат. наук А. Г. Рекс

© Журавский П.А., 2005
© БНТУ, 2005

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Развитие многих отраслей науки и техники в настоящее время в значительной степени обусловлено созданием "интеллектуальных" материалов. Один из видов таких материалов – магнитореологические суспензии (МРС), физические свойства которых изменяются под воздействием магнитного поля, что делает возможным управление процессами переноса в этих средах. Такая управляемость позволяет использовать МРС в различных технических устройствах (магнитореологических приводах, муфтах сцепления, системах виброзащиты) и ряде технологических процессов. Особенно значительные результаты для практики были получены при использовании этих сред для полирования оптических деталей с высокой степенью точности, соизмеримой с межатомными расстояниями.

Для расчета устройств или технологических процессов требуется знание реологических свойств МРС: предела текучести, вязкости, модуля сдвига. Несмотря на значительное количество работ в этом направлении, существует целый ряд вопросов, которые изучены недостаточно полно и систематично. В частности, весьма мало экспериментальных данных о статическом пределе текучести и модуле сдвига МРС в магнитном поле. Также слабо изучено влияние концентрационных и температурных вариаций на течение суспензий. Кроме того, не исследовано влияние рельефа контактной поверхности на развитие касательных напряжений в суспензиях при сдвиге. Данная диссертационная работа направлена на расширение и углубление знаний о реологических свойствах МРС и о взаимодействии их с различными типами контактных поверхностей.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнена в лаборатории реофизики и макрокинетики Государственного Научного Учреждения "Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова" (ГНУ ИТМО) НАНБ в рамках следующих проектов и тем:

1. Государственная программа фундаментальных исследований Республики Беларусь "Энергетика" "Разработка научных оснований создания экологически безопасных энергоисточников и энергосберегающих тепломассообменных технологий и техники" на 1996 – 2000 гг. (Утверждена Постановлением Президиума АН Беларуси от 23 ноября 1995 г. №88). Задание "Энергетика-61" "Исследование нестационарных процессов гидродинамики, тепло- и массообмена в магнитореологических суспензиях" (ГР №19963625).

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

2. Государственная программа фундаментальных исследований Республики Беларусь "Механика" "Механика динамических систем и процессы управления" на 1996 – 2000 гг. (Утверждена Постановлением Президиума АН Беларуси от 23 ноября 1995 г. №88). Задание "Механика IV" "Разработка теоретических основ прикладной магнитореологии".

3. Государственная программа фундаментальных исследований Республики Беларусь "Энергия" "Исследование явлений и процессов генерации, переноса и преобразования энергии в термодинамических системах и энергетических технологиях" на 2000 – 2005 гг. (Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 января 2000 г. №111). Задание "Энергия-52" "Исследование закономерностей процессов переноса импульса и тепла в магнитореологических композициях с комплексной дисперсной фазой и нелинейновязкой дисперсионной средой" (ГР №2003519).

Цель и задачи исследования. *Цель работы* – развитие физических представлений о реологии магнитореологических суспензий при взаимодействии их с поверхностями различного рельефа в магнитном поле, при вязкоупругом динамическом деформировании, определение параметров течения МРС в канале в отсутствие магнитного поля с учетом изменений их состава и температуры. Для достижения цели необходимо решить следующие *задачи*:

1. Разработать методики и установки для измерения статического предела текучести МРС в магнитном поле при наличии сдвиговой деформации и для измерения модуля сдвига и угла потерь МРС в области упругих деформаций при динамическом деформировании и воздействии магнитного поля.

2. На основе экспериментальных исследований выявить закономерности изменения статического и динамического предела текучести в зависимости от индукции магнитного поля и концентрации дисперсной фазы и установить соответствие между данными эксперимента и полученными из существующих теоретических моделей.

3. Определить экспериментальным путем модуль сдвига и угол потерь магнитореологических суспензий в области малых деформаций в режиме динамического деформирования в магнитном поле.

4. Изучить влияние рельефа поверхности на касательные напряжения сдвига МРС, расширить диапазон действия касательных напряжений при пластической деформации суспензий.

