



УДК 541.183

Модифицирование оксида железа оксиэтилированными ПАВ

Матросова Г.С., Бобков А.А., Соснина С.А., Полунина И.А.

УРАН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва

Поступила в редакцию 6.07.2009 г.

Аннотация

Исследована адсорбция на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ поверхностно-активных модификаторов, отличающихся строением углеводородного радикала, количеством оксиэтильных групп и типом функциональности. Получены изотермы адсорбции оксиэтилированных ПАВ из неполярной органической среды, изучен состав и текстура модифицирующих слоев.

Установлено, что лучшими модификаторами для органосуспензий $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ являются хемосорбирующиеся ПАВ с неразветвленным оксиэтилированным радикалом. Плотность монослоев физически адсорбированных эсполов (оксиэтилированных алкилфенилфосфатов) значительно меньше и убывает пропорционально числу оксиэтильных групп в молекулах.

Исследовано влияние оксиэтилированных модификаторов на физико-химические свойства модельных суспензий $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в растворах полимеров. Обнаружена корреляция между модифицирующим действием ПАВ и магнитными свойствами полимерных суспензий на основе $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Ключевые слова: адсорбция, оксид железа, поверхностные модификаторы, оксиэтилированные ПАВ

The adsorption of various etoxylated surfactants on the disperse $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ from organic media was studied. It was established the relation between the modify effect of surfactants, chemical structure of their functional groups, quantity of etoxylated groups and a branching of surfactant hydrocarbon chains. The correlation between surfactant properties and magnetic characteristics of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ polymeric suspension was investigated.

Key words: adsorption, ferric oxide, surface modifiers, oxyethylene surface active substances

Введение

Модифицирование поверхности гидрофильных металлов и оксидов способно изменять поверхностные характеристики твердой дисперсной фазы и улучшать ее совмещение с органической средой [1-2]. При получении композиционных материалов с магнитными свойствами широко используются органосуспензии оксида железа, при этом наилучшие магнитные свойства имеют материалы, в которых достигнута наивысшая степень дисперсности оксида [3]. В связи с этим очень важным является выбор поверхностно-активных диспергаторов, способных адсорбироваться на поверхности агрегатов магнитных частиц, разрушать их и

стабилизировать индивидуальные частицы в органической дисперсионной среде. Выбор диспергаторов зависит от химии поверхности твердой дисперсной фазы.

Согласно данным [4-5], центрами адсорбции органических соединений на поверхности оксида железа являются координационно-ненасыщенные ионы Fe^{3+} , а также ионы O^{2-} и OH^- , образующиеся в результате диссоциативной хемосорбции кислорода и воды на свежесформированной поверхности оксида. Поверхностные OH -группы $\gamma-Fe_2O_3$, по данным [4], проявляют слабоосновные свойства, а ионы Fe^{3+} способны вступать в химические реакции как доноры и акцепторы электронов. Благодаря этому оксид железа может активно взаимодействовать с большой группой органических соединений.

В данной работе исследована адсорбция на $\gamma-Fe_2O_3$ модификаторов, отличающихся строением углеводородного радикала, количеством оксиэтильных групп и природой функциональных групп. Исследовано влияние используемых ПАВ на физико-химические свойства модельных суспензий $\gamma-Fe_2O_3$ в растворах полимеров.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовался порошок $\gamma-Fe_2O_3$ (марки ПМЧ, Россия) со средней длиной частиц 0,2-0,6 мкм. По данным электронной микроскопии, частицы оксида имеют форму эллипсов с соотношением осей от 1:6 до 1:9. Величина удельной поверхности, определенная по методу БЭТ, равна $15 \cdot 10^3$ м²/кг. Перед адсорбционными исследованиями порошок $\gamma-Fe_2O_3$ отмывали от примесей горячим растворителем (толуолом), высушивали при 120-150°C до постоянного веса и охлаждали в эксикаторе с осушителем.

