

Член-корреспондент АН СССР В. Д. КУЗНЕЦОВ

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЗАИМНОГО ШЛИФОВАНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ СТЕКОЛ

Метод взаимного шлифования был разработан теоретически для кристаллов галоидных солей щелочных металлов (1) и был применен к различным случаям шлифования (2). В настоящей статье мы описываем некоторые применения этого метода к исследованию стекол. Мы исследовали стекла следующих составов:

№ 1 — 55%  $\text{SiO}_2$ ; 30%  $\text{PbO}$ ; 9,2%  $\text{K}_2\text{O}$ ; 3,8%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 0,26%  $\text{CaO}$ ; 0,04%  $\text{MgO}$  и 1,70%  $\text{R}_2\text{O}_3$ . Плотность 4,78 г/см<sup>3</sup>.

№ 2 — состав неизвестен. Плотность 3,05 г/см<sup>3</sup>.

№ 3 — 93%  $\text{SiO}_2$  7%  $\text{Na}_2\text{O}$ . Плотность 2,37 г/см<sup>3</sup>.

№ 4 — 74%  $\text{SiO}_2$ ; 16,5%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 6%  $\text{CaO}$ ; 3,5%  $\text{MgO}$ . Плотность 2,49 г/см<sup>3</sup>.

№ 5 — 66,9%  $\text{SiO}_2$ ; 20,3%  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; 5,4%  $\text{K}_2\text{O}$ ; 3,9%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 3,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Плотность 2,28 г/см<sup>3</sup>.

1. Действие воды на износостойкость стекол при шлифовании. Некоторые сорта стекол гигроскопичны. При нахождении в атмосфере они адсорбируют влагу на поверхности, и поверхностный слой набухает. Этот набухший слой, конечно, менее износостоек, чем внутренние слои. Методом взаимного шлифования можно определить толщину набухшего слоя и проследить постепенный переход от набухшего слоя к нормальному стеклу. Такое определение имеет практическое значение для установления качества стекла.

Стекло № 1 долгое время находилось в атмосфере. Затем оно взаимно сошлифовывалось с пластинкой стали 45 с подсыпкой зеленого карборунда КЗ-170. Оказалось, что отношение массы стекла к массе стали по мере сошлифовывания плавно убывало от 76,6 до 57,9.

При взаимном шлифовании этого стекла со сталью 45 при смачивании водой получилось отношение 87,0, не изменяющееся по мере сошлифовывания. Это показывает, что, действительно, на поверхности стекла находится набухший от воды слой.

Для оценки толщины набухшего слоя стекла мы имеем следующие данные: 1) вес сошлифованного слоя равен 3,16 г; 2) плотность стекла 4,78 г/см<sup>3</sup>; площадь шлифования  $S = 5,60$  см<sup>2</sup>. Следовательно, толщина слоя  $h = 1,18$  мм.

Такие же опыты были произведены со стеклом № 2 с плотностью 3,05 г/см<sup>3</sup>. После долгого пребывания в атмосфере при взаимном шлифовании со сталью 45 это стекло давало повышенное значение отношения масс сошлифованных слоев, которое по мере сошлифовывания постепенно уменьшалось до постоянного значения. Это же стекло при взаимном шлифовании со сталью 45 при смачивании водой давало постоянное отношение масс.

Чтобы удалить поверхностные набухшие слои стекол №№ 1 и 2, эти стекла предварительно были отшлифованы на наждачной шкурке. Затем эти стекла взаимно шлифовались с подсыпкой зеленого карборунда КЗ-120. Как и следовало ожидать, отношение масс сошлифованных слоев оставалось постоянным от опыта к опыту. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

	Опыт			Σ
	1	2	3	
$M$ [стекло 1]	1,0901	0,7899	0,7245	2,6040
$M$ [стекло 2]	0,3066	0,2245	0,2059	0,7375
$M$ [стекло 1]	3,55	3,51	3,51	3,53
$M$ [стекло 2]				

Затем стекло № 1 было помещено в воду на 23 часа, стекло же № 2 в это время прогревалось на калорифере. Предполагалось, что стекло № 1 впитает влагу с поверхности и отношение масс увеличится, а затем, по мере сошлифовывания слоя, это отношение достигнет нормального значения для сухих стекол. Ожидание оправдалось. На рис. 1 изображена зависимость отношения сошлифованных масс  $M$  [стекло 1] :  $M$  [стекло 2] от убыли в весе стекла № 1. Из рисунка видно, что примерно при убыли веса в 4 г начинается постоянство отношения.

