Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIV, вып. 1, 1961 г.

ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ЭД-6 ОТ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Е. А. Зимина, Д. П. Сенук

Оптический метод моделирования напряжений в настоящее время широко применяется при исследовании распределения напряжений в различных строительных конструкциях, при решении задач гидротехники, теоретической механики и получает все большее распространение в горном деле. Важнейшим вопросом при этом методе исследования является качество материала моделей, так как его свойства определяют возможности метода и технику эксперимента.

Применение поляризационно-оптического метода для изучения вопросов горного давления особенно сложно потому, что упругие свойства присущи не всем породам в одинаковой степени. В ряде случаев горные породы обнаруживают свойства пластичности, анизотропии, имеют трещиноватое или слоистое строение.

Для приближения условий эксперимента к натуре желательно иметь оптически активные материалы с различными физико-механическими и оптическими свойствами. Поэтому в Ленинградском горном институте и была поставлена задача изучения свойств некоторых из применяемых в настоящее время оптически активных материалов и выбора из них наиболее подходящих для решения конкретных задач. В связи с этим необходимо было освоить технологию варки материалов разного качества, определяя их механические и оптические свойства и устанавливая их изменение в зависимости от состава материала и технологии его изготовления.

Для исследования выбраны материалы, имеющие основой эпоксидную смолу ЭД-6 и дающие возможность решать объемные задачи при применении метода «замораживания» напряжений в центрифуге.

В Московском институте химического машиностроения изучались оптически активные материалы на основе эпоксидных смол [1]. Была доказана возможность значительного изменения модуля упругости E материала путем изменения содержания отвердителя и добавления в различных количествах пластификаторов. Настоящее исследование является продолжением и конкретизацией этой работы.

Первым этапом исследования было изготовление образцов оптически активного материала с процентным соотношением смолы ЭД-6 и отвер-

дителя соответственно 70 и 30, 100 и 30, 100 и 20. Для изготовленных образцов определялись оптическая постоянная $\sigma_0^{1,0}$, модуль упругости при растяжении E, коэффициент Пуассона и коэффициент качества $K = \frac{E}{\sigma_0^{1,0}} 10^{-3}$ при комнатной температуре и температуре «замораживания».

Таблица 1

Оптико-механические характеристики оптически активных материалов

Содержание смолы ЭД-6 и отвердителя, %	$\sigma_{сж}$, кг/см²	E, кг/см²		$\sigma_0^{1,0}$, кг/см²	K
		При комнатной температуре			
70 и 30	1140	$4{,}1-4{,}2 \cdot 10^4$	—	14	29
100 и 30	1275	$3{,}7-4 \cdot 10^4$	0,37	11	31
100 и 20	1100—1300	$3{,}5-3{,}7 \cdot 10^4$	0,37	11	31
		При температуре „замораживания"			
70 и 30		240	~0,5	0,32	0,75
100 и 30	—	260—300	~0,5	0,3—0,34	0,88
100 и 20	—	170	~0,5	0,28	0,60

Примечание. Предел прочности призматических образцов на сжатие $\sigma_{сж}$, модуль упругости при растяжении E и коэффициент Пуассона при комнатной температуре определены А. Н. Курочкиным и Е. Н. Тарасенко.

Как видно из табл. 1, модуль упругости материала при комнатной температуре изменяется незначительно, более быстрое изменение его наблюдается при температуре «замораживания» — в 1,5—2 раза. Однако целью настоящей работы было получение материалов, отличающихся по модулю упругости в 2—12 раз (соответственно диапазону модулей упругости горных пород). Как известно, уменьшение содержания отвердителя в смоле ниже 20% и свыше 40% делает материал хрупким и непригодным для моделирования [2]. Чтобы добиться указанного диапазона изменения модуля упругости при оптимальном соотношении малеинового ангидрида и смолы (30 и 100%), в материал был добавлен пластификатор — дибутилфталат и изготовлены образцы с содержанием пластификатора 1, 2, 3, 5, 7 и 10% от веса смолы ЭД-6. Результаты исследования сведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика материалов с разными количествами отвердителя и пластификатора

