

тальной размерности - df может быть использован для оценки интенсивности изнашивания МДО-покрытий и прогнозирования их износостойкости.

В последнее время появился ряд работ зарубежных и отечественных исследователей [5], в которых использована фрактальная модель шероховатости. Фрактальный подход подразумевает степенную зависимость функции спектра мощности от частоты, что в свою очередь обеспечивает наличие шероховатости на многих разных масштабах длин.

Задачей современного представления о механизме контакта деталей является:

- анализ основных моделей фрактальных процессов;
- анализ методов определения фрактальных характеристик;
- определение взаимодействия смоделированных фрактальных профилей поверхностей по заданным параметрам шероховатости при высокой плотности пятен контакта.

Выводы

Таким образом, представленный метод может быть использован для анализа условий актуальных поверхностей, имеющих фрактальность, таких как поверхности различных материалов, обработанных механически или химически.

Подводя итоги, можно сделать выводы о том, что необходимо разработать новые подходы в оценке шероховатости поверхности (по крайней мере, в отношении определенной группы поверхностей). Одним из возможных направлений поиска таких подходов является использование теории фракталов, а в качестве оценочного количественного параметра – фрактальной размерности D . Такой подход позволит оценить шероховатость поверхности независимо от формы ее элементов и плотности их распределения, что придаст бы такой оценке свойства универсальности.

Литература

1. Труханов В.М., Зубков В. Ф., Крыхтин Ю. И., Желтобрюхов В. О. Трансмиссии гусеничных и колесных машин. М.: Машиностроение, 2001. 736 с.
2. Вячеславова О.Ф. Анализ обработанных поверхностей с помощью фрактальных изображений и фрактальных размерностей /В ж. «Автомобильная промышленность», №3.- М.: Машиностроение, 2005, 36-38
3. Оксогоев А.А. Фракталы. Инженерные приложения в материаловедении. Фракталы и прикладная синергетика 2005: Сб. статей. – Москва: Издательство Интерконтакт – Наука, 2005. – С. 71-82.
4. Малышев В.Н. Оценка износостойкости покрытий, формируемых микродуговым оксидированием, по параметрам фрактальности. Фракталы и прикладная синергетика 2005: Сб. статей. – Москва: Издательство Интерконтакт – Наука, 2005. С. 126-128
5. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 383 с.

Концепции механизма фильтрационной очистки с позиций проявления короткодействующих и дальнедействующих сил захвата примесей

д.т.н., проф., Сандуляк А.В., к.т.н., доц., Сандуляк А.А., Ершова В.А.
МГТУ «МАМИ»

Короткодействующая сила, концепция «отложение-срыв»

В практике очистки жидкостей и газов широкое применение получили насыпные фильтры, в которых основным рабочим органом является та или иная гранулированная (зернистая) среда.

Наиболее объективным аналитическим подходом для характеристики процесса фильтрационной очистки (или, как еще именуют, – фильтрационного осветления) принято считать подход, основывающийся на совместном рассмотрении двух одновременно начинающихся и параллельно протекающих взаимно конкурирующих процессов (рис. 1а) [1,2].

Один из них, целевой – это процесс осаждения (отложения) примесей на вакантных или уже покрытых примесями участках поверхностей гранул или зерен фильтрующей среды-засыпки, являющейся неупорядоченной матрицей, поддающейся, тем не менее, среднестати-

стическому упорядочению в виде специфичных ячеек [3-5]. Другой, препятствующий целевому процессу осаждения и прогрессирующий во времени, – это процесс срыва (при этом зачастую не совсем верно добавляют – уже осевших) примесей.

