

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

В. А. БАЖЕНОВ и В. П. КОНСТАНТИНОВА

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 18 I 1950)

Настоящая работа проводилась в связи с открытием А. В. Шубниковым⁽¹⁾ пьезоэлектрических свойств в древесине, представляющих большой интерес для древесиноведения и кристаллографии. Предварительные опыты, проведенные авторами с различными породами древесины (сосна, ель, лиственница, дуб, бук, ясень, береза, груша, самшит, осина и др.), неизменно обнаруживали пьезоэлектрический эффект. В последующем были проведены более детальные исследования, результаты которых излагаются ниже.

Пьезоэлементы, работающие на изгиб и сжатие (растяжение), представляли собою образцы древесины с приклеенными к двум противоположным граням электродами. Для приклейки электродов применялась замазка из смеси пчелиного воска и канифоли (2 : 1). Высушенные при температуре 100° до постоянного веса образцы предварительно выдерживались некоторое время в расплаве этого состава с целью защиты от быстрого увлажнения в воздухе, так как при увлажнении древесина теряет способность электризации.

На изгиб испытывались пьезоэлементы в виде квадратных пластинок со стороной 50 мм и толщиной от 1 до 4 мм, у которых одним из электродов являлась квадратная стальная пластинка толщиной в 1 мм, а вторым — наклейка из тонкой фольги. Оба электрода имели площадь, равную площади образца. Стальная пластинка, подклеенная к деревянному образцу, при совместном изгибе с ним позволяла получать в нем однозначный электрический эффект, обусловленный напряжением, возникающему в этих условиях по направлению, параллельному плоскости изгиба.

Пьезоэлементы изгибались сосредоточенной в центре силой при помощи простого рычажного устройства с двумя опорами, жестко укрепленными на электрически изолированной площадке, защищенной металлическим кожухом от посторонних помех. Образец укладывался на опорах и поочередно изгибался в различных положениях, отмеченных на рис. 1 одинаковыми цифрами. Нагружение образца характеризовалось его прогибом в центре, измерявшимся при помощи индикатора с ценой деления 0,01 мм. Для измерения поляризации образца применялся струнный электрометр, нить которого через экранированный ввод соединялась с электродом на нижней грани образца. Второй элек-

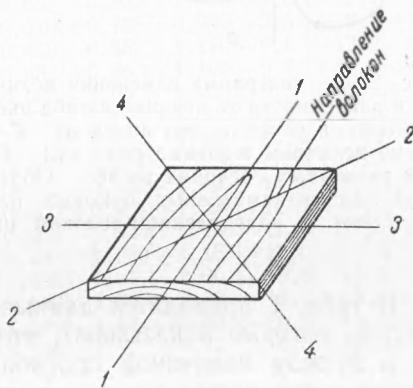


Рис. 1

трод заземлялся. Электрометр включался по обычной схеме. На ножи электрометра подавалось напряжение ± 150 в.

На рис. 2, а показана типичная диаграмма изменения величины и знака заряда, полученного при разгрузке образца, обращенного стальной пластинкой вверх при прогибе 0,2 мм. Заряд снимался с электрода, приклеенного к грани, обращенной к коре ствола. При этих условиях в образце возникали напряжения сжатия. Положения нулевого заряда соответствовали изгибу строго вдоль и поперек волокон.

Влияние направления волокон на появление зарядов того или иного знака окончательно было установлено путем испытания образцов из древесины с большим естественным косослоем (порядка 15°). У всех 9 испытанных образцов нулевые направления совпали с направлением

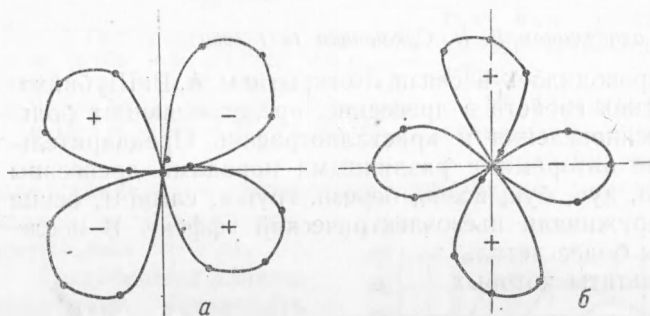


Рис. 2. а — диаграмма изменения величины и знака заряда в зависимости от позиций изгиба пьезоэлемента (по отношению к направлению волокон); б — диаграмма изменения величины и знака заряда биморфного пьезоэлемента при различных позициях изгиба. Образец составлен из двух одномиллиметровых буковых пластинок, вырезанных с направлением волокон по диагоналям

В табл. 1 приводятся данные об электризации элементов, которые показывают, что:

1. Между величиной прогиба элемента и его поляризацией существует зависимость, которая может быть принята **линейной**.