Содержание, %			E, кг/см²	$\sigma_0^{1,0}$, кг/см²	K
смолы	малеинового ангидрида	дибутилфталата			
100	30	—	170—200	0,280—0,375	0,59—0,60
100	30	1	160	—	—
100	30	2	140—150	—	—
100	30	3	130—140	—	—
100	30	5	40—50	0,220	0,33
100	30	7	30	0,275	0,11
100	30	10	20	0,230	0,09
100	20	—	130	0,290	0,50

Все полученные материалы подчиняются основному условию упругости — линейной зависимости числа полос m интерференции от величи-

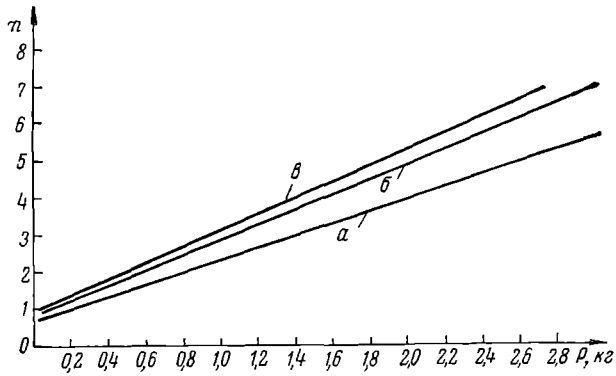


Рис. 1. Зависимость числа полос m интерференции от величины нагрузки на образец. Материал содержит дибутилфталата:
а — 5%; *б* — 7%; *в* — 10%

ны нагрузки на образец (рис. 1). При «замораживании» материалов с добавками пластификатора модуль упругости изменяется в 2—12 раз,

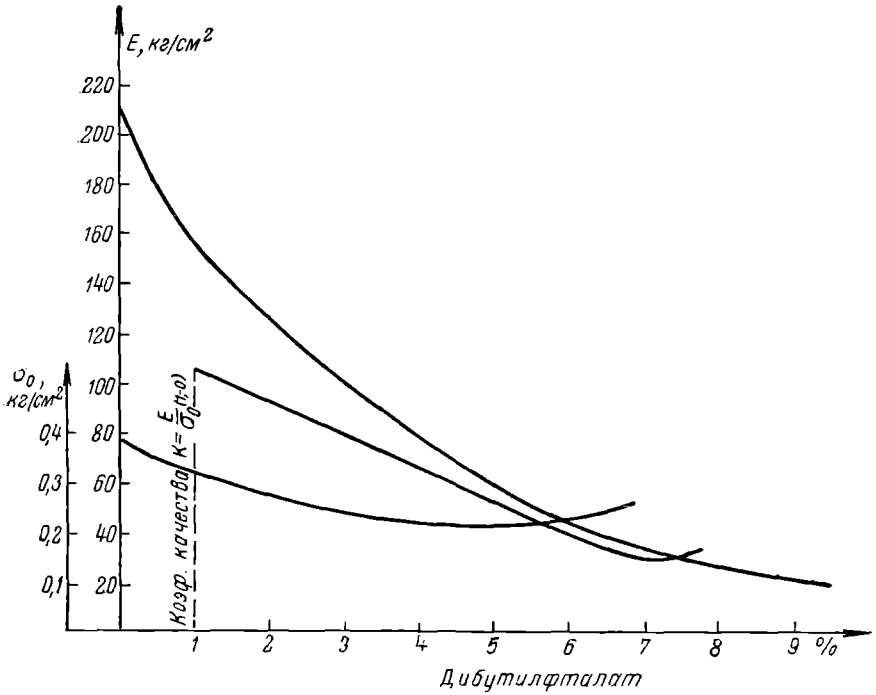


Рис. 2. Зависимость модуля упругости E, оптической постоянной $\sigma_0^{1,0}$ и коэффициента качества K материала от соотношения компонентов

оптическая постоянная материала при этом изменяется незначительно (рис. 2).