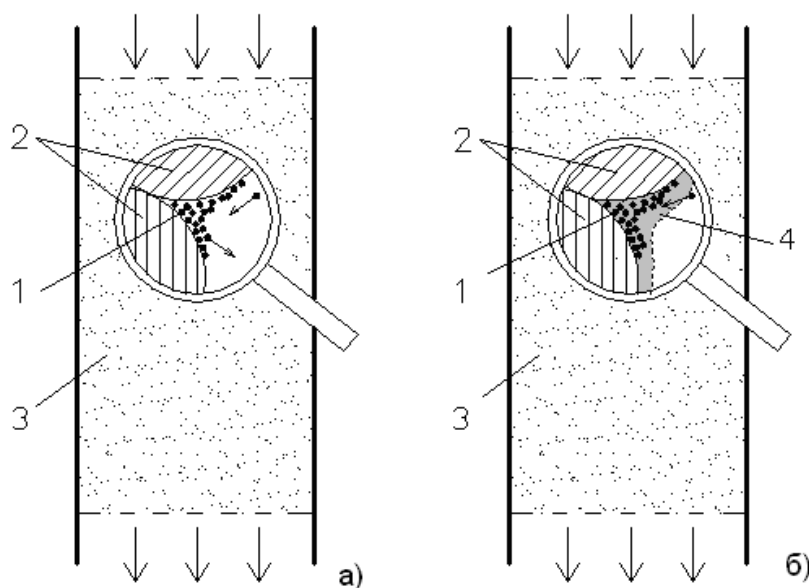


Рис. 1. Осадок частиц 1 на гранулах 2 фильтр-матрицы 3 в условиях, когда силы захвата и удержания частиц: а) короткодействующие, допускающие одновременный срыв частиц, особенно при их послойном осаждении; б) дальнодействующие, способные создавать объемно-активные зоны (ловушки) 4 между контактирующими гранулами (на рисунке одна из таких зон оттенена).

Что касается основного из этих процессов – процесса осаждения – то во многих случаях фильтрационной очистки он обусловлен адгезией (проявлением ван-дер-ваальсовых сил взаимодействия частиц с гранулами-зернами и подобными частицами), а также чисто механическим задержанием частиц в узких щелях в окрестности точек контакта гранул-зерен [1,2]. При этом для более полного понимания сути процессов, происходящих при фильтрационной очистке, а главное, – для выявления и реализации возможности дальнейшего углубления представлений о различных случаях такой очистки (с разработкой новых моделей механизма очистки) необходимо отметить следующее важное обстоятельство.

Ван-дер-ваальсовые силы, являющиеся ключевыми силами захвата примесей при традиционной фильтрационной очистке, имеют ту принципиальную особенность, что проявляют себя на расстояниях, сопоставимых с собственными размерами осаждаемых частиц, т.е. лишь в непосредственной (вплоть до контакта) близости частицы к осаждающей поверхности гранулы или к уже осевшим частицам. В этом смысле ван-дер-ваальсовые силы удобно именовать «короткодействующими».

Для обеспечения же возможности проявления этих, решающих здесь (ключевых при захвате и удержании частиц) сил адгезии важную функцию выполняют инерционные и гравитационные силы [1,2]. Будучи своего рода «дальнодействующими», т.е. проявляющими себя далеко за пределами поля короткодействующих сил адгезии, эти «вспомогательные» силы способствуют доставке частиц к осаждающим поверхностям (гранул фильтр-матрицы и/или уже осевших частиц), т.е. их доставке непосредственно в поле короткодействующих сил адгезии. Вместе с тем, эти вспомогательные силы как не предназначенные для обеспечения самого захвата частиц (опять-таки при фильтрационной очистке) уточненно можно именовать дальнодействующими силами дрейфа (но не захвата) частиц¹ в фильтр-матрице.

¹ В самом общем случае речь может идти не только о фильтрационной очистке, а и об очистке в аппаратах, работающих на принципе действия гравитационных и инерционных, в том числе центробежных, сил (горизонтальные и вертикальные отстойники, жалюзийные, камерные, ротационные, вихревые аппараты, циклоны, центрифуги и пр.). В таком случае эти силы выступают в качестве и сил дрейфа, и сил захвата (осаждения) частиц.