2. Радиальные и тангенциальные образцы сосны, вырезанные из кряжа по направлению одного радиуса, проходящего через их центры, поляризуются одинаково. Образцы, вырезанные по радиусу ствола между сердцевинной и периферией, электризовались несколько больше, обнаруживая тенденцию к постепенному увеличению до некоторого максимума, что можно объяснить влиянием изменений плотности древесины по радиусу ствола.

3. Толщина образцов не оказывает влияния на плотность образующихся зарядов.

В конце табл. 1 приводятся данные о величине эффекта на биморфных элементах, приготовленных из древесины бука склеиванием двух квадратных радиальных пластинок толщиной 1 мм, с волокнами, пересекающимися по диагоналям и фольговыми электродами с обеих сторон. Диаграмма правила знаков для этих образцов была такая же, как изображенная на рис. 2, б. Весьма важно заметить, что торцовые срезы, как показали опыты, не обладают способностью к электризации.

С целью выяснения компонента древесины, сообщающего ей пьезоэлектрические свойства, нами была испытана древесина сосны в третьей стадии поражения грибом *Merulius lacrymans*, примерно на 80% состоящая только из лигнина (деструктивный тип гнили), а также древесина березы и осины в третьей стадии поражения коррозионным типом

волокон, а не с осью ствола дерева. При изгибе образцов с направлением волокон по одной из диагоналей диаграмма имела вид, изображенный на рис. 2, б.

Количество электричества в образцах при поляризации находилось как произведение электростатического напряжения на сумму емкостей пьезоэлемента и установки. Емкость измерялась при помощи мостика с точностью до 0,1 pF.

различных пьезоэле-

гнили от гриба *Tomes fomentarius*, содержащая около 75—80% целлюлозы. В первом случае отмечался весьма незначительный пьезоэлектрический эффект, тогда как во втором случае он был значительным и несколько превышал величину эффекта в нормальной древесине. Для

Таблица 1

Электризация пьезоэлектрических элементов, работающих на изгиб

Порода	Характеристика образца	Толщина образца в мм	Емкость в рГ		Напряжение макс. поляризации в вольтах при величине прогиба в мм			Колич. электричества в 10 ² абс. ед., образующаяся на гранях образца разм. 50×50 мм в положении его макс. поляризации при величине прогиба в мм		
			образца	образца с установкой	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
Сосна	Радиальный	2,5	22,2	40,8	-0,672	-0,925	-1,02	-8,35	-11,4	-12,5
					+0,660	+0,771	+0,910	+8,10	+9,5	+11,1
		2,0	30,0	48,6	-0,634	-0,975	-1,100	-9,28	-14,2	-16,0
					+0,591	+0,795	+0,976	+8,65	+11,6	+14,2
		2,0	24,0	42,6	-0,561	-0,879	-0,975	-7,2	-11,2	-12,4
		2,3	26,0	44,6	-0,635	-0,803	-1,020	-8,5	-10,7	-14,6
					+0,410	+0,728	+0,955	+5,5	+9,7	+12,7
		2,0	29,0	47,6	-0,659	-0,853	-1,170	-9,4	-12,2	-16,7
					+0,682	+0,863	+1,100	+9,7	+12,3	+14,2
		2,0	27,7	46,3	-0,683	-1,05	-1,220	-9,5	-14,5	-16,9
	Промежуточные между радиальными и тангенциальными	1,9	30,4	49,0	+0,546	+0,841	+1,000	+7,5	+11,6	+13,8
					-0,780	-1,02	-1,220	-11,4	-15,0	-17,9
					+0,682	+0,955	+1,180	+10,0	+14,0	+17,3
		1,0	50,8	69,4	-0,561	-0,757	-1,020	-11,7	-15,7	-21,4
					+0,500	+0,908	+1,090	+10,4	+19,0	+22,7
		1,5	38,2	56,8	-0,682	-1,025	-1,160	-11,6	-17,5	-20,0
					+0,705	+1,090	+1,181	+12,0	+18,6	+20,2
		4,0	12,6	31,2	-1,030	-1,54	-2,00	-9,6	-14,4	-18,6
					+1,140	+1,65	+2,00	+10,7	+15,5	+18,6
		4,0	13,0	31,6	-1,140	-1,42	-1,83	-10,8	-13,5	-17,3
			+1,140	+1,42	+1,72	+10,8	+13,5	+16,2		
4,0	13,0	31,6	-1,140	-1,60	-1,880	-10,8	-15,1	-17,8		
			+1,100	+1,43	+1,72	+9,5	+13,5	+16,2		
2,0	29,8	49,4	-0,853	-0,975	-1,10	-12,0	-14,4	-16,2		
			+0,590	+0,682	+1,14	+8,7	+10,0	+16,8		
2,2	23,3	41,9	-0,610	-0,975	-1,10	-7,7	-12,2	-14,1		
			+0,727	+0,975	+1,36	+9,2	+11,4	+17,1		
Кавказская пихта	Тангенциальный	1,3	40,8	59,4	-0,488	-0,805	-1,12	-8,7	-14,3	-18,2
					+0,387	+0,682	+0,795	+6,9	+13,4	+14,1
Бук	Средн. арифм. из 5 обр.	2,65	21,0	39,7				-6,8	-12,6	-14,7
									+7,0	+12,8
Дуб	То же	3,63	20,3	39,4				-13,3	-20,0	-25,0
									+13,5	+20,5
Бук	Средн. арифм. из 4 биморфн. обр.	2,0	28,0	46,6				-13,0	-18,0	-24,0
									+13,0	+18,0
Бук	Средн. арифм. из 4 биморфн. обр.	1×2	21,8	40,4					-20,6	
		=2								+19,0

