

УДК 677.017.6

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОФИЛЬНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*ЛУ БАТАЙ, ЧЕН МИН ЦЕНЬ, В.Е.КУЗЬМИЧЕВ*

**(Уханьский университет науки и технологий, КНР,  
Ивановская государственная текстильная академия)**

Методам измерения гидрофильности текстильных материалов посвящено много исследований. Наибольшее распространение среди них получил метод смачивания полимерных материалов каплей жидкости, который основан на измерении в воздушной среде краевого угла смачивания  $\theta$ , характеризующего форму капли жидкости на поверхности, и предназначен для вычисления поверхностной энергии твердых материалов, в частности, текстильных. Метод является количественным, достаточно простым и используется в химической технологии волокнистых материалов для оценки эффективности проведения некоторых операций заключительной отделки.

Перед проведением таких исследований поверхностную энергию жидкостей определяют с помощью специальных приборов. В связи с тем, что для текстильных материалов поверхностная энергия не может быть измерена непосредственно, для оценки их гидрофильности сначала измеряют краевой угол смачивания  $\theta$  для пары жидкость – материал в воздухе, а затем вычисляют значение поверхностной энергии  $\gamma_s$  материала.

Рассмотрим алгоритм вычисления поверхностной энергии текстильных материалов в воздушной среде.

Когда капля жидкости находится на поверхности твердого тела, в результате действия различных поверхностных сил на

границе раздела фаз – твердой (s) и жидкой (L) она может принимать разные формы. Случай частичного смачивания капель жидкости твердой поверхности показан на рис.1.

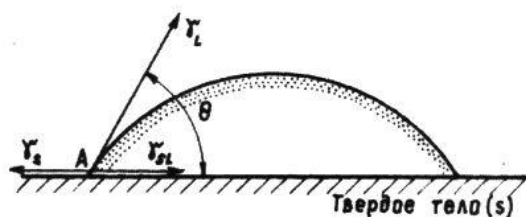


Рис. 1

Точка А, принадлежащая одновременно твердому телу (s) и жидкости (L), находится под действием сил, взаимодействие между которыми описывается уравнением

$$\gamma_{sL} = \gamma_L \cos \theta + \gamma_s, \quad (1)$$

где  $\gamma_s, \gamma_L$  – соответственно поверхностные натяжения твердого тела (s) и жидкости (L);  $\gamma_{sL}$  – натяжение на границе твердое тело – жидкость;  $\theta$  – краевой угол смачивания.

Согласно [1] поверхностная энергия твердого тела может быть разложена на две составляющие – неполярную  $\gamma^d$  и полярную  $\gamma^p$  при выполнении соотношения между ними  $\gamma = \gamma^d + \gamma^p$ .

Межфазное взаимодействие между жидкостью и твердым телом можно описать следующим уравнением:

$$\gamma_{sL} = \gamma_s + \gamma_L - 2\sqrt{\gamma_L^d \gamma_s^d} - 2\sqrt{\gamma_L^p \gamma_s^p}. \quad (2)$$

Объединив (1) и (2), получим выражение

$$\gamma_L (1 + \cos \theta) / 2\sqrt{\gamma_L^d} = \sqrt{\gamma_L^p / \gamma_L^d} \sqrt{\gamma_s^p} + \sqrt{\gamma_s^d}. \quad (3)$$

Зная величины  $\gamma_L^d$  и  $\gamma_L^p$ , определим поверхностное натяжение текстильного материала  $\gamma_s$ . Для удобства дальнейших вычислений введем обозначения:

$$Y = \gamma_L (1 + \cos \theta) / 2\sqrt{\gamma_L^d}, \quad X = \sqrt{\gamma_L^p / \gamma_L^d}.$$

Подставив их в (3), получим упрощенную формулу:

$$Y = \sqrt{\gamma_s^p} X + \sqrt{\gamma_s^d}. \quad (4)$$

Если взять несколько жидкостей, для которых  $\gamma_L^d$  и  $\gamma_L^p$  известны, разместить эти жидкости по отдельности на изучаемую поверхность текстильного материала и измерить краевые углы  $\theta$  для каждой жидкости, то можно вычислить величины  $Y$  и  $X$  для разных пар жидкость – полимерный материал в выражении (4).

Построив зависимость между этими величинами в виде прямой линии (в простейшем приближении), вычислим полярную составляющую  $\gamma_L^p$  по наклону прямой, а величину неполярной составляющей  $\gamma_L^d$  определим графическим методом по пересечению прямой линии с осями координат.

Таким образом, значение  $\gamma_s$  для многих твердых тел может быть определено косвенно, если известен угол  $\theta$  для жидкости с известными параметрами  $\gamma_L^d$  и  $\gamma_L^p$ .

