

УДК 532.72.001.572

В.Д.Вернигора

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАССООТДАЧИ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ МАСЕЛ И ОСТАТКОВ СОЖ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Введение. Не возобновляемые природные ресурсы ограничены. Поэтому при современном уровне развития техники большое значение имеет комплексное использование минерального сырья и вовлечение в народное хозяйство новых его видов. Комплексному использованию сырья и разработке безотходных экологически чистых технологий посвящены исследования многих авторов [1-3].

Одним из этих путей является широкое использование порошковых материалов из металлических отходов, образующихся на машиностроительных предприятиях.

Получение порошков из шлифовальных шламов быстрорежущих, инструментальных высокохромистых, подшипниковых сталей включает селективный сбор шламов, их очистку от смазочно-охлаждающей жидкости, сепарацию абразивных частиц, восстановительный отжиг и прессование по специальной технологии, спекание. На примере шлифовальных шламов особенно явно демонстрируется ресурсосберегающий и природоохранный потенциал порошковых технологий: шламы, вывозимые на свалки в объеме до 1 млн. тонн благодаря порошковой технологии вовлекаются в металлооборот. Устраняется ущерб, наносимый природной среде. Для получения металлического порошка из шламов абразивной обработки металлов автором разработан новый способ. Использование этого способа обеспечивает повышение эффективности переработки металлосодержащих шламовых отходов независимо от степени их загрязненности смазочными маслами, СОЖ и т.п.

Постановка задачи исследований. Целью работы является теоретическое определение коэффициентов массоотдачи процесса отделения масел и остатков СОЖ от твердых частиц шлама абразивной обработки металлов, которые необходимы для

определения габаритных размеров моющего жёлоба и получения твердых частиц необходимой чистоты.

Методика исследований. В процессе мойки шлама абразивной обработки металлов в движущемся моющем потоке происходит перенос вещества (масла, СОЖ) с поверхности раздела фаз в глубину моющего раствора. Перенос вещества в направлении, где концентрация его меньше под действием беспорядочного теплового движения молекул, называется диффузией. Механизм диффузии в жидкостях состоит в том, что отдельные молекулы вырываются из данного окружения молекулами жидкости и скачками переходят в среду других частиц жидкости (рисунок 1).

Массопередача на границе твердое тело – жидкость математически описывается следующим образом.

Количество вещества, перенесенного со стороны твердого тела, в соответствии с законом Фика может быть определено по формуле:

$$dG = -D \frac{\partial C}{\partial x} \cdot dF \cdot d\tau, \quad (1)$$

где G - масса вещества, проходящего через поверхность F , кг;

F - площадь межфазовой поверхности, м²;

τ - время мойки шлама, сек;

$\frac{\partial C}{\partial x}$ - градиент концентрации, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{м}}$;

D - коэффициент диффузии, м²/с.

Знак минус в правой части уравнения (1) показывает, что в направлении перемещения вещества концентрация убывает.

Точно такое же количество загрязнений переносится от поверхности раздела фаз в жидкую фазу, которое можно охарактеризовать, используя уравнение массоотдачи, предложенное А.Н. Щукаревым [4]:

$$G = \beta(C_H - C) \cdot F \cdot \tau, \text{ кг}, \quad (2)$$

где β - коэффициент массоотдачи, м/с;