Что же касается антагонистического процесса срыва частиц-примесей, то необходимо заметить, что существующие представления о нем необоснованно ограничены. Его следует понимать не только как вполне очевидный в таком случае, интенсифицирующийся во времени гидро (газо) динамический срыв уже осевших частиц, особенно после накопления определенного количества осадка и перекрытия значительной части проходного сечения пор.

В более широком смысле процесс срыва должен квалифицироваться также с учетом других, менее очевидных, но реальных факторов. В дополнение к сказанному – это и обменное взаимодействие за счет эффекта бильярда, т.е. выбивания уже осевших частиц вновь поступающими (и осаждающимися) частицами, обладающими кинетической энергией, превышающей потенциальную энергию сцепления осевших частиц с поверхностью осаждения. Кроме того, это и взаимная конкуренция частиц «за место» на поверхности осаждения. Здесь имеется в виду конкуренция «на опережение», довольно жесткая конкуренция при стесненно-разупорядоченном осаждении сталкивающихся между собой частиц (в случае большой концентрации) с неблагоприятным изменением их скоростей и траекторий, вынужденный проскок частиц из-за отсутствия вакантных участков поверхностей осаждения.

Другими словами, срыв частиц должен квалифицироваться не только в буквальном смысле, но и как не состоявшийся захват, т.е. квазисрыв.

Давая общую оценку рассматриваемой здесь общепринятой концепции «отложение-срыв» частиц (даже без уточненного выше понятия срыва), следует признать ее как одну из основополагающих. Она позволяет создать соответствующую стройную модель фильтрационной очистки с достаточно проработанной теоретической базой, получить и решить (в частности, используя численные методы) соответствующие дифуравнения, связывающие основные параметры процесса очистки [1,2] (но специально оговорим здесь – в рамках ключевого фактора адгезии). В числе этих параметров – концентрация примесных частиц во взвешенном потоке и удельная масса осадка этих частиц q на поверхностях гранул-зерен в любом поперечном «срезе» фильтр-матрицы на том или ином расстоянии x от ее входной поверхности и в любой момент времени t протекания процесса [1,2].

И, тем не менее, теоретические положения и решения, основывающиеся на этой модели (напомним – с базовой концепцией практически одновременного начала и совместного протекания взаимодействующих процессов отложения и срыва частиц), нельзя считать в достаточной мере общими, охватывающими все случаи фильтрационной очистки. Если принять к сведению тот неоспоримый факт, что они справедливы только в случае проявления короткодействующих адгезионных сил захвата, то одновременно следует признать их всего лишь частными, вряд ли пригодными для случая проявления другого рода сил захвата, например дальнедействующих, к которым относятся магнитные силы захвата [3-5].

Более того, попытка уйти от очевидного частного характера самой концепции «отложение-срыв» и соответствующей модели с присущими ей теоретическими положениями и решениями путем введения как бы вполне достаточных корректирующих дополнений и уточнений (что обычно делается в подобных случаях) здесь также вряд ли уместна. Так, с позиций возможной главенствующей роли дальнедействующих сил захвата частиц сам принцип концепции «отложение-срыв», казавшийся справедливым во всем временном интервале осуществления фильтрационной очистки, становится просто несостоятельным.

Бесспорно, требуется принципиально иной подход, учитывающий специфику временного захвата и удержания частиц в фильтр-матрице под влиянием именно дальнедействующих сил, и соответствующая ему принципиально иная (естественно, обязательно экспериментально обоснованная) физическая модель фильтрационной очистки с необходимыми теоретическими положениями и решениями [3-5].

Дальнедействующая магнитная сила. Концепция «накопление-отключение»

Существует довольно представительный класс фильтров – магнитных фильтров, работа которых, в отличие от большинства насыпных фильтров с присущими для них ключевыми короткодействующими силами захвата (силами адгезии), основана на проявлении действительно иного рода сил, которые, как это уже отмечено выше, следует отнести к разряду так

называемых дальнедействующих. Аргументом для такого определения является основная отличительная особенность этих ключевых сил, ответственных и за дрейф, и за сам захват (с последующим удержанием) частиц в поровых каналах фильтр-матрицы: их действие распространяется на расстояния, намного превышающие собственные размеры осаждаемых частиц, т.е. далеко за пределы действия сил адгезии.