Сложности при измерении краевого угла возникают при близости значений  $\gamma_L^d$ ,  $\gamma_L^p$  и  $\gamma_s$ . В случае, когда величины полярной  $\gamma_L^p$  и неполярной  $\gamma_L^d$  составляющих поверхностного натяжения исследуемой жидкости близки к неизвестной величине поверхностной энергии текстильного материала  $\gamma_s$ , а сама жидкость будет растекаться по его поверхности, определение краевого угла в воздушной среде является трудной задачей. Для этих условий целесообразно использовать другую среду испытаний.

Рассмотрим механизм смачивания поверхности текстильного материала каплей жидкости под водой. Если поместить текстильный материал в жидкость и затем каплю масла на его поверхность, то условия равновесия капли будут такими, которые показаны на рис. 2.

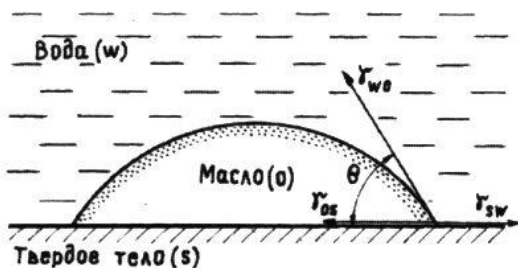


Рис. 2

Точка, находящаяся на границе раздела трех фаз, испытывает действие сил, равновесие которых описывает уравнение

$$\gamma_{sw} = \gamma_{so} + \gamma_{wo} \cos \theta, \quad (5)$$

где  $\gamma_{sw}$ ,  $\gamma_{so}$ ,  $\gamma_{wo}$  – соответственно натяжение на границах между твердым телом (s), водой (w) и маслом (o);  $\theta$  – краевой угол.

Межфазное натяжение  $\gamma_{sw}$ ,  $\gamma_{so}$  между

$$\gamma_{sw} - \gamma_{so} = \gamma_w^* - \gamma_o^* - 2 \left( \sqrt{\gamma_w^d} - \sqrt{\gamma_o^d} \right) \sqrt{\gamma_s^d} - 2 \left( \sqrt{\gamma_w^p} - \sqrt{\gamma_o^p} \right) \sqrt{\gamma_s^p}. \quad (8)$$

Для маслоподобных жидкостей присутствует только неполярная составляющая в их поверхностной энергии, что озна-

твердым телом, жидкостью и маслом опишем с помощью уравнения [2]:

$$\gamma_{sw} = \gamma_s + \gamma_w^* - 2 \sqrt{\gamma_s^d \gamma_w^d} - 2 \sqrt{\gamma_s^p \gamma_w^p}, \quad (6)$$

$$\gamma_{so} = \gamma_s + \gamma_o^* - 2 \sqrt{\gamma_s^d \gamma_o^d} - 2 \sqrt{\gamma_s^p \gamma_o^p}, \quad (7)$$

где  $\gamma^d$ ,  $\gamma^p$  – неполярная и полярная составляющие поверхностной энергии твердого тела  $\gamma$ , между которыми существует следующее соотношение  $\gamma = \gamma^d + \gamma^p$ ;  $\gamma_w^*$  – поверхностное натяжение воды, помещенной в масло (может быть измерено экспериментально);  $\gamma_o^*$  – поверхностное натяжение масла, помещенного в воду ( $\gamma_o^* = \gamma_o$ ).

Вычитая из (6) (7), имеем

чает  $\gamma_o^p = 0$ ,  $\gamma_o = \gamma_o^d$ .

Уравнение (8) можно упростить:

$$\gamma_{sw} - \gamma_{so} = \gamma_w^* - \gamma_o^* - 2 \left( \sqrt{\gamma_w^d} - \sqrt{\gamma_o^d} \right) \sqrt{\gamma_s^d} - 2 \sqrt{\gamma_w^p} \sqrt{\gamma_s^p}. \quad (9)$$

Соединив (6) и (9), получим уравнение (10):

$$\begin{aligned} \gamma_w^* - \gamma_o^* - \gamma_{wo} \cos \theta &= 2 \left( \sqrt{\gamma_w^d} - \sqrt{\gamma_o^d} \right) \sqrt{\gamma_s^d} + 2 \sqrt{\gamma_w^p} \sqrt{\gamma_s^p}, \\ X &= 2 \left( \sqrt{\gamma_w^d} - \sqrt{\gamma_o^d} \right), \quad I_{sw} = 2 \sqrt{\gamma_w^p} \sqrt{\gamma_s^p}. \end{aligned} \quad (10)$$

Допустим, что  $Y = \gamma_w^* - \gamma_o^* - \gamma_{wo} \cos \theta$ .