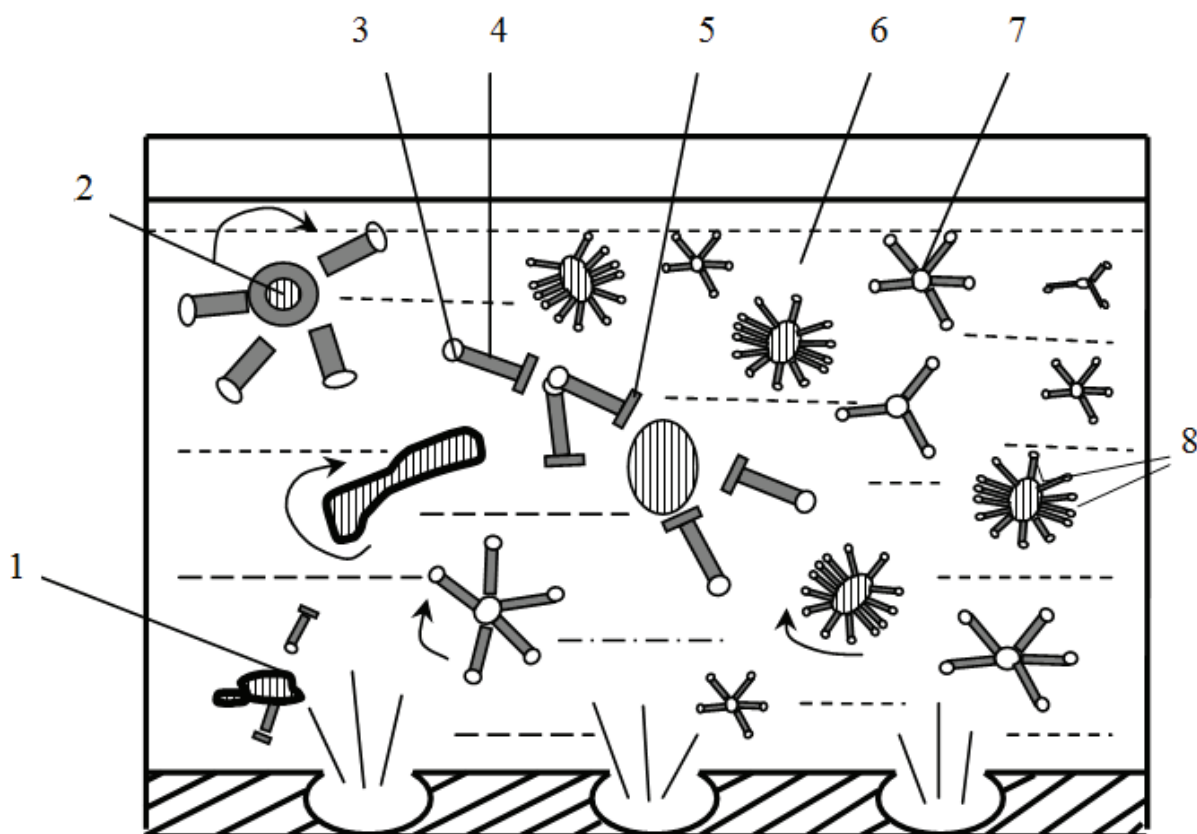
G - масса вещества, что переходит от твердого тела в жидкую в единицу времени, кг;

τ - время, сек;

C_H - концентрация насыщенного моющего раствора на границе раздела фаз, кг/м³;

C - фактическая концентрация вещества в центре потока на данный момент времени, кг/м³;

F - площадь межфазовой поверхности, м^2 .



- 1 – загрязнение;
- 2 – твердая частица;
- 3 – гидрофобная часть молекулы ПАВ (радикал);
- 4 – гидрофильная часть молекулы ПАВ;
- 5 – перевод части загрязнения в раствор;
- 6 – мощный раствор;
- 7 – частица загрязнения;
- 8 – адсорбция молекул ПАВ на очищенной твердой частице.

Рисунок 1 - Схема процесса отделения масел и остатков СОЖ от твердых частиц

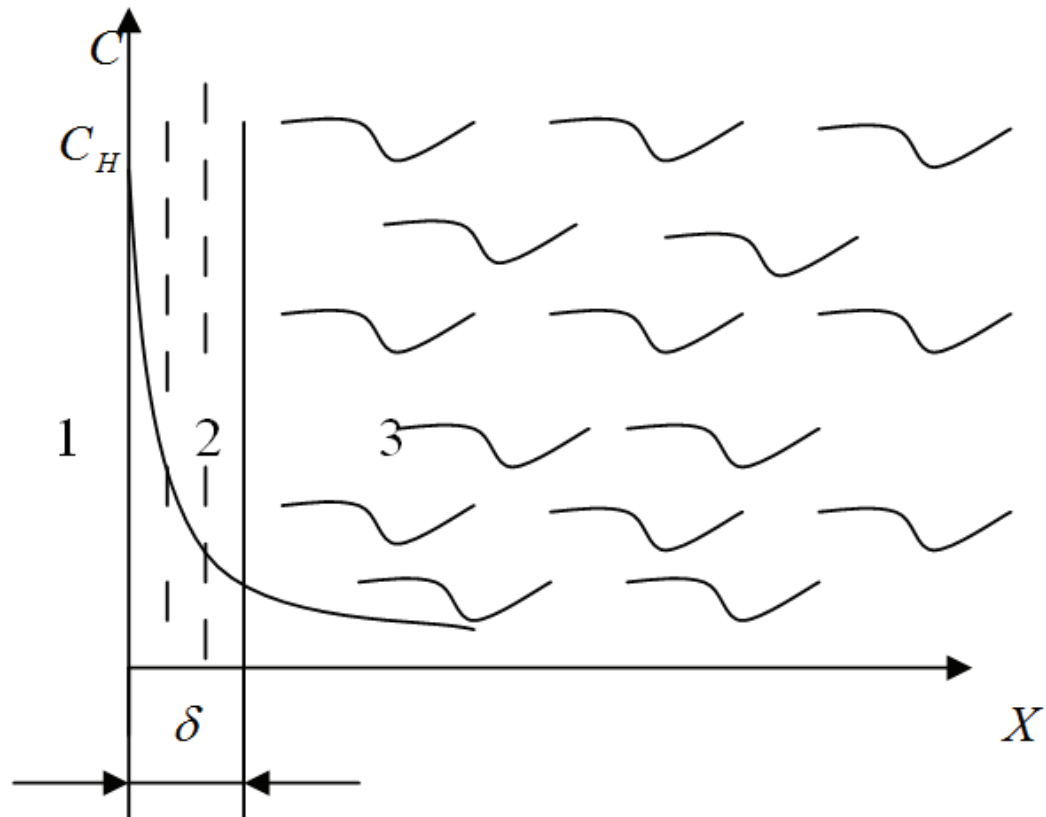
Приравнивая правые части уравнений (1) и (2) получим следующую зависимость:

$$\beta(C_H - C) = -D \frac{\partial C}{\partial x}. \quad (3)$$

Данное уравнение характеризует массообмен на границе „Твердое тело – жидкость”.

Пленочная теория массоотдачи состоит в том, что при движении одной фазы относительно другой на границе раздела фаз со стороны каждой фазы (кроме твердой фазы) образуется диффузионный

пограничный слой. Перенос вещества через этот слой происходит в виде молекулярной диффузии, скорость которой значительно меньше скорости конвективной диффузии, имеющей место в остальном потоке жидкости. Следовательно, уменьшение концентрации в жидкой фазе будет происходить в пограничном слое (рисунок 2).



- 1-твердая фаза;
- 2-диффузионный слой;
- 3-основной поток.

Рисунок 2 – Распределение концентраций в пограничном слое со стороны жидкой фазы

Тогда величину массоотдачи можно выразить молекулярной диффузией:

$$\beta = \frac{D}{\delta}, \quad (4)$$

где δ - толщина пограничного слоя, м.

Согласно классическим представлениям физико-химической гидродинамики вблизи поверхности твердого тела, находящегося в движущемся потоке жидкости, в пределах пограничного слоя происходит резкое изменение скорости потока – от больших значений на внешней границе этого слоя (т.е. в объеме жидкости) до нуля у поверхности твердого тела [4].

Основываясь на распространённой гипотезе Прандтля, можно считать, что в области δ движение жидкости носит ламинарный характер, оно вызвано молекулярной диффузией.

Что касается величины толщины пограничного слоя δ , то она зависит от размера твердой частицы d и числа Рейнольдса Re [5]:

$$\delta = \frac{d}{\sqrt{Re}}, \text{ м.} \quad (5)$$

Критерий Рейнольдса Re характеризует режим движения жидкости и является мерой отношения сил инерции и сил вязкости в потоке. Критерий Re можно определить по формуле [6]:

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu}, \quad (6)$$

где v - скорость движения жидкости, м/с;

R - характерный (определяющий) линейный размер потока жидкости, гидравлический радиус, м;

ν - кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

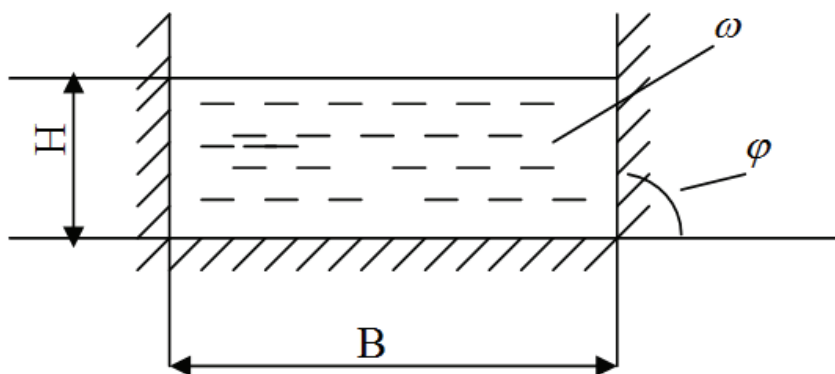
В нашем случае для осуществления процессов мойки и транспортирования шлама в потоке моющего раствора используется открытый жёлоб с прямоугольным поперечным сечением (рисунок 3).

Гидравлический радиус R определяем по формуле:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \text{ м,} \quad (7)$$

где ω - площадь живого сечения потока моющего раствора в жёлобе с прямоугольным сечением, м²;

χ - смоченный периметр, м.



B - ширина моющего жёлоба, м;

H - глубина наполнения моющим раствором жёлоба, м;

ω - площадь живого сечения потока жидкости, м².