5. Определить параметры течения водной МРС в цилиндрическом ка-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

нале в отсутствие магнитного поля в зависимости от объемной концентрации магнитных частиц с учетом влияния температуры и перепада давления.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются магнитореологические суспензии, предметом – реологические свойства МРС при наличии сдвиговой деформации в магнитном поле, влияние рельефа контактной поверхности, изменений концентрации дисперсной фазы и индукции магнитного поля на течение МРС.

Методология и методы проведенного исследования. Предложен экспериментальный подход для определения реологических характеристик МРС: предела текучести, кривых течений, модуля сдвига, угла потерь. Для определения статического и динамического предела текучести, кривых течения суспензий использован метод ротационной вискозиметрии. Измерение статического предела текучести производится на созданной экспериментальной установке ротационного типа. Модуль сдвига и угол потерь МРС определены на созданной установке, использующей метод малых вынужденных колебаний трехслойной балки-сэндвича с закрепленным концом и МРС в качестве вязкоупругой прослойки.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Впервые на основе использования метода роста напряжения сдвига определены зависимости статического предела текучести МРС от индукции магнитного поля B и объемной концентрации дисперсной фазы φ в широком диапазоне (B=0,1 – 0,65 Тл, φ=0,05 – 0,4).

2. На основе использования метода вынужденных колебаний трехслойной балки-сэндвича определены динамические характеристики (модуль сдвига и угол потерь) магнитореологических суспензий и выявлены закономерности влияния на них магнитного поля.

3. Впервые выявлены закономерности изменения касательных напряжений сдвига МРС в зависимости от характеристик рельефа контактной поверхности и показано, что создание рельефа (рифление) может вызывать увеличение эффективных значений статического и динамического предела текучести МРС до 2,5 раз.

4. Для водной МРС в отсутствие магнитного поля определены концентрационная и температурная зависимости параметров реологической модели Гершеля – Балкли и выполнен расчет расходно-напорных характеристик этой суспензии в цилиндрическом канале с учетом изменений концентрации и температуры.

Научная значимость результатов. В работе получили развитие физи-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

ческие представления о реологических свойствах МР суспензий и их взаимодействии с поверхностями различного рельефа в магнитном поле, что позволяет применить полученные результаты в новых перспективных технологиях, в частности, в магнитореологическом полировании. Работа вносит вклад в развитие механики жидкости в целом и механики неньютоновских жидкостей.

Практическая значимость полученных результатов. Полученные результаты указывают на возможность эффективного управления реологическими свойствами магнитореологических суспензий в магнитном поле и представляют интерес для расчета и оптимизации магнитореологических устройств, включая ротационные муфты, МР дроссели, и технологических процессов, например, МР полирования. Выданные практические рекомендации по повышению касательных напряжений сдвига МРС позволяют существенно расширить диапазон управления касательными напряжениями. Получен патент РБ на способ повышения касательных напряжений МРС на магнитопроводящей стенке гидроканала.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Методика и экспериментальная установка для определения статического предела текучести, реализующая метод роста механического напряжения применительно к исследованию реологических свойств МРС в магнитном поле.

2. Экспериментальные зависимости предела текучести от концентрации дисперсной фазы МРС и индукции магнитного поля, согласующиеся с расчетными данными, полученными согласно модели Розенцвейга, в диапазоне концентраций $\varphi \leq 0{,}2$.

3. Экспериментальная установка для определения динамических характеристик МРС (модуля сдвига и угла потерь). Закономерности изменения модуля сдвига и угла потерь МРС в магнитном поле: рост модуля сдвига с увеличением магнитного поля (до $5 \cdot 10^5$ Па), максимум угла потерь при промежуточных значениях магнитного поля (0,1 Тл).

4. Закономерности проявления эффекта увеличения касательных напряжений сдвига МРС в магнитных полях при наличии рифления контактных поверхностей. Влияние формы и ориентации канавок: более значительная (до 2 раз) величина эффекта в случае перпендикулярной к направлению течения ориентации канавок. Закономерности влияния объемной концентрации дисперсной фазы МРС и индукции магнитного поля на увеличение касательных напряжений, экстремальный характер

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

влияния параметра рельефа.

5. Концентрационная и температурная зависимость параметров реологической модели Гершеля – Балкли водной полировальной МРС в отсутствие магнитного поля и расходно-напорные характеристики течения МРС в цилиндрическом канале с учетом концентрационных и температурных вариаций.