Речь идет здесь о магнитных силах².

В поровых каналах фильтр-матрицы, которая, будучи ферромагнетиком (ферриманетиком, антиферромагнетиком), находится в условиях воздействия магнитного поля, эти силы достаточно влиятельны во всем поровом объеме, увеличиваясь по мере приближения к поверхностям гранул или, что более объективно (в соответствии с ориентацией градиента поля), по мере вхождения в клинообразные зоны между гранулами. В этих зонах магнитные силы наиболее результативны, причем даже на таких расстояниях (от поверхностей гранул или точек контакта гранул), которые на 2...3 порядка превышают собственные размеры осаждаемых частиц [3-5].

А это в корне меняет сам концептуальный взгляд на процесс фильтрационной очистки, конечно же, – именно в поле дальнедействующих сил захвата.

С учетом выявленных характеристик [3-5,7], касающихся особенностей намагничивания гранулированной фильтр-матрицы, топографии поля (напряженность и/или индукция, ее градиент, силовой фактор), локализации зон захвата, возникла и получила теоретико-экспериментальное развитие совершенно иная концепция процесса фильтрационной очистки, которая выходит за рамки классической концепции «отложение-срыв». Ее суть, лежащая в основе новой физической модели временной фильтрационной очистки (уточним – в поле дальнедействующих сил захвата), сводится к следующему [3-5].

Первое. Поверхности многочисленных поровых каналов намагничиваемой фильтрующей матрицы обладают специфичным свойством: не сплошного, а избирательного («пятнистого») осаждения частиц – преимущественно на околоконтактных участках поверхностей клинообразно-кольцевых зазоров (рис.1б), где так называемый магнитный силовой фактор поля особенно высок, а скорость взвесенесущего потока ослаблена. Здесь, между контактирующими гранулами, образуются, хотя и локальные, но сравнительно объемные эффективные зоны захвата, способные к многослойному накоплению поступающих в них частиц³ (феррочастиц), обладающих магнитно-восприимчивыми свойствами.

Второе. Попадая в пустые или частично заполненные зоны захвата как своеобразные объемы-ловушки, феррочастица непременно осаждается (тем более, что по мере углубления в зону захвата магнитный силовой фактор многократно увеличивается по сравнению с его значением на «пороге» этой зоны), при этом лишаясь возможности выхода наружу этой зоны, т.е. срыва и возврата в поток. Следовательно, для такой зоны захвата, которая является гарантированным накопителем феррочастиц, фактор послойного осаждения частиц (обычно способствующий интенсификации процесса срыва частиц при традиционной фильтрационной очистке) становится несущественным вплоть до полного накопления феррочастиц в объеме этой зоны.

Третье. После полного накопления феррочастиц в объеме эффективной зоны захвата вся эта «укомплектованная» зона практически перестает участвовать в процессе захвата частиц, «выключаясь» из работы. Возможны лишь некоторая принудительно-силовая «доуком-

² К дальнедействующим относятся, конечно же, и электрические силы, являющиеся ключевыми в традиционных аппаратах электрической очистки (правда, в отсутствие у них фильтрационного принципа очистки). Они являются ключевыми и в так называемых сегнетоэлектрических фильтрах (работающих именно на фильтрационном принципе очистки), в которых используется подвергаемая воздействию электрического поля гранулированная фильтр-матрица с повышенной диэлектрической проницаемостью [6].

³ Если сам объем захвата рассеять плоскостью, в частности, наподобие того, как это показано на рис.1б, только нормально направлению взвесенесущего потока, то получится некоторое сечение этого «неотпускающего» (абсолютно эффективного) объема. Его можно назвать эффективным сечением [3-5] – по аналогии с понятием так называемого эффективного сечения ядер атомов, широко используемым в ядерной физике при характеристике захвата ядрами элементарных частиц.

