

3. Веселов А.И. Требования безопасности и развития конструкций автомобилей / А.И. Веселов, Ю.М. Немцов. – М.: НИИАвтопром, 1973. – 163 с.
4. Батуев Г.А. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г.А. Батуев, А.К. Голубков и др. – М., Машиностроение, 1969. – 248 с.

Получено 11.10.2010

УДК 621.9.075. 25

С.Д. Капаева

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТЕРМ
РАСКЛИНИВАЮЩЕГО ДАВЛЕНИЯ СМАЧИВАЮЩИХ ПЛЕНОК ВОДОРАСТВОРИМОЙ
ПОЛИМЕРНОЙ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ**

Смачивающие пленки играют важную роль во многих технологических и природных процессах [1-3]. Они определяют физические и механические свойства смачивания поверхностей, а также механизм и кинематику протекающих в этих телах процессов массо- и энергообмена. Параметры толщина, вязкость и устойчивость смачивающих пленок во многом определяют пути протекания данных процессов. Смазочное свойство жидкости приводит к уменьшению схватывания, задира, фрикционного нагрева, сил трения и интенсивности износа режущей части инструмента. Имеются несколько отличающихся друг от друга теорий, объясняющих эффект снижения трения и механизм проникновения жидкостей в зону резания.

К смачивающим пленкам относят пленки жидкостей, покрывающие поверхность конденсированного тела. В отличие от эмульсионных пленок, они являются несимметричными: одна их поверхность граничит с конденсированной фазой (твердой), другая – с жидкостью или газом.

Согласно В. Гиббсу, на границах любых смежных фаз существуют переходные слои, в пределах которых интенсивнее свойства и состав жидкости от объема. В межфазных переходных слоях тензор давления анизотропен. Его нормальная составляющая P_N постоянна и для плоских пленок равна давлению в газовой фазе P . Тангенциальная же составляющая является функцией расстояния от разделяющей поверхности:

$$P_T = f(z). \quad (1)$$

Пленка считается толстой, если ее толщина превышает сумму толщин переходных межфазных слоев, существующих вблизи поверхностей раздела пленка-поверхность и пленка-газ. В тонких пленках в их средней части остается прослойка объемной фазы, давление в которой равно

$$P_o = P_N = P. \quad (2)$$

Рассмотрим свойства тонких пленок, толщина которых меньше суммы толщин переходных межфазных слоев, что приводит к их перекрытию и отличию физико-химических свойств от фазы жидкости в объеме.

При перекрытии межфазных слоев исчезают разделяющие переходные слои прослойки со свойствами объемной жидкой фазы. Нормальная составляющая тензора давления P_N , оставаясь равной давлению в газовой фазе P , уже отличается в данном случае от давления P_o в объемной жидкой фазе, из которой пленка образовалась путем локального

уменьшения ее толщины.

Разность $P_N - P_o$ определяет расклинивающее давление пленки

$$\Pi = P_N - P_o = P - P_o. \quad (3)$$

При постоянстве давления в объемной фазе P_o , температуре T , химических потенциалов M_i и потенциалов поверхностной пленки Ψ_o и Ψ_s свободная энергия Гиббса ΔG площади пленки может быть определена на основании изотерм расклинивающего давления $\Pi(h)$

$$\Delta G = - \int_{\infty}^h \Pi(h) dh. \quad (4)$$

Значение ΔG при указанных выше условиях равно работе уменьшения пленки в обратимом изобарно-изотермическом равновесном процессе от $h = \infty$ до некоторой конечной толщины h .

Из уравнения (3) следует, что величина расклинивающего давления пленки равна увеличению энергии Гиббса при увеличении ширины пленки.

$$\Pi(h) = - \left(\frac{\partial G}{\partial h} \right)_{P_o, T, M_i, \Psi_i}. \quad (5)$$

Теоретический расчет различных слагаемых свободной энергии Гиббса для тонких пленок всегда значительно сложнее, чем непосредственный расчет расклинивающего давления.

Минимум функции $G(h)$, определяющий состояние устойчивости равновесия, отвечает условию:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial h^2} > 0. \quad (6)$$

Это приводит к увеличению устойчивости смачивающих пленок:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial h} < 0. \quad (7)$$

С увеличением ширины пленки должна уменьшаться величина расклинивающего давления.