Личный вклад соискателя. Все изложенные в диссертации результаты получены автором лично на основе описанных в диссертации расчетных и экспериментальных методов. Вклад соавторов в опубликованных в соавторстве работах заключается в научном руководстве при постановке задач, при обсуждении и описании результатов. Общая концепция исследования сформулирована научным руководителем к. т. н. В. А. Мансуровым. Установка для измерения статического предела текучести разрабатывалась совместно с вед. инж.-эл. В. Е. Ивановым, установка для определения динамических параметров МРС – с к. т. н. В. А. Кузьминым и к. т. н. С. А. Демчук.

Апробация результатов соискателя. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на Международной научной конференции "Магнитные материалы и их применение" (Минск, 1998), 7-й Международной конференции по электрореологическим жидкостям и магнитореологическим суспензиям (Гонолулу, США, 1999), 8-й Международной конференции по электрореологическим жидкостям и магнитореологическим суспензиям (Ницца, Франция, 2001), Международной конференции и школе-семинаре "Новые "интеллектуальные" материалы электро- и магниточувствительные жидкости и их применение для энергоэффективных технологий" (Минск, 2001) и V Минском международном форуме по тепло- и массообмену (ММФ-2004).

Опубликованность результатов. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ. Из них 2 статьи в международных научных журналах, 2 статьи в ИФЖ, 1 доклад в Трудах международной конференции, 2 тезиса докладов, сделанных на международных конференциях, 2 статьи в сборниках научных трудов института, 1 патент РБ. Общий объем публикаций – 53 с.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Диссертационная работа изложена на 114 страницах машинописного текста и содержит 39 рисунков, 1 таблицу. Коли-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

чество библиографических ссылок включает в себя 100 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дана общая оценка состояния разработки научной проблемы и определено направление диссертационного исследования.

В **первой главе** дан анализ известных результатов по влиянию магнитного поля на реологические свойства МРС (вязкость, предел текучести, модуль упругости) [1 – 5], а также рассмотрены основные реологические методы, применяемые для исследования МРС [6], и основные технические приложения МРС (привода, муфты, уплотнения, магнитореологическое полирование) [7].

Во внешнем магнитном поле ферромагнитные частицы МРС могут образовывать агрегаты со значительной прочностью на разрыв. Эти структурные изменения приводят к тому, что МРС становятся вязкопластичными средами [1]. При малых напряжениях сдвига τ, недостаточных для разрушения структуры, они ведут себя подобно твердым телам, испытывая упругие деформации. Когда сдвигающее напряжение достигает некоторой предельной величины, называемой статическим пределом текучести τ_0, структура разрушается и начинается вязкопластичное течение МРС.

Как правило, реологические свойства МРС в магнитном поле исследуют с помощью оборудования, снабженного индуктором однородного магнитного поля. При этом варьируют напряженность поля H и скорость сдвига $\dot{\gamma}$. В этих случаях в качестве предела текучести подразумевают динамический предел текучести τ_y, полученный путем аппроксимации кривых течения. Однако при этом не учитывается нелинейность кривых течения в области малых скоростей сдвига, так что статический предел текучести τ_0 может существенно отличаться от τ_y. Для расчета характеристик многих устройств, использующих МРС, как правило, требуется знание именно величины статического предела текучести, который определяет силы сцепления в МР муфтах, касательные напряжения сдвига в области малых скоростей сдвига, что особенно важно для таких устройств, как МР дроссели, привода и др. Экспериментальных работ по изучению статического предела текучести практически нет, лишь в отдельных случаях упоминается об его определении в узком диапазоне магнитных полей, например, в [8],

без подробного описания методики измерений. Весьма слабо изучены реологические свойства МРС и в области упругих деформаций.