Подставив это выражение в (10), упростим его до нового уравнения (11):

$$Y = \sqrt{\gamma_s^d} X + I_{sw}. \quad (11)$$

Если взять несколько жидкостей, для которых  $\gamma_o = \gamma_o^d$  и величина  $\gamma_{wo}$  известна, и разместить их на поверхности одного и того же текстильного материала для измерения краевого угла  $\theta$ , то можно получить (как и в случае измерений в воздушной

среде) коррелирующие величины  $Y$  и  $X$ . Построив линейную зависимость  $Y$  от  $X$ , после графической обработки получим значения  $\gamma_s^d$  и  $\gamma_s^p$ .

При размещении обоих объектов под водой – пробы текстильного материала и капли жидкости – можно проводить испытания для таких пар, у которых значения  $\gamma_L^d$ ,  $\gamma_L^p$  и  $\gamma_s$  близки между собой.

С целью проведения экспериментов в воздушной и водной среде были созданы специальные испытательные стенды.

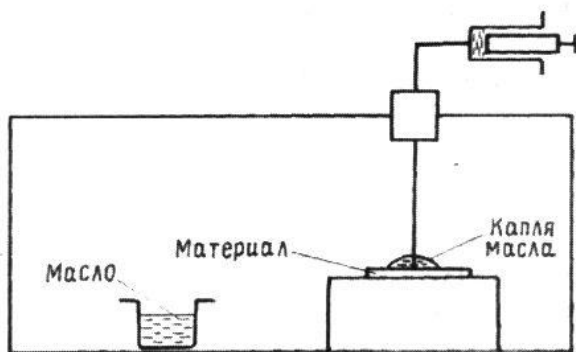


Рис. 3

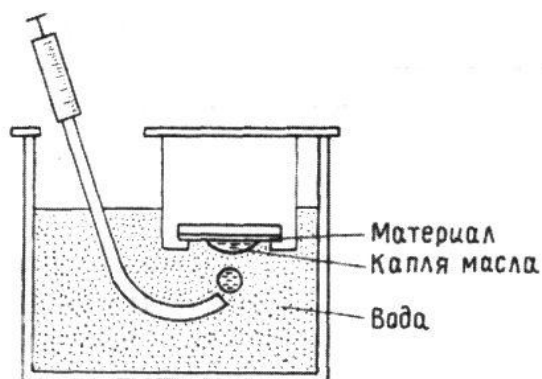


Рис. 4

Схема стенда для измерения краевого угла  $\theta$  жидкости на поверхности текстильного материала в воздушной среде приведена на рис. 3, а в жидкой среде – на рис.4.

Процесс проведения испытаний в воздушной среде включал следующие операции. Мензурку с небольшим количеством определенной жидкости помещали внутрь прозрачного сосуда. Исследуемый текстильный материал, например, пленку, укладывали на платформу. На поверхность пленки с помощью микроминиатюрного эжектора капали эту же жидкость, позволяли превратиться ей в каплю и измеряли ее диаметр  $2X$  и высоту  $h$  с помощью катетометра. Краевой угол  $\theta$  для капли вычисляли следующим образом:

$$\theta = 2 \operatorname{tg}^{-1}(h/X). \quad (12)$$

Измерение краевого угла  $\theta$  для капли масла на полиэфирной пленке в жидкой среде включало следующие этапы (рис. 4). Прозрачный сосуд заполняли водой. Небольшое количество определенной смачивающей жидкости капали в воду, позволяли ей полностью раствориться в воде. Затем экспериментальную подставку с пробой текстильного материала помещали в сосуд. После установления равновесия жидкости в сосуде каплю той же самой жидкости подвели к поверхности плен-

ки с помощью микроминиатюрного эжектора, позволяя закрепиться ей на поверхности текстильной пробы. Диаметр  $2X$  и высоту  $h$  капли измеряли с помощью катетометра. Аналогично по уравнению (12) вычисляли краевой угол  $\theta$  для капли.

Разработанные лабораторные стенды воспроизводят разные условия смачивания и обладают различиями в объеме получаемой информации.

## ВЫВОДЫ

1. Получены теоретические выражения для расчета показателей, характеризующих поверхностную энергию текстильных материалов, находящихся в воздушной и водной средах.
2. Созданы лабораторные стенды для изучения механизма смачивания поверхности текстильных материалов жидкостями, моделирующие различные эксплуатационные ситуации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Owens D.K. and Wendt R.C. // Journal Applied Polymer Science. – Vol.13, 1969.
2. Fowkes F.M. // Journal Physic Chemistry. – 66, 328, 1962.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий. Поступила 02.12.03.