

Исследование трибофизических свойств смазочных слоев в контакте

Предложена и реализована методика определения поверхностного натяжения жидкого смазочного материала при деформации заданного объема жидкости прозрачной пластиной заданной массы и определения толщины слоя жидкости между пластинами.

смазочный материал, поверхностное натяжение, контактное давление

Поверхностный слой жидкости (смазочного материала), который первым вступает во взаимодействие с поверхностью деталей машин, обладает особыми свойствами. Он отличается от свойств жидкости, находящейся внутри объема, так как внутри каждая молекула жидкости окружена со всех сторон такими же молекулами и силы притяжения между молекулами взаимно компенсируются. На молекулы, находящиеся на поверхности, действует результирующая нескомпенсированная сила, направленная внутрь объема жидкости и называемая силой поверхностного натяжения [1]. В результате поверхностный слой жидкости обладает запасом поверхностной энергии, стремящейся к минимуму при отсутствии действия внешних сил. Минимальное значение при этом имеет и площадь самой поверхности. Это приводит к тому, что капли жидкости имеют сферическую форму, если этому не мешает сила тяжести: сфера для данного объема вещества имеет наименьшую поверхность.

Энергетическое состояние поверхностного слоя жидкости (смазочного материала) является определяющим фактором для характеристики процессов, происходящих при взаимодействии жидкости с твердой поверхностью, таких как: смачивание, смазывание, притягивание к твердой поверхности (адсорбция), химическое взаимодействие между смазочным материалом и поверхностью детали и т.д.

Сила поверхностного натяжения вызывает уменьшение свободной поверхности жидкости и направлена по касательной к этой поверхности. При этом происходит изменение поверхностной энергии пропорциональное изменению площади свободной поверхности.

Существует много методов определения поверхностного натяжения жидкостей. Основными из них являются следующие[2].

Статические методы.

Метод поднятия в капилляре. Метод основан на капиллярных эффектах, т.е. способности жидкости втягиваться или выталкиваться из капилляра.

Метод втягивающей пластинки (метод Вильгельми). Тонкую стеклянную, платиновую или слюдяную пластинку подвешивают к коромыслу весов (лучше торсионных) и касаются пластинкой жидкости, помещенной в широкий сосуд, чтобы избежать пристенных влияний. Замеряют усилие втягивания пластинки, уравнивая втягивающую силу на весах так, чтобы положение пластинки не изменялось после соприкосновения с жидкостью.

Методы лежащей и висячей капли. В основе этих методов лежит определение формы капли, лежащей на пластинке или подвешенной к концу капилляра. С помощью

микроскопа с окулярной сеткой определяют форму и размер капли, по которым рассчитывают поверхностное натяжение.

Динамические методы

Метод отрыва кольца, серьги, пластинки (метод Дю Нуи). В основе метода лежит определение силы, необходимой для отрыва жидкости, смочившей кольцо, от поверхности жидкости. При отрыве кольца вытягивается шейка жидкости, и после отделения кольца на нем должны остаться по всему периметру капельки нижней фазы. Если же кольцо отрывается от жидкости, то полученное значение поверхностного натяжения неверно.

Метод счета капель (сталагмометрический метод, метод Харкинса). В основе метода лежит определение веса капли, отрывающейся от капилляра и удерживаемой силами поверхностного натяжения.

Прибор, называемый сталагмометром, представляет собой калиброванную бюретку, оканчивающуюся толстеньким капилляром с отшлифованным концом. Последнее особенно важно, так как капилляр должен равномерно смачиваться жидкостью.

Метод максимального давления пузырька (метод Кантора, Ребиндера). Суть его заключается в том, что через капилляр, опущенный в исследуемую жидкость, продуваются пузырьки воздуха или пропускаются капли другой жидкости и замеряется скачок давления при отрыве пузырька. Пузырек отрывается, когда давление в нем больше суммы гидростатического давления и давления, создаваемого поверхностным натяжением в соответствии с формулой Лапласа.

Метод осциллирующей струи. Метод применяется при необходимости получить данные о поверхностном натяжении мгновенно образующейся поверхности и осуществляется следующим образом. Из сопла под давлением выбрасывается струя жидкости, которая проецируется на экран или фотографируется. По виду струи, которая принимает волнообразную форму, рассчитывается поверхностное натяжение в первые моменты образования поверхности, чего не могут дать другие методы.

Метод вращающейся капли. Этот метод разработан для определения очень низких межфазных натяжений в системе жидкость - жидкость. Легкая жидкость вводится в трубку с тяжелой жидкостью. Закрытую с обеих сторон трубку вращают со скоростью, необходимой для придания сферической капле сплюснутой формы. Необходимо определить объем капли, скорость вращения и длину сплюснутой капли.

Количественные значения величины поверхностного натяжения некоторых жидкостей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Поверхностное натяжение жидкостей

Жидкость	Температура , °C	Поверхностное натяжение T , дин/см, (10^{-3} Н/м)
Азот жидкий	-196	8,5
Бензол	0	31,6
	30	27,6
	60	23,7
Вода	0	75,6
	20	72,8
	100	58,9
Оливковое масло	60	32,0
Парафиновое масло	25	26,4

Здесь рассматривается метод определения поверхностного натяжения в результате опыта, когда капля известного объема жидкости (смазочного материала) нагружается и деформируется прозрачной пластиной (рис. 1, а).