В ряде работ, используя некоторые упрощенные представления о структуре МРС и взаимодействии магнитных частиц (сферичность частиц и их однородное распределение в агрегатах, отсутствие взаимодействия между агрегатами, прилипание на стенке), производится расчет реологических свойств суспензий, в частности, статического предела текучести. Розенцвейг [9] предложил слоистую модель, которая представляет МРС в виде чередующихся слоев дисперсионной среды и агрегатов из магнитных частиц. Боссис и Лемар [8] в основу вычисления предела текучести положили силу, возникающую между двумя частицами в магнитном поле. Модель, предложенная Джиндером и др. [10], вычисляет силу взаимодействия сферических магнитных частиц в поле, предполагая, что в каждой частице на стороне, обращенной к другой частице, образуется зона локального насыщения. Согласно всем упомянутым моделям статический предел текучести находится в степенной зависимости от напряженности магнитного поля H

$$\tau_0 = S_i(\varphi, \chi, \mu, \mu_i, J_s)H^{n_i}. \qquad (1)$$

где S_i – функция объемной концентрации дисперсной фазы φ, магнитной восприимчивости агрегата χ, магнитной проницаемости суспензии μ и ферромагнитных частиц μ_i, намагниченности насыщения карбонильного железа J_s. В случае модели Розенцвейга (i=1) n_1=2

$$S_1 = \frac{\mu_0}{4} \cdot \frac{\varphi(1-\varphi)\chi^2}{1+(1-\varphi)\chi}, \qquad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная. Согласно модели Боссиса (i=2) n_2=2

$$S_2 = 18\mu_0\mu\varphi\beta^2 f, \qquad (3)$$

где $\beta = (\mu_i - \mu)/(\mu_i + 2\mu)$, $\mu_i = 1 + J_s / H$, $f = \frac{R^4}{d^4}[(2f_1 + 2f_2)\sin\theta\cos\theta - f_3\sin^3\theta]$, R – радиус частиц, d – расстояние между центрами частиц, θ – угол между линией, соединяющей их центры, и направлением поля. Величины f_1, f_2 и f_3 зависят от расстояния между частицами и отношения μ_i/μ.

В случае модели Джиндера (i=3) n_3=1.5

$$S_3 = \sqrt{6}\mu_0\varphi J_s^{0.5}. \qquad (4)$$

Однако в этих работах сравнение расчетных величин с экспериментальными данными проводится, как правило, лишь для отдельных суспен-

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

терь) вязкоупругих сред применительно к МРС в магнитном поле. Определены модуль сдвига и угол потерь МРС, установлены закономерности влияния на них магнитного поля. Экспериментально доказано, что модуль сдвига растет с увеличением магнитного поля (до $5 \cdot 10^5$ Па), а угол потерь имеет максимум при промежуточных значениях поля (0,1 Тл).

4. Показано, что рифление контактной поверхности приводит к увеличению измеряемых величин статического и динамического предела текучести МРС. Установлено, что это увеличение существенно зависит от ориентации канавок: при их расположении перпендикулярно направлению движения МРС эффект выражен сильнее (до 2 раз), чем в случае параллельной ориентации. Существенного влияния формы канавок на эффект не обнаружено. Предложена интерпретация увеличения касательных напряжений сдвига: оно обусловлено созданием на стенке магнитомеханического барьера за счет формирования на ней локальных градиентов магнитного поля и механических барьеров, препятствующего проскальзыванию агрегатов из частиц дисперсной фазы МРС вдоль стенки.

5. Установлено, что эффект прироста касательных напряжений сдвига и для статического, и для динамического предела текучести наиболее ярко выражен при оптимальной величине параметра рельефа $\langle\sigma\rangle=0.5$. Показано, что для статического предела текучести эффект больше при малых объемных концентрациях дисперсной фазы МРС, для этих суспензий существенно (~2,5 раза) расширен диапазон управления касательным напряжением на стенке. Установлено, что для динамического предела текучести эффект сильнее при промежуточных значениях объемных концентраций (0,2 при $B<0,3$ Тл и 0,3 при $B>0,3$ Тл). Определено, что для статического предела текучести и для динамического в случае малых ($\varphi \leq 0,1$) концентраций прирост напряжений увеличивается с ростом индукции магнитного поля, для динамического в случае больших концентраций – уменьшается.