плектация» зон захвата более крупными частицами и частицами с повышенной магнитной восприимчивостью (в том числе сопровождающаяся вытеснением высокодисперсных и слабомагнитных частиц), а также незначительная взаимная обменная миграция частиц, находящихся вблизи «порога» зоны захвата: из этой зоны в поток и наоборот. Это обусловлено спецификой реально существующего, но не строго четкого «порога» зоны захвата (из-за объективного различия самих частиц), даже при прочих фиксированных параметрах очистки.

Четвертое. Объем эффективной зоны захвата и совокупный объем эффективных зон, принадлежащих каждой из ячеек фильтр-матрицы (эффективный объем ячейки), очень малы по сравнению с объемом поры в ячейке. Следовательно, после самоотключения эффективной зоны (а применительно к ячейечной структуре – после самоотключения эффективного объема ячейки) почти не создаются препятствия для транзитного прохождения через постаккумулятированную ячейку потока с частицами; та или иная их часть будет осаждаться в эффективных зонах последующих ячеек.

Пятое. По мере заполнения феррочастицами объемов эффективных зон захвата происходит поочередное (веерное) самоотключение отработанных зон: сначала в первых (буферных), а затем в последующих ячейках фильтрующей матрицы. При этом сразу же после отключения самих буферных ячеек (при $\tau > \tau_1$, где τ_1 – время заполнения эффективного объема буферной ячейки) процесс отключения последующих ячеек интенсифицируется из-за соответствующего смещения фронта входной концентрации примесей вглубь фильтр-матрицы.

Таким образом, при $\tau > \tau_1$ по сути происходит сокращение технологически активной длины фильтр-матрицы с «изоляцией» осадка примесей в постаккумулятированных объемах-ловушках ячеек [3-5]. Именно это обстоятельство обуславливает начало и последующее развитие временного увеличения (повторим – при $\tau > \tau_1$) выходной концентрации c , а значит, – повышения показателя проскока p и снижения эффективности очистки ψ [3-5].

Стало быть, внешними признаками типичной временной характеристики процесса фильтрационной очистки в поле дальнедействующих сил захвата (естественно – при стабильной входной концентрации примесей) является выраженный двухстадийный, а именно стационарно-нестационарный режим. Так, на протяжении определенного периода времени $0 \leq \tau \leq \tau_1$ (первая стадия) такие параметры как выходная концентрация c , показатель проскока p и эффективность очистки ψ сохраняются стационарными, соответствующими аналогичным параметрам для чистой (только запущенной в работу, т.е. без наличия осадка примесей) фильтр-матрицы. И только после этого, т.е. при $\tau > \tau_1$ (вторая стадия), начинается и развивается описанный выше нестационарный режим: увеличение выходной концентрации c , повышение показателя проскока p и снижение эффективности очистки ψ .

Двухстадийный, стационарно-нестационарный режим фильтрационной очистки является одним из принципиальных следствий (и внешних проявлений) рассматриваемой здесь концепции «накопление-отключение» зон захвата (применительно к ячейечной структуре фильтрующей матрицы – «накопление-отключение» эффективных объемов ее ячеек). Оно является специфичным на фоне того общепринятого и, конечно же, формально справедливого мнения, что протекающий во времени процесс фильтрационной (как и любой другой) очистки в самом общем случае и в неограниченном временном интервале является нестационарным. Попросту говоря, он должен начинаться с определенного результата работы чистой фильтр-матрицы и (без детализации временной кинематики процесса) завершаться в итоге нулевым результатом очистки вследствие исчерпания ее сорбционного ресурса.

Механизм модели «накопление-отключение» зон захвата (эффективных объемов ячеек фильтр-матрицы) и связанные с ним особенности временных зависимостей характеристических параметров МФ-очистки более подробно рассмотрены в [3-5].