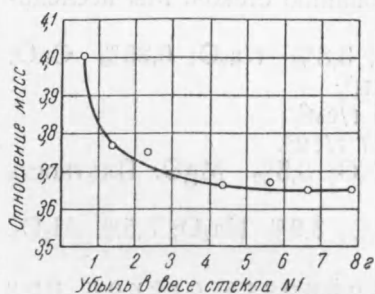


Рис. 1. Зависимость отношения сошлифованной массы стекла № 1 к сошлифованной массе стекла № 2 от убыли в весе стекла № 1

Площадь шлифования стекла  $S = 5,3$  см, его плотность 4,78, следовательно, весу сошлифованного слоя в 4 г соответствует толщина набухшего слоя  $h = 1,6$  мм.

Из рис. 1 видно, что конечное отношение сошлифованных масс равно 3,65, тогда как это же отношение для сухих стекол равно 3,53. Из этого можно заключить, что в стекло № 1 вода проникла не только в поверхностный слой, но и на большую глубину.

Стекло № 1, пролежавшее несколько дней в атмосфере, взаимно шлифовалось со сталью 45. Отношение  $M$  [стекло 1] :  $M$  [сталь 45] постепенно упало с 76,6 до 57,9. После этого производилось взаимное шлифование при смачивании водой. Получилось постоянное отношение 87. На следующий день взаимное шлифование производилось при смачивании спиртом. Отношение масс поднялось от начального значения 49,7 до 57,6. Из этого видно, что спирт действует на стекло № 1 обратное действию воды.

2. Поверхностная энергия разных стекол. Для двух кристаллов галогенидов щелочных металлов мы вывели формулу:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad (1)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  — объем сошлифованных слоев,  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — поверхностные энергии кристаллов, или

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{M_1 d_2}{M_2 d_1}, \quad (2)$$

где  $M_1, M_2$  — массы сошлифованных слоев,  $d_1, d_2$  — плотности.

При выводе формул (1) и (2) предполагалось, что при взаимном шлифовании от того и другого кристалла образуется порошок, состоящий из частиц в виде кубиков, причем размеры этих частиц одинаковы для обоих

кристаллов. Эти же формулы легко вывести в предположении, что частицы порошка представляют собой шарики или имеют какую-либо иную форму. Важным условием является то, что частицы должны быть одинаковы для обоих трущихся тел. Если для кристаллов галогенидов щелочных металлов это условие выполняется, то можно ожидать, что оно будет выполняться и для стекол разных составов и будет выполняться для взаимно трущейся пары каменная соль — стекло. Если это несправедливо, то придется ввести некоторый коэффициент пропорциональности.

Конечно, формулы (1) — (2) могут быть справедливы только для хрупких тел, а по хрупкости каменная соль и стекла приблизительно одинаковы. Для комбинации хрупкое тело — пластичное тело мы, конечно, эти формулы применять не можем.

Мы допустили справедливость формулы (2) и для комбинации каменная соль — стекло и определили поверхностную энергию различных стекол. Стекла мы взаимно шлифовали с гранью куба кристалла каменной соли, для которой мы приняли  $d = 2,15 \text{ г/см}^3$  и  $\sigma = 150 \text{ эрг/см}^2$ . Плотность стекол мы определяли путем взвешивания в воздухе и в воде. Получились следующие результаты (см. табл. 2).

Таблица 2

	Стекло				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$M [\text{NaCl}]$					
$M [\text{стекло}]$	1,14	2,42	3,47	4,36	6,17
$d, \text{ г/см}^3$	4,78	3,05	2,37	2,49	2,28
$\sigma, \text{ эрг/см}^2$	380	515	574	756	982

В предыдущих работах (1) мы показали, что если при взаимном шлифовании хрупкого тела  $A$  с телом  $B$  мы получаем отношение  $M[A] : M[B] = a$ , при шлифовании тела  $B$  с телом  $C$  получаем отношение  $M[B] : M[C] = b$ , то

$$\frac{M[A]}{M[B]} \cdot \frac{M[B]}{M[C]} = \frac{M[A]}{M[C]} = c = ab.$$

Для стекол это соотношение оправдывается.