6. Определены концентрационная и температурная зависимости реологических параметров суспензий в отсутствие магнитного поля. Показано, что для водной полировальной МРС применима реологическая модель Гершеля – Балкли с индексом течения 0,83. Установлено, что коэффициент консистенции линейно убывает с ростом температуры и в степенной зависимости с ростом концентрации воды, а предел текучести МРС практически не зависит от температуры и линейно убывает с концентрацией воды. Рассчитаны расходно-напорные характеристики течения МРС в рабочем диапазоне концентрации, температуры и перепада давления.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах

1. Г. Н. Баранов, С. С. Грабчиков, С. Джекобс, Н. А. Журавский, Д. Э. Полесский, И. В. Прохоров. Исследование свойств магнитореологических суспензий на основе аморфных магнитных порошков // Инженерно-физический журнал. – 1999. – Том 72, №4. – С. 745 – 748.
2. Kordonski W., Gorodkin S., Zhuravski N. Static Yield Stress in Magnetorheological Fluid // International Journal of Modern Physics B. – 2001. – Vol. 15, № 6 – 7. – P. 1078 – 1084.
3. Н. А. Журавский, Д. Э. Полесский, И. В. Прохоров. Управляемая магнитным полем реодинамическая прецизионная обработка поверхности // Инженерно-физический журнал. – 2002. – Том 75, №2. – С. 99 – 103.
4. Gorodkin S., Zhuravski N., Kordonski W. Surface Shear Stress Enhancement Under MR Fluid Deformation // International Journal of Modern Physics B. – 2002. – Vol. 16, № 17 – 18. – P. 2745 – 2750.

Статьи в сборниках научных трудов конференций

5. Н. А. Журавский, С. Р. Городкин. Повышение касательных напряжений сдвига магнитореологических суспензий // Новые "интеллектуальные" материалы электро- и магниточувствительные жидкости и их применение для энергоэффективных технологий (Материалы Международной конференции и школы-семинара, Минск, 11 – 13 сентября 2001 г.). – Минск: УП "Технопринт", 2001. – С. 200 – 206.

Тезисы докладов

6. И. В. Прохоров, Н. А. Журавский, С. С. Грабчиков, Г. Н. Баранов, С. Джекобс. Магнитореологические суспензии на основе аморфных магнитных порошков // Тезисы докладов Международной научной конференции “Магнитные материалы и их применение” (Минск, 30 сентября – 2 октября 1998 г.). – Минск, 1998. – С. 157 – 158.
7. В. А. Мансуров, Н. А. Журавский, Е. В. Медведева, Г. Р. Городкин, Л. К. Глеб. Напорно-расходные характеристики течения магнитореологической суспензии в цилиндрическом канале // Тезисы докладов и сообщений V Минского международного форума по тепло- и массообмену (Минск, 24 – 28 мая 2004 г.). – Минск, 2004. – Т. 2. – С. 146.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Статьи в сборниках научных трудов института

8. В. И. Кордонский, С. А. Демчук, В. А. Кузьмин, Н. А. Журавский. Исследование вязкоупругих свойств магнитореологических жидкостей // Тепло- и массоперенос-97. – Минск: АНК "ИТМО им. А. В. Лыкова" НАНБ, 1997. – С. 176 – 180.
9. С. Р. Городкин, В. И. Кордонский, Н. А. Журавский, В. Е. Иванов. Измерение статического предела текучести магнитореологических жидкостей // Тепло- и массоперенос-98/99. – Минск: АНК "ИТМО им. А. В. Лыкова" НАНБ, 1999. – С. 83 – 87.

Патент

10. Патент 5845 C1 BY, МКИ^7 F 15D 1/00. Способ управления течением магнитореологической жидкости в гидроканале / Городкин С. Р., Журавский Н. А., Бровкин Н. Н. – №a19991029; Заявл. 19.11.1999; Опубл. 30.12.2003 // Афіцыйны бюлетэнь Дзяржаўнага патэнтнага камітэта Рэспублікі Беларусь. – 2003. – №4.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ, ЦИТИРУЕМЫХ В АВТОРЕФЕРАТЕ

1. Шульман З. П., Кордонский В. И. Магнитореологический эффект. – Минск: Наука и техника, 1982. – 184 с.

2. Shulman Z. P., Kordonskii V. I., Zaltsgendler E. A., Prokhorov I. V., Khusid B. M., Demchuk S. A. Structure, physical properties and dynamics of magnetorheological suspensions // Int. J. of Multiphase Flow. – 1986. – Vol. 12, № 6. – P. 935 – 955.

3. Кордонский В. И., Демчук С. А. Магнитореологический эффект и управление процессами переноса // Успехи механики. – 1989. – Том 12, № 4. – С. 3 – 42.