В качестве модификаторов использовали стеариновую кислоту (СК) и октадециламин (ОДА), а также их аналоги, в которых атом водорода функциональных групп заменен на углеводородный радикал, содержащий 20 оксиэтильных групп (СК ОЭ и ОДА ОЭ) [4]; оксиэтилированные алкилфенилфосфаты (эсполы), представляющие собой смесь моно- и диэфиров и отличающиеся количеством оксиэтильных групп в молекуле; Gafac RE-610 – оксиэтилированный моноэфир алкилфенилфосфата; КД-6 – калиевая соль оксиэтилированного диэфира алкилфосфата (табл. 1).

Таблица 1. Свойства модификаторов поверхности $\gamma-Fe_2O_3$

№	ПАВ	Число оксиэтильных групп, g	Молекулярный вес, M_n , у.е.
1	КД-6	6	590
2	Gafac	10	970
3	Эспол 5	5	735
4	Эспол 10	10	1060
5	Эспол 13	13	1260
6	СК ОЭ	20	1160
7	ОДА ОЭ	20	1150

Адсорбцию ПАВ на $\gamma-Fe_2O_3$ проводили из их 1% растворов в толуоле путем перемешивания органосуспензий до установления адсорбционного равновесия при 22°C. Предварительно изученная кинетика адсорбции ПАВ на $\gamma-Fe_2O_3$ позволила

установить время достижения адсорбционного равновесия (6 ч). Исходную и равновесную концентрации ПАВ определяли гравиметрически по сухому остатку в пробе. Обработка модифицированных порошков в аппарате Сокслета кипящим толуолом в течение 24 ч позволила оценить количество обратимо и необратимо связанных с поверхностью молекул ПАВ.

Влияние ПАВ на физико-химические свойства модельных систем исследовали на примере разбавленных суспензий $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в полимерном связующем (соотношение твердой и жидкой фазы 1: 2) и концентрированных суспензий (соотношение твердой фазы и полимера 3:1, содержание нелетучих компонентов 41-42 %, летучих – 59-58%).

В разбавленных модельных системах исследовали зависимость предельного статического напряжения сдвига P_m от концентрации вводимых ПАВ, поскольку вид кривых $P_m = f(C_{\text{пав}})$ характеризует процессы структурообразования и позволяет выявить оптимальное соотношение компонентов для данной системы.

В концентрированных суспензиях изучали влияние ПАВ на диспергирование порошка $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в связующем ФПР-1 (15% раствор сополимера трифторхлорэтилена с алкилвиниловым и гидроксилалкилвиниловым эфирами в ксилоле). Диспергирование проводили в бисерных мельницах. Условную вязкость суспензий измеряли на приборе ВЗ-246 (воронка с размером сопла 4 мм). Контроль над процессом диспергирования осуществляли по изменению размеров агрегатов частиц порошка в получаемой суспензии, которые определяли с помощью оптического микроскопа в тонком слое образца, нанесенном на стекло. В готовой системе отсутствовали агрегаты частиц размером более 2 мкм. Изменение дисперсности твердой фазы сопоставляли с показателем магнитных свойств модельной системы - величиной K_p (коэффициент прямоугольности петли гистерезиса), которая возрастала в процессе диспергирования, достигая насыщения через 5-6 ч.

Магнитные характеристики модельных полимерных суспензий измеряли с помощью ферротестера TR 9808/A (Германия). Исследуемый образец помещали в измерительную катушку и сравнивали показатели петли гистерезиса образца и эталонной меры. Определяли следующие магнитные характеристики: коэрцитивную силу H_c (кА/м), магнитный поток Φ_s (Вб), намагниченность насыщения B_s (Тл), остаточную намагниченность B_r (Тл) и коэффициент прямоугольности петли гистерезиса $K_p = B_r/B_s$. Измерения проводили при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности 50-80%. Коэрцитивная сила порошка $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ составляла $H_c = 31$ кА/м.

Результаты и их обсуждение

Выбранные ПАВ отличаются строением углеводородного радикала и количеством оксиэтильных групп в молекуле (табл.1), поэтому представляло интерес исследовать влияние оксиэтильных групп и их количества на модифицирующее действие диспергаторов.