Тот или иной вид изотерм $\Pi(h)_T$ определяется вкладом поверхностных сил различной природы.

$$\Pi(h) = \Pi_e(h) + \Pi_m(h) + \Pi_s(h) + \Pi_a(h) + \Pi_c(h), \quad (8)$$

где Π_e - ионно-электростатическая составляющая расклинивающего давления, связанная с перекрытием диффузных тонких слоев заряженных поверхностей пленки; Π_m - молекулярная составляющая, обусловленная силами дисперсионного взаимодействия твердой поверхности и газа через пленку жидкости, точнее перекрытие тех межфазных областей, в которых тензор флуктуационного электромагнитного поля анизотропен; Π_s - структурная составляющая расклинивающего давления, вызванная перекрытием граничных слоев жидкости со структурой, измененной по сравнению с объемной, фазой; Π_a - адсорбционная составляющая расклинивающего давления, связанная с перекрытием диффузных адсорбционных слоев нейтральных молекул в ионных растворах; Π_c - составляющая, обусловленная «сферическим» взаимодействием адсорбционных слоев

поверхностно-активных веществ (ПАВ) и полимеров.

Все составляющие расклинивающего давления находятся в тесном взаимодействии и влияют на фактическое значение указанных величин.

При изменении концентрации ПАВ и полимеров в составе смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) будет в основном изменяться составляющая расклинивающего давления P_e , но в настоящее время не имеется сведений о взаимодействии ее с остальными составляющими и ее влиянии на фактическую величину расклинивающего давления. Еще более сложно обстоит дело, когда существуют структурные особенности граничных слоев жидкости. При одновременном перекрытии ионных атмосфер и граничных слоев с измененной структурой формально можно разделить составляющие P_e и P_s , но при этом потребуется учет зависимости P_e от структурных особенностей и толщины граничных слоев, а также зависимости P_s от строения диффузионных ионных слоев в состоянии их перекрытия (существенную роль может играть также и структурное отталкивание, связанное с гидратацией полярных групп молекул ПАВ и полимеров).

Поэтому, в данном случае целесообразно изучить действие граничной пленки водорастворимой полимерной СОЖ на процесс резания путем экспериментального метода определения изотерм расклинивающего давления. Для этого были разработаны девять составов СОЖ с различными водорастворимыми полимерами. Полимеры, используемые в составах, сочетали в себе противоположные свойства - это пониженное поверхностное натяжение, т.е. хорошую смачиваемость, проницаемость в трещины металла и повышенную вязкость для создания наибольшего давления в жидкости между двигающимися поверхностями.

Для экспериментального определения изотерм $P(h)$ применяют различные методы. Исследования были выполнены методом Дерягина и Кусакова [1] с помощью пузырьков газа различного радиуса R_0 , которые, всплывая, приближались к горизонтально установленной плоской гладкой пластинке (рис. 1).

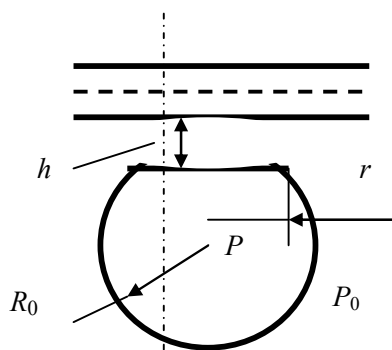


Рисунок 1 – Пузырьковый метод получения изотерм расклинивающего давления смачивающих пленок

При достаточно медленном приближении пузырька и небольшом радиусе площади контакта r , спустя некоторое время образуется пленка равномерной толщины h , находящаяся в равновесии с объемной жидкой фазой, окружающей пузырек. Радиус r определяется условием равенства давления выталкивания пузырька давлению, действующему

на плоскую круглую пленку

$$\frac{4}{3}\pi R_0^3(\rho_1 - \rho_2)g = \left(\frac{2\sigma}{R_0}\right)\pi r^2, \quad (9)$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотности газа и жидкости, соответственно; g – ускорение силы тяжести.

Как видно из этого равенства, для получения относительно мало деформирующихся пузырьков они не должны быть особенно велики, так как отношение $\frac{r}{R_0}$ пропорционально R_0 . В случае очень малых пузырьков – проведению экспериментов мешает растворение сжатого в пузырьке газа. Кроме того, сокращается площадь пленки, что осложняет измерение ее толщины. Все это ограничивало диапазон удобных для измерений пузырьков значениями $10^{-2} < R_0 < 10^{-1}$ см [1].

Расклинивающее давление плоской пленки определяется уравнением (1), в котором $P = \left(\frac{2\sigma}{R_0}\right) + P_0$ отвечает давлению газа в пузырьке и P_0 – давлению в объемной жидкой фазе, окружающей пузырек.