Рисунок 2 – Моющий жёлоб с прямоугольным поперечным сечением

Площадь живого сечения для жёлоба с прямоугольным сечением, согласно рисунку 2, определяется по формуле:

$$\omega = B \cdot H, \text{ м}^2. \quad (8)$$

А смоченный периметр χ открытого жёлоба с прямоугольным сечением определяется по формуле:

$$\chi = B + 2H. \quad (9)$$

Тогда, подставив уравнения (7), (8), (9) в зависимость (6), получим формулу для определения числа Рейнольдса Re для потока моющего раствора с использованием открытого жёлоба с прямоугольным сечением:

$$Re = \frac{v \cdot \omega}{\chi \cdot \nu} = \frac{v \cdot H \cdot B}{(B + 2H) \cdot \nu}. \quad (10)$$

Исходя из того, что аналитическое решение системы дифференциальных уравнений, что характеризуют процесс перенесения массы с поверхности твердого тела в моющий раствор затруднительно, то решение данной задачи можно осуществить, используя теорию подобия диффузионных процессов.

Критерий подобия Нуссельта, определяемый из соотношения (3), характеризует интенсивность процесса массоотдачи [4]:

$$Nu' = \frac{\beta \cdot \delta}{D}, \quad (11)$$

где β - коэффициент массоотдачи, м/с;

δ - толщина пограничного слоя, м;

D - коэффициент диффузии, м²/с.

Методами теории подобия может быть получена основная форма зависимости между критериями подобия для различных видов массоотдачи.

Критериальное уравнение стационарного процесса при вынужденном движении потока жидкости имеет следующий вид [4]:

$$Nu' = f(Re, Pr). \quad (12)$$

Эта зависимость обычно представляется в виде степенной функции:

$$Nu' = A Re^n Pr^m. \quad (13)$$

Диффузионный поток Прандтля характеризует взаимосвязь концентрационных и скоростных полей в потоке жидкости и определяется по формуле:

$$Pr = \frac{\nu}{D}. \quad (14)$$

Конкретные значения коэффициентов A, B, m, n - устанавливаются на основании экспериментов. Так как, исследуемая температура моющего раствора изменяется в пределах от 20 до 45 °С, число Прандтля можно принять равным $Pr \Rightarrow 1$.

Критерий Nu' будет зависеть только от величины критерия Re :

$$Nu' = m Re^n. \quad (15)$$

Прологарифмируем уравнение (15) и получим следующее соотношение:

$$\lg Nu' = \lg m + n \lg Re. \quad (16)$$

Введем обозначения: $\lg Nu' = y$, $\lg Re = x$, $\lg 0 = A$, тогда:

$$y = A = nx. \quad (17)$$

Это выражение является уравнением прямой линии. Показателем степени является величина $tg\varphi$ - угол наклона прямой к оси абсцисс.

$$n = tg\varphi = \frac{a}{b}. \quad (18)$$

Постоянную величину m определяем из уравнения (15):

$$m = \frac{Nu'}{Re^n}. \quad (19)$$

Тогда коэффициент массоотдачи можно определить из соотношения:

$$\beta = \frac{Nu' \cdot D}{\delta} = \frac{m \cdot Re^n \cdot D}{\delta} = \frac{m \cdot Re^n \cdot 4G}{(C_H - C) \cdot \pi d^2 \cdot \tau}, \text{ м/с.} \quad (20)$$

Выводы. Разработана методика определения коэффициента массоотдачи процесса отделения масел и остатков СОЖ от твердых частиц происходящего в открытом желобе с прямоугольным сечением.

Получена математическая зависимость, позволяющая определить коэффициенты массоотдачи, что позволяет определить время мойки шлама, габаритные размеры моечного желоба установки по переработке металлосодержащих шламов для получения необходимой чистоты металлических частиц и частиц абразива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куделя А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов. УССР. – Киев: Наук. думка, 1984 – 495 с.
2. Падалко О.В., Левицкий Ю.В. Получение порошков из отходов машиностроительных и металлургических производств. // Итоги науки и техники. Порошковая металлургия. – М.: ВИНТИ, 1989 – Т.3. – 3-66 с.

3. Степаненко А.В. Получение стального порошка из шламов подшипникового производства. / Порошковая металлургия. М.: 1984. №11, - с 97 – 101.
4. Стабников В.Н., Попов В.Д., Редько Ф.А., Лысянский В.М. Процессы и аппараты пищевых производств.–М.: «Пищевая промышленность». -1966. - 625 с.
5. Белецкий В.С., Пожидаев С.Д., Кхелуфи А., Сергеев П.В. Перспективы освоения солевых углей Украины. –Донецк: ДонГТУ, УКЦентр, 1998.-96 с.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика. «Энергия», -Л., 1971. -552 с.