На рис. 1 (а, б) приведены изотермы адсорбции молекул СК и ОДА на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Для сравнения на рис. 1 (с) приведены изотермы адсорбции их оксиэтилированных аналогов в той же системе. Из экспериментальных изотерм адсорбции были рассчитаны значения посадочных площадок молекул ПАВ в плотном монослое $\omega_s = S/(N_A \cdot A)$ [5]. Установлено, что максимальная адсорбция СК и ОДА на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ равна, соответственно, $6 \cdot 10^{-6}$ и $10 \cdot 10^{-6}$ моль/м². Большая часть

монослоя ПАВ слабо связана с поверхностью и легко отмывается горячим растворителем в аппарате Сокслета. На поверхности остаются только необратимо адсорбированные молекулы СК и ОДА в количестве $0,7 \cdot 10^{-6}$ и $6,4 \cdot 10^{-6}$ моль/м², что составляет, соответственно, 12 и 64% от максимальной плотности монослоя.

Адсорбция СК ОЭ и ОДА ОЭ на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в тех же условиях намного меньше – плотность их монослоев примерно $1 \cdot 10^{-6}$ моль/м², (рис. 1с). Однако до 70% монослоя СК ОЭ и около 100% монослоя ОДА ОЭ состоит из необратимо адсорбированных молекул, т.е. оба оксиэтилированных ПАВ прочно удерживаются на поверхности твердой фазы.

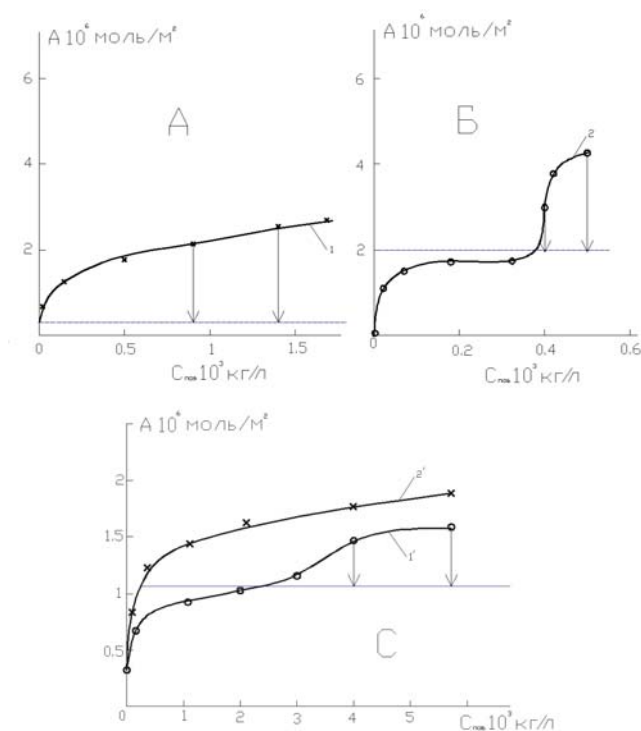


Рис.1. Изотермы адсорбции ПАВ на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ из растворов в толуоле: а – СК (1); б – ОДА (2); с – СК ОЭ (1') и ОДА ОЭ (2')

Для выяснения различий во взаимодействии с $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ исходных СК, ОДА и их оксиэтилированных аналогов использовали метод ИК-Фурье-спектроскопии [6]. Было установлено, что все ПАВ взаимодействуют со структурными ОН-группами поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, которые характеризуются полосой поглощения при 3700 см^{-1} . Помимо образования водородных связей, зафиксировано появление солеобразных поверхностных соединений при адсорбции СК (поглощение при 1510 и 1420 см^{-1}) и ОДА (поглощение при 1620 , 1545 , 1505 см^{-1}). После обработки модифицированного $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ горячим толуолом интенсивность этих полос поглощения практически не изменяется, что свидетельствует о хемосорбции СК и ОДА на оксиде железа.

По данным ИК-спектроскопии [7], СК ОЭ и ОДА ОЭ адсорбируются на поверхностных ОН группах $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с образованием только водородных связей; спектры ПАВ практически не изменяются после их адсорбции на оксиде. Похожие изменения в спектрах наблюдались при адсорбции других оксиэтилированных ПАВ на оксиде кальция, кремния и угля [8]. Таким образом, взаимодействие оксиэтилированных ПАВ с $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ происходит с образованием только водородных связей, а наблюдаемая необратимость адсорбции этих ПАВ обусловлена множественностью водородных связей между оксиэтилированной молекулой и

поверхностными ОН группами оксида. Согласно [8], такой вариант возможен в случае горизонтального расположения на поверхности модификатора с растянутой оксиэтильной цепью.

