

## ОПИСАНИЕ ТЕОРИИ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ В МОЮЩЕМ РАСТВОРЕ

**А.В. Майоров**, канд. техн. наук, доцент

**Н.Э. Яйцева**, магистрант

**Марийский государственный университет**  
(Россия, г. Йошкар-Ола)

**Аннотация.** В данной статье приведено описание механизма адгезии загрязненных поверхностей объектов в различных средах. Рассмотрены загрязнения в виде жидкости, пленки и частицы. Представлена зависимость для расчета адгезии различных видов загрязнений, построена графическая зависимость поверхностного натяжения воды от температуры. Приведена зависимость для расчета работы адгезии жидкостного характера ( $A_a$ ) на поверхности детали при мойке погружением.

**Ключевые слова:** адгезия, моющий раствор, загрязнение, очистка, поверхностное натяжение.

Очистка – необходимая трудоемкая операция по отделению загрязнения от очищаемой поверхности, влияющий на культуру и качество производства, производительность. Задача очистки заключается в преодолении сил сцепления, которые определяются энергией взаимодействия частиц на границе раздела.

Для определения сил адгезии  $A_a$ , Дж, (по данным [4] и применительно к технологическому процессу очистки) имеет следующий вид

$$A_a = W_a S, \quad (1)$$

где  $W_a$  – адгезия загрязнения (адгезионное взаимодействие между очищаемым объектом и загрязнением), Н/м;

$S$  – поверхность контакта загрязнения (площадь поверхности загрязнения), м<sup>2</sup>

Загрязнения, образующиеся на поверхностях деталей с точки зрения адгезионного взаимодействия бывают трех видов: жидкости, пленки и частицы (рисунок 1).

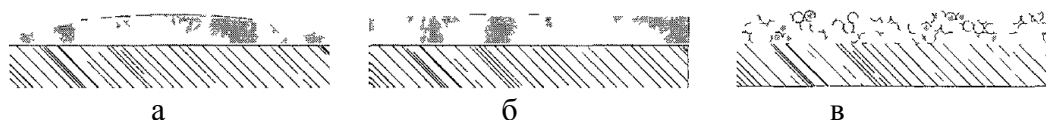


Рис. 1. Виды загрязнений на поверхности детали  
а – жидкость, б – пленка, в – частицы

Адгезионное взаимодействие загрязнений с поверхности находится методами количественной оценки.

Прочность адгезионных связей различных типов загрязнений (жидкости, пленок, частицы) находится свойствами межмолекулярного взаимодействия этих поверхностей. И адгезионное взаимодействие соответственно будет

различаться количественно для различных видов загрязнений [1].

Рассмотрим адгезию различных видов загрязнений.

Адгезия частиц – это взаимодействие частиц с твердой поверхностью различают по их количеству: единичные частицы и слой (рисунок 2).

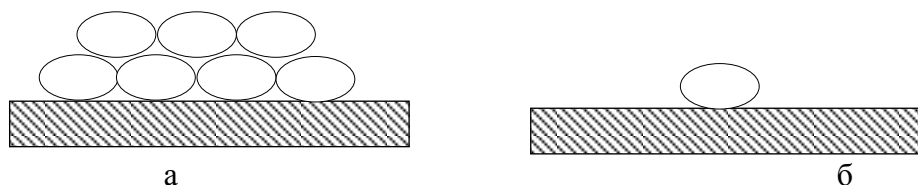


Рис. 2. Частицы на поверхности твердого тела:  
а – слой частиц; б – единичные частицы

Адгезия  $W_a$ , Н/м, в случае единичной частицы равна

$$W_a = F_{ст}\pi \quad (2)$$

$$W_a = F_{ст}\pi r_k^2 \quad (3)$$

где  $F_{ст}$  – сила статистического прилипания, Н/м<sup>3</sup>;

$\pi r_k^2$  – площадь контакта частицы с поверхностью, м<sup>2</sup>;

$$F_{ст} = 2\pi\omega^2, \text{ Н/м}^3 \quad (4)$$

где  $\omega$  – сила притяжения (плотность заряда)

С точки зрения очистки загрязнений рассмотрение адгезии единичных частиц не имеет смысла, поскольку площадь загрязнений меньше площади самой поверхности детали.