Примечания. 1. Заряды измерялись на гранях образца, обращенных к коре ствола в момент его изгиба по диагоналям. 2. Максимальная электризация с отрицательным знаком возбуждалась при растяжении пьезоэлемента по диагонали «2—2», а максимальная с положительным знаком — при сжатии по диагонали «4—4» (см. рис. 1).

сравнения исследовались пластинки из целлюлозы: с беспорядочно перемешанными волокнами (картон) и с сохранением расположения их в дереве, но приготовленные химической обработкой. Пластинки из беспорядочно перемешанных целлюлозных волокон вследствие потери

ориентации не обнаруживают определенно выраженного эффекта, в отличие от мацерированных химическими методами пластинок, обладающих значительным эффектом, близким к эффекту в нормальной древесине.

Таким образом, наши исследования указывают, что пьезоэлектрические свойства в древесине связаны с присутствием в ней целлюлозы.

Согласно классификации А. В. Шубникова, древесина должна быть отнесена к разряду пьезоэлектрических текстур первого рода с осью текстуры, направленной вдоль волокон. Для определения пьезомодуля в этом случае А. В. Шубниковым (1) дается уравнение $I_{\max} = \frac{1}{2} d_{133} t_{33}$ и предлагается форма образца, в котором ось текстуры направлена по диагонали электризующихся граней. На рис. 3 изображен такой образец применительно к древесине. Для сжатия таких пьезоэлементов требовались значительные усилия, которые осуществлялись на машине ИМ-4Р ЦНИИМАШ. Один из электродов пьезоэлемента через экранированный ввод соединялся с нитью электрометра. Второй электрод и корпус машины заземлялись. Мгновенные механические напряжения в образцах создавались путем поднятия и опускания маятника нагружающего механизма в заданных пределах.

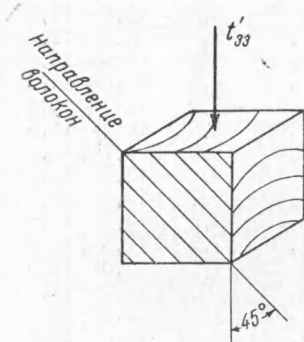


Рис. 3

В табл. 2 приводятся найденные нами величины пьезоэлектрического модуля для древесины сосны, дуба и березы. Эти данные показывают, что модуль у твердых пород больше, чем у мягких. Интересно отметить, что образцы при сжатии строго вдоль и поперек волокон, как и следовало ожидать, не электризовались.

Величина пьезоэлектрического модуля является новой физической характеристикой древесины, показывающей степень ориентации элементов ее структуры, что имеет большое значение для углубленного изучения технических свойств древесины. Полученные результаты вполне согласуются с теорией А. В. Шубникова о пьезоэлектрических текстурах.

электрических текстурах.

Таблица 2

Величины пьезоэлектрического модуля d_{133} в древесине

Порода древесины	Число измерений	Пьезоэлектрич. модуль d_{133} в 10^8 абс. ед.	Пределы колебаний пьезомодуля в 10^8 абс. ед.	Примечания
Сосна	15	0,311	0,183 — 0,450	Определения производились на образцах с размерами $h \times a \times b$ в см $1 \times 2 \times 2$, $2 \times 2 \times 2$ и $1 \times 1,5 \times 2$
Береза	14	0,455	0,320 — 0,665	
Дуб	9	0,502	0,395 — 0,630	

Работа была начата в Институте кристаллографии АН СССР и продолжена в лаборатории физики древесины Института леса АН СССР. Авторы приносят глубокую благодарность А. В. Шубникову за ценные указания и советы и Ф. Ф. Садовскому за помощь в подготовке аппаратуры и проведении экспериментов.

Институт леса и
Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступило
27 XII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. В. Шубников, Пьезоэлектрические текстуры, изд. АН СССР, 1946.