Ориентацию молекул ПАВ в адсорбционном слое можно оценить, сравнивая значения величины посадочной площадки молекулы в плотном монослое, полученные экспериментально ω_3 (из изотерм адсорбции) и рассчитанные теоретически ω_T для горизонтальной и вертикальной ориентации молекулы на поверхности (из геометрии молекулы с учетом взаимного расположения атомов, их радиусов и длин межатомных связей) [9]. Для СК и ОДА величины ω_T близки между собой и равны 20.5 и 86Å^2 для вертикальной и горизонтальной ориентации их молекул на поверхности, соответственно. Значения ω_T для молекул СК ОЭ и ОДА ОЭ, имеющих вертикальную и горизонтальную ориентацию, составляют примерно 75 и 250Å^2 . Таким образом, на 1 м^2 поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ при вертикальной ориентации может разместиться приблизительно $48 \cdot 10^{17}$ молекул ОДА или СК и $13,5 \cdot 10^{17}$ молекул СК ОЭ илди ОДА ОЭ. При горизонтальной ориентации молекул ПАВ на 1 м^2 поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ разместится $11,6 \cdot 10^{17}$ молекул СК или ОДА и $4 \cdot 10^{17}$ молекул СК ОЭ или ОДА ОЭ.

Из данных эксперимента (рис. 1) следует, что на 1 м^2 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ необратимо адсорбируется $38 \cdot 10^{17}$ молекул ОДА ($\omega_3 = 25\text{Å}^2$), $6 \cdot 10^{17}$ молекул ОДА ОЭ ($\omega_3 = 160\text{Å}^2$), $4 \cdot 10^{17}$ молекул СК и столько же молекул СК ОЭ ($\omega_3 = 250\text{Å}^2$).

Таким образом, плотность монослоев СК и оксиэтилированных ПАВ, необратимо адсорбированных на оксиде, невелика и их молекулы могут лежать на поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Поскольку размер молекул СК (М.в. 284 у.е.) и СК ОЭ (М.в. 1160 у.е.) значительно отличается, одинаковая плотность их модифицирующих слоев может достигаться, например, при горизонтальном расположении на поверхности оксиэтильной цепи, взаимодействующей с поверхностью оксида, и вертикальной ориентации углеводородного радикала C_{17} . Хемосорбированные молекулы ОДА, модифицирующие около 80% поверхности адсорбента, в плотном монослое будут иметь вертикальную ориентацию.

Различие в составе, плотности и текстуре адсорбционных слоев ПАВ на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ неизбежно будет отражаться на их модифицирующем действии, влиять на коллоидные и физико-химические свойства органосуспензий оксида, полимерных композитов на его основе [1].

На рис.2 приведены изотермы адсорбции на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ других оксиэтилированных соединений, широко используемых для модифицирования оксида железа в практике получения ферромагнитных композитов [3, 8]. Изотермы адсорбции эсполов, отличающихся количеством оксиэтильных групп в углеводородной цепи, и оксиэтилированных эфиров фосфорной кислоты (табл.1) удовлетворительно описываются уравнением Ленгмюра для мономолекулярной адсорбции. Судя по наклону изотерм в области малых концентраций ПАВ, наибольшая скорость адсорбции наблюдается у КД-6 и у Gafac RE-610. Эти диспергаторы образуют самые плотные монослои (рис.2, крив.5 и 4, соответственно). Предельная адсорбция эсполов на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ значительно меньше по величине (рис.2, крив. 1-3).