При достижении микротрещины величиной более 50 \AA к расклинивающему давлению прибавляется давление в объеме жидкости. В расчете разрушающего усилия определили среднее нормальное давление жидкости между движущимися поверхностями [4]

$$P = \mu \frac{\omega C_R}{\psi^2}. \quad (10)$$

Плотность жидкости и кинематическая вязкость определялись методами, описанными из практикума по курсу общей физики [5].

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{V}; \quad \mu = \frac{\nu}{\rho}, \quad (11)$$

где V – окружная скорость резания, м/мин; ω – угловая скорость детали, рад/с; μ – динамическая вязкость; ν – кинематическая вязкость; ρ – плотность жидкости, кг/м³; C_R – коэффициент нагруженности принимаем по [1].

В расчете давления жидкости приняли окружную скорость резания равную 180 м/мин. Коэффициент ψ , зависящий от окружной скорости [4]:

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{V}, \quad (12)$$

где V – окружная скорость детали, м/с,

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{3} = 1,248 \cdot 10^{-5}.$$

По данным практики [1], коэффициент нагруженности участка контакта инструмента и детали, учитывая значительную окружную скорость 3 м/с, приняли равный 12.

При диаметре 50 мм и скорости 3 м/с деталь совершает 30 оборотов в секунду, т.е. угловая скорость равна $\omega = 60$ рад/с.

Давление жидкости между контактирующими поверхностями детали и резца приняли:

$$P = \mu \frac{\omega C_R}{\psi^2} = \mu \cdot 5,769 \cdot 10^7 \text{ Па},$$

$$P = \mu \frac{720}{1,557 \times 10^{-10}} \text{Па}. \quad (13)$$

Проведя расчет при различных скоростях резания в различных средах получены результаты, показанные в таблице.

В результате исследований раскрыта особенность механизма действия полимерных СОЖ, заключающаяся в появлении раскливающей силы P_p в плоскости сдвига под действием граничной пленки с взаимоисключающими друг друга свойствами. Изотермы раскливающего давления пленки в плоскости сдвига меняются в пределах $8,95 \cdot 10^2 - 7,77 \cdot 10^5$ Па, а толщина пленки – в пределах $400 - 25 \text{ \AA}$. При достижении микротрещины величиной более 50 \AA , к раскливающему давлению прибавляется давление в объеме жидкости и достигает $2\ 852\ 025$ Па.

Результаты исследования физико-технических свойств составов полимеросодержащей СОЖ для обработки металлов резанием

Наименование СОЖ	Плотность, кг/м ³	Кинематическая вязкость, ν , МН·с/м ²	Динамическая вязкость, μ , Па·с	Толщина адсорбционной пленки, \AA	Раскливающее давление, Па	Давление в объеме жидкости, Па	Поверхностное натяжение, 10^{-3} Дж/м ²	Результатирующее усилие, при $h > h_{кр}$, Па
№1	1015	5,075	0,005	400	$8,95 \cdot 10^2$	144225	71,1	145120
№2	1010	7,07	0,007	350	$4,55 \cdot 10^3$	201915	69,7	206463
№3	1005	10,05	0,01	300	$7,15 \cdot 10^3$	188450	68,5	295600
№4	978	14,65	0,015	250	$1,55 \cdot 10^4$	432675	61,5	448175
№5	980	19,60	0,020	175	$3,11 \cdot 10^4$	576900	60	608000
№6	988	24,70	0,025	100	$6,88 \cdot 10^4$	721125	58,1	789925
№7	878	30,75	0,035	75	$2,15 \cdot 10^5$	1009575	44,5	1224575
№8	884	35,35	0,040	50	$5,75 \cdot 10^5$	1153800	44,1	1728800
№9	888	39,95	0,045	25	$7,77 \cdot 10^5$	1298025	42,9	2852025
Во- да	998	1,001	0,001	-	-	28845	75,5	-

Примечания: h – ширина микротрещины; $h_{кр}$ – ширина микротрещины при которой действует на разрушение решетки не только раскливающее давление, но и давление в объеме СОЖ. Она равна удвоенной ширине пленки

Список литературы

1. Дерягин Б.В. Экспериментальное исследование сольватации поверхностей / Б.В. Дерягин, М.М. Кусаков // Известия АН СССР: Серия химия. – 1937. – №5. – С. 1119–1152
2. An experimental investigation of polymolienlar solvate filmf.-Acta Phus.-Chim. URSS. – 1939. – vol. 10. – №1. – P.25-44. – №2. – P. 153-174.
3. Дерягин Б.В. Смачивающие пленки / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев. – М.:Наука, 1984. – 160 с.
4. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1986. – 350 с.
5. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. – М.: Высшая школа, 1970. – 447 с.

Получено 28.11.2010