4. D. W. Felt, M. Hagenbьchle, J. Liu. Rheology of a Magnetorheological Fluid // Proc. 5th Int. Conf. on Electrorheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and Associated Technology (Sheffield, UK, 10 – 14 July 1995). – Singapore: World Scientific, 1995. – P. 738 – 746.

5. W. I. Kordonski, S. R. Gorodkin and Z. A. Novikova. The Influence of Ferroparticle Concentration and Size on MR Fluid Properties // Electro-Rheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and their Applications (Proc. 6th Int. Conf. on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, July 22 – 25, 1997, Yonezawa, Japan). – World Scientific, 1999.

6. Q. D. Nguyen, D. V. Boger. Measuring the Flow Properties of Yield Stress Fluids // Annual Review Fluid Mech. – 1992. – Vol. 24. – P. 47 – 88.

7. Osama Ashour, Craig A. Rogers and William Kordonski. Magnetorheological Fluids: Materials, Characterization and Devices // J. Intel. Mater. Systems and Structures. – 1996. – Vol. 7, № 2. – P. 123 – 130.

8. Bossis G. and Lemaire E. Yield Stresses in Magnetic Suspensions // J. of Rheology. – 1991. – Vol. 35, № 7. – P. 1345 – 1354.

9. Rosensweig R. E. On Magnetorheology and Electrorheology as States of Unsymmetric Stress // J. of Rheology. – 1995. – Vol. 39, № 1. – P. 179 – 192.

10.Ginder J. M., Davis L. C., Elie L. D. Rheology of Magnetorheological Fluids: Models and Measurements // Proc. 5th Int. Conf. on Electrorheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and Associated Technology (Sheffield, UK, 10 – 14 July 1995). – Singapore: World Scientific, 1995. – P. 504 – 514.

11.В. И. Байков, З. П. Шульман, К. Энгельгардт. Захват неньютоновской жидкости движущейся поверхностью // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1985. – №4. – С. 53 – 59.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

РЭЗЮМЕ

Жураўскі Мікалай Анатольевіч

Граніца цякучасці і зрухавая дэфармацыя магнітарэалагічных суспензій у магнітным полі

Ключавыя словы: рэалогія, магнітарэалагічная суспензія, магнітнае поле, датычнае напружанне зруху, граніца цякучасці, модуль зруху, вугал страт, рыфленне паверхні, цячэнне суспензіі.

Аб'ект даследавання – магнітарэалагічныя суспензіі. Прадмет даследавання – рэалагічныя ўласцівасці МРС пры наяўнасці зрухавай дэфармацыі ў магнітным полі, уплыў рэльефу кантактнай паверхні, змяненняў канцэнтрацыі дысперснай фазы і індукцыі магнітнага поля на цячэнне МРС.

Мэта работы – развіццё фізічных прадстаўленняў аб рэалогіі магнітарэалагічных суспензій пры ўзаемадзеянні іх з паверхнямі рознага рэльефу ў магнітным полі, пры вязкапругкім дынамічным дэфармаванні, вызначэнне параметраў цячэння МРС у канале ў адсутнасць магнітнага поля з улікам змяненняў іх саставу і тэмпературы.

Распрацавана методыка і эксперыментальная ўстаноўка для вызначэння статычнай граніцы цякучасці МРС ў магнітным полі. Атрыманы залежнасці граніцы цякучасці ад канцэнтрацыі дысперснай фазы МРС і індукцыі магнітнага поля, вызначаны дыяпазон канцэнтрацый, у якім эксперыментальныя велічыні колькасна ўзгадняюцца з мадэллю Разэнцвейга. Створана эксперыментальная ўстаноўка для вызначэння модуля зруху і вугла страт МРС. Паказана, што модуль зруху расце з павелічэннем індукцыі магнітнага поля, а вугал страт мае максімум пры прамежкавых значэннях індукцыі.

Дасягнута павелічэнне датычных напружанняў зруху МРС пры рыфленні кантактных паверхняў. Павелічэнне больш значнае пры перпендыкулярнай к напрамку цячэння арыентацыі канавак, для малых аб'ёмных канцэнтрацый дысперснай фазы МРС і вялікіх магнітных палёў, пры аптымальным значэнні параметру рэльефа.