Выводы

1. Общепринятую концепцию «отложение-срыв» следует считать справедливой лишь для случая фильтрационной очистки в поле короткодействующих сил захвата примесей.
2. Основой для анализа механизма фильтрационной очистки в поле дальнедействующих (например, магнитных) сил с характерным стационарно-нестационарным видом вре-

менных зависимостей является концепция «накопление-отключение».

Литература

1. Водоподготовка. Процессы и аппараты. Под ред. О.И. Мартыновой. М.: Атомиздат, 1977.
2. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат, 1964.
3. Сандуляк А.В. Магнитно-фильтрационная очистка жидкостей и газов. М.: Химия, 1988.
4. Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле. Львов: Вища школа (изд-во при Льв.ун-те), 1984.
5. Сандуляк А.В. Новое в технике и технологии физических методов очистки жидкостей и газов. К.: Вища школа, 1989.
6. Sandullyak A.V., Garaschenko V.I., Yatskov N.V. Separator for Separating Fluid Media from Minute Particles of Impurities. US Patent 4492633, 1985.
7. Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Ершова В.А. Кривая намагничивания гранулированной среды-засыпки с позиций модели поканального намагничивания (новый подход). – Доклады АН, 2007, т. 413, № 4, с. 469-471.

Характерные размеры ферропримесей рабочих сред (по первичным данным гистограмм)

к.т.н., доц., Сандуляк А.А., Ершова В.А., д.т.н., проф., Сандуляк А.В., Пугачева М.Н.
МГТУ «МАМИ»

Жидкие, газообразные и сыпучие среды многих производств (как отработанные, так и технологические) содержат различного рода примеси, в которых значительной, зачастую доминирующей, является фракция ферропримесей, т.е. примесей, обладающих ферромагнитными (ферримагнитными) свойствами. Как правило, объективными и, к сожалению, трудноустраняемыми источниками таких примесей является износ и коррозия оборудования (усиливаемые механическим, химическим и термическим воздействием на оборудование и находящиеся в нем рабочие среды), процессы измельчения (дробления, размола), последствия ремонта и обслуживания оборудования и пр.

Эти примеси, снижая качество и сортность сред, нарушая их нормативные показатели, загрязняя окружающую среду, продукты питания и пр., являются не только вредным производственным и экологическим фактором. Такие примеси зачастую выступают и весьма опасным производственным и экологическим фактором, способным резко снизить надежность работы оборудования, дестабилизировать производство, вплоть до нарушения условий безопасности и создания чрезвычайных ситуаций [1] (например, выход из строя и аварийная остановка оборудования). К тому же, наряду с нередкими случаями такого рода чрезвычайных ситуаций, наблюдаются также случаи прямого нарушения экологической безопасности продуктов питания и создания угрозы здоровью человека.

В качестве показательного примера на рис. 1 приведены иллюстрации как вредных (сравнительно мелких, постоянно присутствующих в среде) ферропримесей, так и опасных ферровключений (сравнительно крупных, периодически поступающих в среду). Та и другая «группа» примесей извлечена из специально созданных магнитных сепараторов решетчатого типа, установленных в технологической линии приготовления шоколадной массы.

Одной из их основных характеристик, необходимых для выбора очистного устройства и режимов его работы, является информация о размерах δ ферропримесей. Весьма показательны в этом плане соответствующие гистограммы распределения примесей по размерам δ . И в подобных случаях обычно приводится графическая информация (в виде гистограмм, точечных диаграмм) о «количественном представительстве» частиц N_i (N_i/N) тех или иных размеров δ_i (интервала размеров) в общем количестве частиц N .

На рис. 2 показаны такие гистограммы применительно к ферропримесям сахара, используемого в технологии производства кондитерских изделий. Видно, что по такому тривиальному параметру, как поинтервальное количество частиц (абсолютное N_i или относительное N_i/N), явно преобладают (до 70%) частицы сравнительно малых размеров – менее 1мм.

Однако такого рода гистограмма (рис. 2), хотя и дает четкое представление о спектре