

УДК.: 622.831.32; 624.131.543 (575.2) (04)

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОЧНОСТЬ ТВЕРДЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СРЕД

ТАЖИБАЕВ К.Т., КАЗАКБАЕВА Г.О., СУЛТАНАЛИЕВА Р.М., АКМАТАЛИЕВА М. С.

ИГ иОН НАН КР, КГТУ им. И.Раззакова

izvestiya@ktu.aknet.kg

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния остаточных напряжений на прочность модельных образцов эпоксидной смолы. Установлено изменение характера разрушения и уменьшение прочности данного упруго пластичного материала при наличии растягивающих остаточных напряжений.

The results of experimental investigations of residual stresses influence to the strength of epoxy model samples are given. The change of character failure and the decrease of strength of this elastically plastic material under presence of the tensile residual stresses is established

Известно, что многие исследователи в своих трудах отмечают о наличии остаточных напряжений и об их влиянии на механические характеристики для таких твердых деформируемых сред, как металлы, керамика, стекло, бетон и горные породы. Остаточные напряжения оказывают существенное влияние на прочность твердых тел. В то же время есть работы, в которых авторы считают, что влияние указанных выше напряжений на прочность при одноосном сжатии пластичных сред незначительное.

Анализируя известные работы по данной проблеме можно отметить, что единого мнения о влиянии остаточных напряжений на прочность твердых тел при нагружении сжатием пока нет.

Прочность твердого материала определяется не только и даже не столько прочностью межатомных или межмолекулярных связей, связывающих атомы: она зависит от реальной структуры материала. В этом случае под структурой понимаются разного рода неконтролируемые несовершенства, дефекты, посторонние микроскопические включения, микротрещинки и т.д. Именно такие несовершенства структуры собирают вокруг себя (концентрируют) напряжения, во много раз превосходящие среднее приложенное напряжение. В результате указанного эффекта как раз в местах наибольшей концентрации напряжений зарождаются и развиваются трещины, приводящие к катастрофическому разрушению твердого тела. Дефекты структуры распределены в объеме и на поверхности твердого тела случайным образом. Очевидно, их общее количество зависит от размеров твердого тела: чем больше размеры, тем больше в нем содержится дефектов и тем выше вероятность его разрушения при приложении одной и той же нагрузки. Поэтому прочность твердых тел растет с уменьшением их геометрических размеров. Но установленные таким образом, закономерности не снимают полностью вопроса о взаимоотношениях прочности и масштабов. [1].

Хотя эти вопросы, как и многие другие стороны проблемы прочности твердых деформируемых сред, уже достаточно подробно рассматривались исследователями, все же роль остаточных напряжений (структурных, начальных и т.д.) и их влияние на прочность твердых тел еще полностью не выяснена. В связи с этим представляется весьма актуальной работа по экспериментальному исследованию влияния остаточных напряжений в твердых оптически активных образцах на их прочностные показатели при статическом сжатии.

Количественная оценка влияния остаточных напряжений в твердых цилиндрических образцах изготовленных из оптически активного материала на показатель прочности при статическом одноосном сжатии.

Сущность методики проведения исследований заключалась в следующем. Нами оптически активные образцы цилиндрической формы были изготовленные из эпоксидной смолы марки ЭД-6.. Размеры образцов: высота-60мм, диаметр-28мм. Для испытаний образцы были разделены на две группы: 1 –образцы без остаточных напряжений; 2 –образцы с остаточными напряжениями. Все образцы до испытания на прочность при одноосном сжатии были сфотографированы через поляризационно-оптический прибор, который показывал, в каких образцах имеются остаточные напряжения и в каких они не имелись (рис. 2). Определение количественных значений остаточных напряжений в цилиндрических образцах, поляризационно-оптическим методом, связано со значительными трудностями из-за объемности изображения изохром. В связи с этим, среднее значение остаточных напряжений в образцах нами были определены ультразвуковым методом [2], основанным на использовании поляризованных поперечных волн. При этом все образцы были

прозвучены, и в каждом из них определены скорости прохождения продольной и поперечной ультразвуковой волны. Затем все образцы подвергались испытанию на одноосное сжатие для выявления характера влияния остаточных напряжений на их прочность. Условия испытания всех образцов при одноосном сжатии были одинаковые и стандартные. Торцевые поверхности испытываемых образцов подвергались шлифованию до параллельности торцов $\pm 0,05$ мм. Скорость нагружения составляла 5 - 10 кг/см² в секунду.