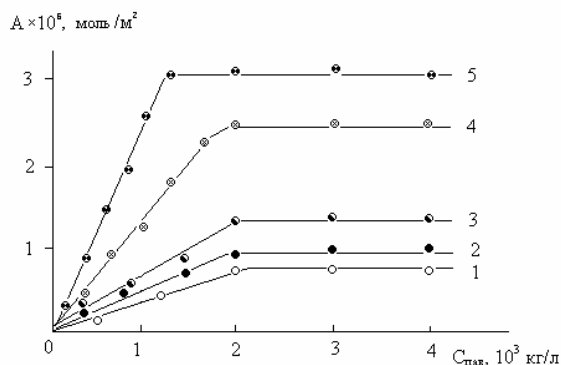


Рис. 2. Изотермы адсорбции на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ из растворов в толуоле ПАВ: 1 – эспол 13; 2 – эспол 10; 3 – эспол 5; 4 – Gafac; 5 – КД-6

Результаты расчетов посадочных площадок молекул ПАВ в плотных монослоях (ω_3) на поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, полученные из экспериментальных изотерм, приведены в табл.2.

Таблица 2. Адсорбция ПАВ на поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

ПАВ	Адсорбция A_{\max} , мкмоль/м ²	Число молекул на 1 м ² поверхности, $N \cdot 10^{-17}$	ω_3 , Å^2
КД-6	3,1	27,0	54
Gafac	2,4	18,0	69
Эспол 5	1,4	11,5	123
Эспол 10	0,9	4,1	185
Эспол 13	0,7	3,1	220

Как видно из табл.2, минимальную посадочную площадку имеет солеобразное соединение КД-6, которое может взаимодействовать как с кислыми, так и с основными центрами поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, образуя достаточно плотный адсорбционный слой. Gafac RE-610, являющийся моноэфиром фосфорной кислоты, имеет две свободные кислые OH группы, что способствует его более сильному взаимодействию с поверхностью $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ по сравнению с эсполами. Оба вида модификаторов (КД-6 и Gafac) с неразветвленными углеводородными радикалами адсорбируются на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ необратимо, образуя плотные монослои, в которых молекулы имеют ориентацию, близкую к вертикальной. Эсполы образуют менее плотные монослои. Их углеводородный радикал разветвлен и, тем самым, мешает адсорбции соседних молекул, создавая стерические затруднения при их адсорбции. В разреженном монослое молекулы эсполов могут полностью или частично лежать на поверхности. Поскольку посадочная площадка молекул эсполов увеличивается пропорционально числу оксиэтильных групп в их молекулах, можно предположить, что именно оксиэтильный радикал лежит на поверхности, образуя водородные связи с OH группами оксида. Таким образом, текстура монослоев всех эсполов на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ примерно одинаковая.

Различия в плотности и структуре монослоев различных поверхностных модификаторов не могут не сказаться на физико-химических свойствах органосуспензий модифицированного $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. На рис. 3-4 приведены зависимости предельного статического напряжения сдвига P_m от концентрации ПАВ, вводимых в модельные полимерные органосуспензии.

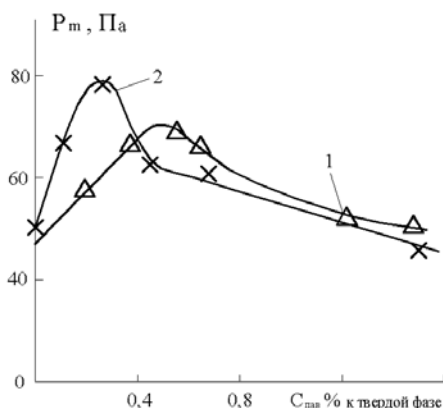


Рис.3. Зависимость предельного статического напряжения сдвига P_m в модельных суспензиях $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в растворе сополимера винилхлорида и винилацетата (VAGH) в смеси толуола и бутилацетата (5:1) от концентрации ПАВ: 1 – СК ОЭ; 2 – ОДА ОЭ

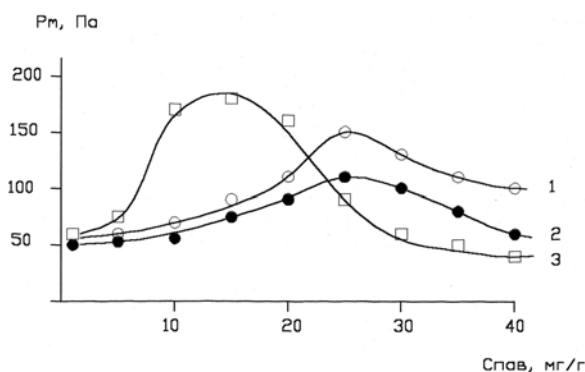


Рис. 4. Зависимость предельного статического напряжения сдвига P_m в модельных суспензиях $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в растворе сополимера трифторхлорэтилена с алкилвиниловым и гидроксилалкилвиниловым эфирами (ФПР) в ксилоле от концентрации ПАВ: 1 – Gafac RE-610; 2 – КД-6; 3 – эспол 5