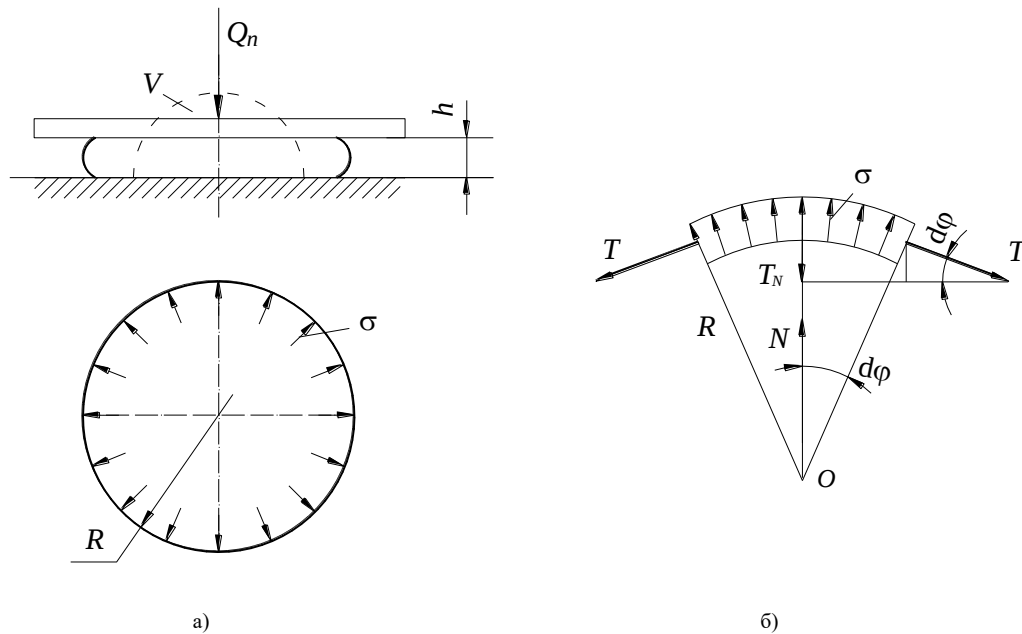


Рисунок 1 - Схема деформации капли пластиной

Поверхностное натяжение определяется из условия равновесия участка поверхностного слоя деформированной (раздавленной) капли жидкости (рис. 1, а).

Изнутри капли жидкости, находящейся между основанием и стеклянной пластиной, на поверхностный слой действует равномерно во все стороны распределенное давление от веса пластины.

Представим сосредоточенное усилие N (рис. 1, б), которое действует изнутри на участок $2d\varphi$ поверхности раздавленной капли через распределенное давление σ :

$$N = \sigma h R d\varphi, \quad (1)$$

где h - толщина раздавленной капли.

Это усилие уравнивается усилием T_N от проекции величины поверхностного натяжения капли T на направление действия усилия N . Величина T_N определится по выражению:

$$T_N = T R \sin d\varphi. \quad (2)$$

При малом $d\varphi$ можно принять, что $\sin d\varphi \approx d\varphi$.

Тогда из условия равенства:

$$N = T_N \quad (3)$$

имеем

$$\sigma h R d\varphi = T R d\varphi. \quad (4)$$

Откуда

$$\sigma = \frac{T}{h}. \quad (5)$$

Распределенное давление σ внутри раздавленной капли между двумя контактными круговыми поверхностями радиуса R (рис.1а) определится из выражения:

$$\sigma = \frac{Q_i}{2\pi R^2}. \quad (6)$$

Выражая толщину капли h через известный объем капли V , окончательно с учетом (16) имеем формулу для поверхностного натяжения капли жидкости, аналогичную (11). Или через толщину слоя жидкости h :

$$T = \frac{Q_i h}{2\pi R^2}. \quad (7)$$

Пример определения поверхностного натяжения.

Рассмотренная методика определения поверхностного натяжения была реализована на примере двух жидкостей (см. табл. 2). С помощью инсулинового шприца, с ценой деления 0,025 мл, заданный объем жидкости наносился на нижнюю стеклянную пластину и нагружался верхней стеклянной пластиной силой 0,392 Ѕ (масса верхней пластины 40 г). Диаметр кругового отпечатка деформированного объема жидкости измерялся штангенциркулем. Результаты расчета величины поверхностного натяжения приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты измерений и расчетов

Вещество	V , $\times 10^{-6}$ м ³	R , $\times 10^{-3}$ м	S , $\times 10^{-6}$ м ²	h , $\times 10^{-6}$ м	T , Н/м	$\bar{T}$, Н/м
Вода	0,05	11	380	130	0,00671	0,0713
	0,025	9	254	98	0,0755	
Масло моторное	0,05	15	706	71	0,0196	0,0218
	0,025	12	452	53	0,0239	

Отличие полученных результатов от справочных данных (табл.1) не превышает 3 %.

Список литературы

- 1 Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. — М.: Мир, 1982. — 520 с.
- 2 Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества: Справочник / А.А. Абрамзон, Л.Е. Боброва, Л.П. Зайченко и др.; под ред. А.А. Абрамзона и Е.Д. Щукина. — Л: Химия, 1984. — 392 с.

Запропонована і реалізована методика визначення поверхневого натягу рідкого мастильного матеріалу при деформації заданого об'єму рідини прозорою пластиною заданої маси й визначення товщини шару рідини між пластинами.

Is offered and the technique of definition of a superficial tension of a liquid lubricant material is realized at deformation of given volume of a liquid by a transparent plate of given weight and definition of thickness of a layer of a liquid between plates.

Получено 6.09.05