Отжиг, повторяемый от одного до трех раз, значительно влияет на величину модуля упругости образца. Так, после трехкратного отжига материала с 3% дибутилфталата при температуре, превышающей температуру «замораживания» на 10—15°, величина модуля упругости при температуре «замораживания» повышалась от 140 до 270 *кг/см*^{2} Материал без добавления пластификатора (30% отвердителя и 100% смолы ЭД-6) дает колебания модуля упругости при повторных отжигах от 200 до 300 *кг/см*^{2}. Введение пластификатора снижает температуру «замораживания» до 90—115°, а при повторном или трехкратном отжиге повышает на 15—20° Повышение модуля упругости и температуры «замораживания» материала при повторных отжигах объясняется продолжением процесса полимеризации смолы.

Исследование оптико-механических свойств материалов при температуре «замораживания» велось двумя способами: первый основан на измерении относительной продольной и поперечной деформации стандартной балочки при растяжении; второй — на известном в теории упругости решении Герца о контактных напряжениях в месте касания двух шаров (по методике лаборатории ОМИН ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева). Сравнение E и μ, полученных этими способами, приводит к заключению о тождественности их величин. Первый способ общеизвестен. Ошибка измерения поперечной деформации Δt и продольной деформации Δl по этому способу не превышала 0,002—0,005. Во втором способе при сжатии двух упругих шаров силами P давление распределяется по небольшому кругу касания, диаметр которого

$$d = \sqrt[3]{\frac{3P\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1}+\frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)}{\frac{1}{d_1}+\frac{1}{d_2}}}. \qquad (1)$$

При соприкосновении жесткого стального шара диаметром d_2 и весом P ($E_2 = \sim 2 \cdot 10^6$ *кг/см*^{2}) с пластинкой из податливого материала ($d_1 = \infty$), пренебрегая малым по величине числом $\frac{1-\mu_2^2}{E_2}$ и при $d_1 = \infty$, имеем

$$d = \sqrt[3]{3Pd_0\frac{1-\mu_1^2}{E_1}} \qquad (2)$$

откуда следует, что

$$\frac{E_1}{1-\mu_1^2} = \frac{3Pd_2}{d^3} \qquad (3)$$

С другой стороны, по закону Гука поперечная деформация растянутого образца с замороженными деформациями

$$\Delta t = -\frac{\mu t \sigma_1}{E} = -\frac{\mu t P}{btE}; \qquad (4)$$

тогда

$$\frac{E}{\mu} = -\frac{P}{\Delta t b}, \qquad (5)$$

Решая совместно уравнения (3) и (5), находим E и μ. Диаметр лунки и поперечная деформация измерялись с помощью компаратора ИЗА-2.

Для определения оптической постоянной $\sigma_0^{1,0}$ достаточно точен способ измерения порядка полосы в центре замороженного диска толщи-

ной t, сжимаемого по диаметру силой P Оптическая постоянная в этом случае

$$\sigma_0^{1,0} = \frac{8P}{\pi dm} = \frac{2{,}548P}{dm},$$

где m — порядок полосы.

Этот способ полностью исключает влияние краевого эффекта времени, так как порядок полосы определяется в центре диска.

Выводы

1. Количественные соотношения всех компонентов оптически активных материалов на основе смолы ЭД-6 позволяют регулировать модуль упругости материала в 2—12 раз.

2. Увеличение процентного содержания пластификатора в смоле ЭД-6 ведет к некоторому снижению коэффициента качества материала.

Результаты исследования облегчают подбор состава материала и технологии его приготовления с теми оптическими и механическими свойствами, которые нужны для поставленной конкретной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щеголевская Н. А., Соколов С. М., Хесин Г Л., Пригоровский Н. И. Разномодульные оптически активные материалы для поляризационно-оптического метода исследования напряжений. Изв. высших учебных заведений. «Машиностроение», 1958, № 4.

2. Пригоровский Н. И., Прейсс А. Н. и др. Модели из эпоксидной смолы ЭД-6 в поляризационно-оптическом методе исследования напряжений. «Заводская лаборатория», 1957, № 4.