Вид кривых $P_m = f(C_{\text{пав}})$ с выраженным максимумом характеризует процесс структурообразования в модельных полимерных суспензиях, который максимален при неполном покрытии дисперсной фазы адсорбционным слоем модификаторов [1-2]. Благодаря частичному модифицированию поверхности наполнителя (мозаичность поверхности [2,]) возможно взаимодействие его частиц как с полимерным связующим, так и друг с другом по немодифицированным участкам поверхности, с образованием цепочки, сетки и других коагуляционных структур. Аналогичный вид имеют кривые структурообразования в суспензиях с другими немагнитными наполнителями – оксидами кремния, титана и алюминия [2, 9]. Однако $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ часто используется в производстве магнитных материалов, для которых важны не только физико-механические, но и магнитные свойства. Как отмечалось в [3], магнитные свойства композитов тоже зависят от дисперсности твердой фазы, но достигают максимума, когда взаимодействие ферромагнитных частиц друг с другом минимально, и каждая из них может свободно ориентироваться в магнитном поле, внося свой вклад в магнитный поток.

На из рис. 5 сопоставлены данные по дисперсности частиц $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в модельных полимерных системах (размер частиц R) с их магнитными свойствами, характеризующимися коэффициентом прямоугольности петли гистерезиса $K_{\text{п}}$.

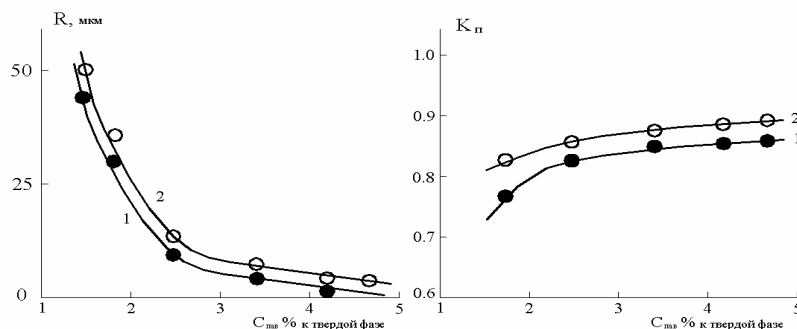


Рис. 5. Влияние концентрации ПАВ в суспензии $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в растворе ФРП в ксилоле на радиус частиц ферромагнетика R и коэффициент прямоугольности $K_{\text{п}}$: Gafac (1), КД-6 (2)

Как видно на рис. 5, дисперсность суспензии $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в растворе ФРП в ксилоле растет с увеличением концентрации обоих ПАВ. Минимальный радиус частиц и максимальные значения $K_{\text{п}}$ достигаются при значении 3,5-5% концентрации ПАВ к весу твердой фазы, когда поверхность магнитных частиц $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ полностью покрыта адсорбционным слоем модификатора. При концентрациях ПАВ в области максимума структурообразования ($C = 1\text{-}2\%$ к весу твердой фазы) магнитные свойства модельной системы несколько меньше. Избыток в системе молекул ПАВ, не связанных с поверхностью ферромагнетика, также нежелателен, т.к. приводит к ухудшению физико-химических свойств магнитных покрытий.

Данные о магнитных характеристиках модельных систем на основе суспензии модифицированного $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ($C_{\text{ПАВ}} = 4\%$) в растворе ФРП в ксилоле (время диспергирования 5 ч) представлены в таблице 3. Там же приведены сведения о вязкости модельных систем, которые необходимо учитывать при использовании магнитных суспензий для получения носителей магнитной записи [10-11].