В случае слоя частиц  $W_a$ , Н/м, будет вычисляться по формуле

$$W_a = \frac{mg \sin(\alpha)}{l} \quad (5)$$

где  $m$  – масса слоя частиц, кг;

$\alpha$  – угол наклона поверхности, град.;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$l$  – длина соприкосновения, м.

Адгезия частиц в воздушной (газовой) среде отличается от жидкой среды. Если высота слоя жидкости в зазоре между контактирующими телами превышает высоту мениска, который обра-

зуется при смачивании соприкасающихся тел, то адгезия считается как жидкостная.

Очистка загрязненных деталей маслами проводится методом погружения в жидкость, поэтому рассмотрим работу по отрыву загрязнений величиной, определяющей адгезию в жидкости [5].

Очистки загрязнений жидкостного характера с поверхности не проводят методами, которые применяют в случае адгезии частиц, путем приложения внешней силы, которая превышает адгезионное взаимодействие. Под действием силы образуется деформация жидкости и изменение площади ее контакта с поверхностью.

На практике осуществляются два случая взаимодействия жидкости и твердого тела: адгезия капли и адгезия большого количества жидкости. Разделение двух контактирующих тел в случаях капли и слоя жидкости находится площадью контакта жидкости (или капли) и твердого тела.

Для жидкостей на поверхности твердого тела важной характеристикой силы адгезионного взаимодействия считается поверхностное натяжение, а для твердого тела является смачиваемость, которая характеризуется краевым углом смачивания. При краевом угле меньше 90° смачиваемость поверхности хорошая (рисунок 3 а). Если же краевой угол больше 90°, то смачиваемость поверхности ограниченная (рисунок 3 б).

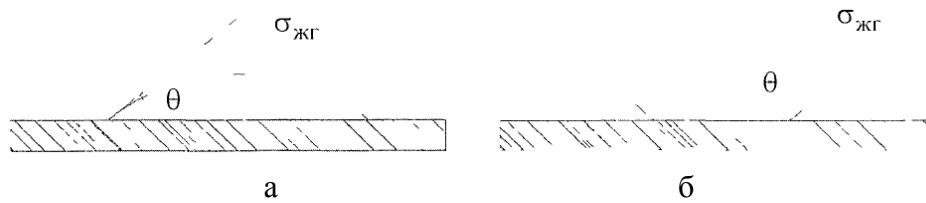


Рис. 3. Капля жидкости поверхности твердого тела  
а – на смачиваемой поверхности; б – на несмачиваемой поверхности

Для этих двух случаев взаимодействия адгезию  $W_a$ , Н/м рассчитывают по формуле :

$$W_a = \sigma_3 + \sigma_m + \sigma_{зм} \quad (6)$$

где  $\sigma_3$  – поверхностное натяжение (свободная энергия) единицы поверхности отделенного от поверхности загрязнения, Н/м;

$\sigma_m$  – поверхностное натяжение единицы поверхности тела, очищенной от загрязнения, Н/м;

$\sigma_{зм}$  – поверхностное натяжение (свободная межфазная энергия) единицы поверхности соприкосновения тела и загрязнения до очистки, Н/м.

Однако данная зависимость не очень удобна для использования в практике, поэтому адгезию к жидкостным загрязнителям считают по формуле, предложенной в работе [2]:

$$W_a = \sigma_0 (1 + \cos(\theta)) \quad (7)$$

где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

$\theta$  – краевой угол смачивания твердой поверхности, град.

Краевой угол смачивания для большинства материалов известен.

Формула (7) для процесса очистки определила, что необходимо провести корректировку, в частности, нужно учесть зависимость поверхностного натяжения от температуры технологической среды.

Поверхностное натяжение при разных температурах в этом случае определяется в некоторой зависимости.

Обычно мойка деталей происходит в водных растворах. Представим графическую зависимость поверхностного натяжения воды от температуры на рисунке 4.