Пример 1.

$$\frac{M[\text{стекло 2}]}{M[\text{стекло 5}]} = 2,54, \quad \frac{M[\text{NaCl}]}{M[\text{стекло 2}]} = 2,42, \quad \frac{M[\text{NaCl}]}{M[\text{стекло 5}]} = 6,17,$$

откуда

$$\frac{M[\text{NaCl}]}{M[\text{стекло 5}]} \cdot \frac{M[\text{стекло 2}]}{M[\text{NaCl}]} = \frac{6,17}{2,42} = 2,55 \text{ вместо } 2,54.$$

Пример 2.

$$\frac{M[\text{стекло 4}]}{M[\text{стекло 5}]} = 1,50, \quad \frac{M[\text{NaCl}]}{M[\text{стекло 4}]} = 4,36, \quad \frac{M[\text{NaCl}]}{M[\text{стекло 5}]} = 6,17,$$

$$\frac{M[\text{стекло 4}]}{M[\text{NaCl}]} \cdot \frac{M[\text{NaCl}]}{M[\text{стекло 5}]} = \frac{6,17}{4,36} = 1,42 \text{ вместо } 1,50.$$

Из этого вытекает, что поверхностную энергию стекол мы можем определять или путем взаимного шлифования стекол с каменной солью или путем взаимного шлифования стекол друг с другом.

Полученные нами значения  $\sigma$  для разных стекол лежат в пределах 380—982 эрг/см<sup>2</sup>. Эти значения близки к тем, которые получил

В. П. Берденников <sup>(3)</sup> для покровного стекла методом растяжения стеклянных пластинок с нанесенными трещинами.

3. Влияние воды и спирта на поверхностную энергию стекол. Стекло № 5 взаимно шлифовалось со сталью 45 с подсыпкой зеленого карборунда КЗ-170. Получились следующие средние значения отношения массы стекла к массе стали: 1) всухую 12,1; 2) при смачивании водой 14,0; 3) при смачивании спиртом 9,03. При взаимном шлифовании грани куба (100) каменной соли со стеклом № 5 мы получили отношение масс, равное 6,17, откуда  $\sigma$  [стекло 5] = 982 эрг / см<sup>2</sup>; отсюда получаем

$$\sigma \text{ [стекло 5, вода]} = \frac{12,07}{14,0} \cdot 982 = 844 \text{ эрг / см}^2,$$

$$\sigma \text{ [стекло 5, спирт]} = \frac{12,07}{9,03} \cdot 982 = 1310 \text{ эрг / см}^2,$$

т. е. вода уменьшает  $\sigma$  на 14%, а спирт увеличивает  $\sigma$  на 33%.

При этих расчетах мы полагаем, что вода и спирт не влияют на сталь. К такому заключению мы пришли на основании многочисленных опытов шлифования и взаимного шлифования различных металлов со сталью 45 всухую и при смачивании спиртом и водою.

При взаимном шлифовании стекла № 2 со сталью 45 мы получили следующие средние значения отношения массы стекла к массе стали: 1) всухую 25,5; 2) при смачивании водой 23,0; 3) при смачивании спиртом 26,3. Из этого видно, что вода и спирт влияют на стекло № 2 значительно меньше, чем на стекло № 5.

Было бы интересно изучить изменение поверхностной энергии при постепенном изменении какого-либо компонента в составе стекла.

Сибирский физико-технический институт  
при Томском государственном университете  
им. В. В. Куйбышева

Поступило  
2 IV 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Д. Кузнецов, ДАН, 84, № 5 (1952); ЖТФ, 22, в. 9, 1409 (1952).  
<sup>2</sup> В. Д. Кузнецов, ДАН, 84, № 6 (1952); 85, № 1 (1952); 85, № 4 (1952); 87, № 5 (1952).  
<sup>3</sup> В. П. Берденников, ЖФХ, 5, 358 (1934).