Вызначаны характарыстыкі цячэння паліравальнай МРС на воднай аснове ў цыліндрычным канале ў адсутнасць магнітнага поля з улікам змяненняў канцэнтрацыі вады і тэмпературы суспензіі.

У рабоце атрымалі развіццё фізічныя ўяўленні аб зрухавай дэфармацыі МРС у магнітным полі, дасягнутыя вынікі пашыраюць веды аб рэалагічных ўласцівасцях МРС.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

РЕЗЮМЕ

Журавский Николай Анатольевич

Предел текучести и сдвиговая деформация магнитореологических суспензий в магнитном поле

Ключевые слова: реология, магнитореологическая суспензия, магнитное поле, касательное напряжение сдвига, предел текучести, модуль сдвига, угол потерь, рифление поверхности, течение суспензии.

Объект исследования – магнитореологические суспензии. Предмет исследования – реологические свойства МРС при наличии сдвиговой деформации в магнитном поле, влияние рельефа контактной поверхности, изменений концентрации дисперсной фазы и индукции магнитного поля на течение МРС.

Цель работы – развитие физических представлений о реологии магнитореологических суспензий при взаимодействии их с поверхностями различного рельефа в магнитном поле, при вязкоупругом динамическом деформировании, определение параметров течения МРС в канале в отсутствие магнитного поля с учетом изменений их состава и температуры.

Разработана методика и экспериментальная установка для определения статического предела текучести МРС в магнитном поле. Получены зависимости предела текучести от концентрации дисперсной фазы МРС и индукции магнитного поля, определен диапазон концентраций, в котором экспериментальные величины количественно согласуются с моделью Розенцвейга. Создана экспериментальная установка для определения модуля сдвига и угла потерь МРС. Показано, что модуль сдвига растет с увеличением индукции магнитного поля, а угол потерь имеет максимум при промежуточных значениях индукции.

Достигнуто увеличение касательных напряжений сдвига МРС при рифлении контактных поверхностей. Увеличение более значительно при перпендикулярной к направлению течения ориентации канавок, для малых объемных концентраций дисперсной фазы МРС и больших магнитных полей, при оптимальном значении параметра рельефа.

Определены характеристики течения полировальной МРС на водной основе в цилиндрическом канале в отсутствие магнитного поля с учетом изменений концентрации воды и температуры суспензии.

В работе получили развитие физические представления о сдвиговой деформации МРС в магнитном поле, достигнутые результаты расширяют знания о реологических свойствах МРС.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

SUMMARY

Zhuravski Nickolay Anatol'evich

Yield stress and shear deformation of magnetorheological suspensions in the magnetic field

Keywords: rheology, magnetorheological suspension, magnetic field, shear stress, yield stress, shear modulus, loss angle, surface grooving, suspension flow.

Researching subject – magnetorheological suspensions (MRS). Researching object – rheological properties of MRS under shearing in the magnetic field, influence of contact surface relief, disperse phase concentration and magnetic field intensity changes on MRS flow.

Thesis goal – development of physical conception about rheology of magnetorheological suspensions under their interplaying with different relief surfaces in the magnetic field, under viscoelastic dynamic deformation, determination of flow properties of MRS in a channel taking into account changing their composition and temperature in the absence of the magnetic field.

The method and laboratory equipment determining static yield stress MRS in the magnetic field have been worked up. The dependencies of the yield stress on disperse phase concentration of MRS and magnetic field intensity has been obtained, the range of concentration in which the experimental values quantitatively agree with Rosensweig's model has been defined. The laboratory equipment determining shear modulus and loss angle has been created. It is established that shear modulus increases with magnetic strength grow, in contrast loss angle has maximum at some magnetic field strength.

The surface shear stress enhancement in working unit having grooved contact surface has been achieved. The enhancement is more significant at optimal relative spacing of grooves directed perpendicularly to flow direction at low dispersed phase bulk concentration and high magnetic field strength.

Taking into account the water concentration and the temperature profile, the flow rate characteristics of the water-based polish MRS in a cylindrical channel in the absence of the magnetic field has been defined.

The physical conception about shear deformation MRS in the magnetic field has been developed in the work, achieved results extends the scientific knowledge about rheological properties of MRS.