Таблица 3. Физико-химические свойства суспензий модифицированного $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

ПАВ	Магнитные свойства				Условная вязкость $\eta_{\text{всл}}$, с.
	H_c (кА/м)	Φ_s (Гс)	B_s (Гс)	$K_{\text{п}}$	
КД-6	33	22,3	340	0,91	15,0
Gafac	33	22,0	330	0,88	14,0
Эспол 5	32	21,3	320	0,85	16,2
Эспол 10	32	21,0	320	0,87	17,0
Эспол 13	33	21,5	330	0,85	16,5

Как следует из данных в табл. 3, оптимальный комплекс физико-химических и эксплуатационных показателей имеют модельные системы на основе $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, модифицированного КД-6 и Gafac RE-610. Использование эсполов, слабо адсорбирующихся на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ при диспергировании суспензий, оказалось менее эффективным.

Таким образом, лучшими модификаторами $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ при создании ферромагнитных материалов являются оксиэтилированные ПАВ, необратимо адсорбирующиеся на поверхности оксида с образованием плотного монослоя типа «частокола Ленгмюра». Обнаружена корреляция между модифицирующим действием ПАВ и магнитными свойствами полимерных суспензий на основе $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Заключение

Исследована адсорбция на $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ поверхностно-активных модификаторов, отличающихся строением углеводородного радикала, количеством оксиэтильных групп и типом функциональности. Получены изотермы адсорбции оксиэтилированных ПАВ из неполярной органической среды, изучен состав и текстура модифицирующих слоев.

Установлено, что лучшими модификаторами для органосуспензий $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ являются хемосорбирующиеся ПАВ с неразветвленным оксиэтилированным радикалом. Плотность монослоев физически адсорбированных эсполов (оксиэтилированных алкилфенилфосфатов) значительно меньше и убывает пропорционально числу оксиэтильных групп в молекулах.

Исследовано влияние оксиэтилированных модификаторов на физико-химические свойства модельных суспензий $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в растворах полимеров. Обнаружена корреляция между модифицирующим действием ПАВ и магнитными свойствами полимерных суспензий на основе $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Список литературы

1. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1978. 368 С.
2. Толстая С.Н., Шабанова С.А. Применение поверхностно-активных веществ в лакокрасочной промышленности. Москва: Химия. 1976. 175. С.
3. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. М.: Высшая школа, 1991. 384 С.
4. Давыдов А.А. ИК-спектроскопия в химии поверхности окислов. Новосибирск: Наука. 1984. С. 232.
5. Строение и свойства адсорбентов и катализаторов: Пер. с англ./ Под ред. Б.Г. Линсена. М.: Мир, 1973. - 653 С.
6. Соснина С.А., Матросова Г.С., Толстая С.Н. Адсорбционные свойства магнитного γ -оксида железа различных марок // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 4. С.28-31.
7. Соснина С.А., Булгакова Р.А., Соколова Н.П. и др. Исследование состава модифицирующего слоя ПАВ на оксиде железа // Лакокрасочные материалы и их применение. 1994. № 2. С. 24-26.
8. Шенфельд Н. Поверхностно-активные вещества на основе оксида этилена. Москва: Химия. 1982. С. 749.
9. Парфит Г., Рочестер К. Адсорбция из растворов: Пер. с англ./ Под ред. Лыгина В.И. Москва: Мир. 1986. С. 13-32.
10. Василевский Ю.А. Носители магнитной записи. М.: Искусство, 1989. 287 С.
11. Матросова Г.С., Полунина И.А., Соснина С.А. Исследование свойств полимерных композиций с $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и Ni магнитными наполнителями // Материаловедение. 2003. № 12. С. 44-47.

Полунина Ирина Александровна – ведущий научный сотрудник, к.х.н., ИФХЭ РАН, Ленинский проспект 31, Москва, 119991. Тел./факс: (495) 955-46-90

Polunina Irina A. – senior researcher, Ph.D., Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, Moscow

Матросова Галина Степановна – научный сотрудник. ИФХЭ РАН, Москва, 11999

Соснина Светлана Афанасьевна – старший научный сотрудник, к.х.н., ИФХЭ РАН, Москва

Бобков Александр Александрович – студент Московского государственного строительного университета

Matrosova Galina S. - researcher, Ph.D., Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, Moscow

Sosnina Svetlana A. - seniour researcher, Ph.D., Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, Moscow

Bobkov Aleksandr A. – student of Institute of Moscow state architectural Academy, Moscow