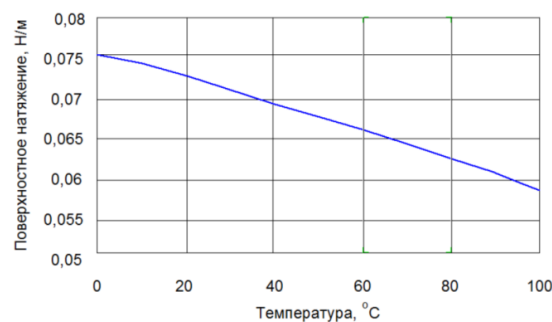


Рис. 4. Графическая зависимость изменения поверхностного натяжения воды от температуры

По графику можно заметить, что поверхностное натяжение уменьшается прямо пропорционально росту температуры.

Как мы знаем, поверхностное натяжение зависит от температуры и характерно для всех жидкостей.

При применении различных моющих растворов во время процесса мойки поверхностное натяжение будет зависеть и от их концентрации [3].

Зависимость поверхностного натяжения  $\sigma$ , Н/м, имеет вид

$$\sigma = (d \ln \frac{c}{b} + 1) \quad (8)$$

где  $d$  – коэффициент, характеризующий изменение поверхностного натяжения жидкости от действия химического вещества, Н/м;

$c$  – концентрация раствора, %

$b$  – эмпирический коэффициент химического вещества.

Для большинства химических веществ, применяемых при мойке деталей в водных растворах, коэффициент  $d = 0,2$ , Н/м.

Работу адгезии загрязнения жидкостного характера  $A_a$ , Дж, на поверхности детали, учитывая физико-химические свойства технологической среды при мойке погружением находится формулой:

$$A_a = \frac{(\sigma_0 - d \ln \left( \frac{c}{a} + 1 \right) - \Delta\sigma_T T)}{(1 + \cos(\theta))S} \quad (9)$$

где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение жидкости без химических веществ при  $1^\circ\text{C}$ , Н/м;

$d$  – коэффициент, характеризующийся изменение поверхностного натяжения жидкости от действия химического вещества;

$c$  – концентрация раствора, %;

$b$  – эмпирический коэффициент химического вещества;

$\Delta\sigma_T = 0,42 \cdot 10^{-4}$  – изменение поверхностного натяжения жидкости при изменении температуры, Н/м  $\cdot^\circ\text{C}$ ;

$T$  – температура жидкости,  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta$  – краевой угол смачивания твердой поверхности, град.;

$S$  – площадь поверхности загрязнения,  $\text{м}^2$ .

Таким образом, выявлено, что важными факторами определения прочности сцепления загрязнения с поверхностью деталей в процессе мойки являются концентрация химических веществ и температура, с помощью которых можно достичь снижения необходимого приложения внешних сил.

#### Библиографический список

1. Смирнов Н.С. Очистка поверхности стали / Н.С. Смирнов, М.Е. Простаков, Я.Н. Липкин. – М.: Металлургия, 1987. – 232 с.
2. Дерягин Б.В. Поверхностные силы / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, В.М. муллер. – М.: Наука, 1985. – 398 с.
3. Яйцева Н.Э. Способы интенсификации процесса мойки поверхностей очистки объектов // Н.Э. Яйцева, А.В. Майоров, Д.А. Михеева, Н.В. Януков // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки сельского хозяйства: Мосоловские чтения. – Йошкар-Ола, 2017. – С. 245-246.
4. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 416 с.
5. Майоров А.В. Совершенствование процесса мойки наполненных цилиндрических банок при производстве консервов: диссертация канд. техн. наук. Казань, 2010. – 155 с.

## THE DESCRIPTION OF THE THEORY OF CLEANING OF THE POLLUTED SURFACES OF DETAILS IN THE WASHING SOLUTION

**A.V. Mayorov**, candidate of technical sciences, associate professor

**N.E. Yaytseva**, graduate student

**Mari state university**

**(Russia, Yoshkar-Ola)**

**Abstract.** In this article the description of the mechanism of adhesion of the polluted surfaces of objects is provided in various environments. Pollution in the form of liquid, films and particles are considered. The dependence for calculation of adhesion of different types of pollution is presented, the graphic dependence of a water surface tension on temperature is constructed. The dependence for calculation of work of adhesion of liquid character ( $A_a$ ) is given in a detail surface at a sink by immersion.

**Keywords:** adhesion, the washing solution, pollution, cleaning a superficial tension.