Анализ экспериментальных результатов. Результаты экспериментальных исследований влияния остаточных напряжений на прочность оптически активных образцов при их одноосном сжатии представлены ниже в табл.1. Из результатов исследований видно, что среднее значение прочности образцов, имеющие остаточные напряжения, при одноосном сжатии составляет 141,4 МПа. И эти образцы, имеющие остаточные напряжения, разрушались хрупко, со звуковым эффектом и разлетами кусков до 5м. Некоторые образцы при одноосном сжатии полностью измельчались до мельчайших частиц. В то же время при стандартных, одинаковых условиях испытания среднее значение прочности образцов без остаточных напряжений составляет 180,8 МПа. Образцы без остаточных напряжений при их испытании на одноосное сжатие, в основном деформируясь приняли бочкообразную форму до разрушений.

Ниже на рисунке 1 приведен график зависимости прочности образцов от остаточных и без остаточных напряжений при одноосном их сжатии. Из рисунка следует, что прочность образцов без остаточных напряжений более высокая, чем прочность образцов с остаточными напряжениями.

На рисунках 2-3 приведены картины образцов без остаточных и с остаточными напряжениями до испытания на прочность и после испытаний.

Из приведенных рисунков картин разрушения образцов после испытаний видно, что характер разрушения образцов с остаточными напряжениями вне зависимости от их химического состава приблизительно одинаковые. Следует отметить, что остаточные напряжения влияют на степень хрупкости материала, т.е. по мере увеличения остаточных напряжений происходит охрупчивание материала.

Нами также по данным скорости прохождения продольных и поперечных ультразвуковых волн были определены акустические и деформационные характеристики образцов, которые в последующем подвергались к испытаниям в условиях статического одноосного сжатия. Результаты определения характеристик приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 видно, что наличие остаточных напряжений в образцах не приводит к существенным изменениям деформационных и акустических характеристик. Это связано по видимому не высоким уровнем растягивающих остаточных напряжений (5-20 МПа) и преобладанием пластических свойств образцов.

Таблица 1

Прочность при одноосном сжатии цилиндрических образцов эпоксидной смолы

№ обр.	Материал и состояние образца	Диаметр и высота образца, мм.	Прочность при одноосном сжатии, МПа	Предельная абсолютная продольная деформация, мм.	примечание
1	2	3	4	5	6
1г	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=60	143	2	Трещинно образование при разгрузке (6т.), хруп.разруш.
2г	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=60	139,7	2,1	трещинообразование при разгрузке (6т.), динамич. разрушение
3г	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=60	141,4	3	динамич. разрушение, разлет куск. 5м.
7г	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=60	141,4	2	динамич. разрушение, разлет куск. 4м.
6г	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=60	141,4	4,8	динамич. разрушение, стрельяние при 7т.
4г	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=60	143,8	6,5	динамич. разрушение, стрельяние при 6,5 т.
5г	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=60	141,4	4	стрельяние при 6 т., динамич. разрушение при 4 т.
1	2	3	4	5	6

5т	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=61	140,5	2	динамич. разрушение при
1т	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=59	142,1	1,5	Треск при 7 т., динамич. разрушение при 6 т.
2т	ЭД-6, с остаточными напряжениями	d=28; h=61	139,7	3	Треск при 6,6 т., динамич. разр. при 6 т.
	Среднее значение, МПа		141,4		
	Среднеквадратич.откл., МПа		1,24		
	Коэфф. вариации,%		0,88		
6т. о.	ЭД-6, без остаточных напряжений	d=28; h=57	198,7	13	бочкообразование
8б	ЭД-6, без остаточных напряжений	d=28; h=56,4	165,7	11	
9б	ЭД-6, без остаточных напряжений	d=28; h=53	199,1	9	бочкообразование
10 б	ЭД-6, без остаточных напряжений	d=28; h=53	192,8		
6б. н	ЭД-6, без остаточных напряжений	d=28; h=61	147,9	4	
	Среднее значение, МПа		180,8		
	Среднеквадратич.откл., МПа		20,54		
	Коэфф. вариации,%		11		

Зависимость прочности при одноосном сжатии от остаточных напряжений (образцы цилиндрической формы, ЭД-6, диаметр -28мм, высота -61мм)

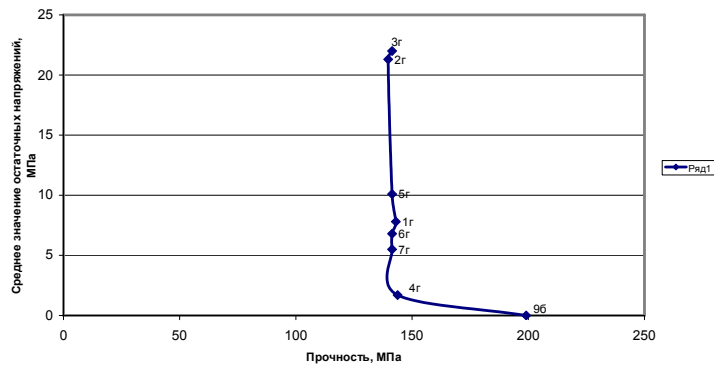


Рис. 1. Зависимость прочности образцов от остаточных напряжений при одноосном сжатии

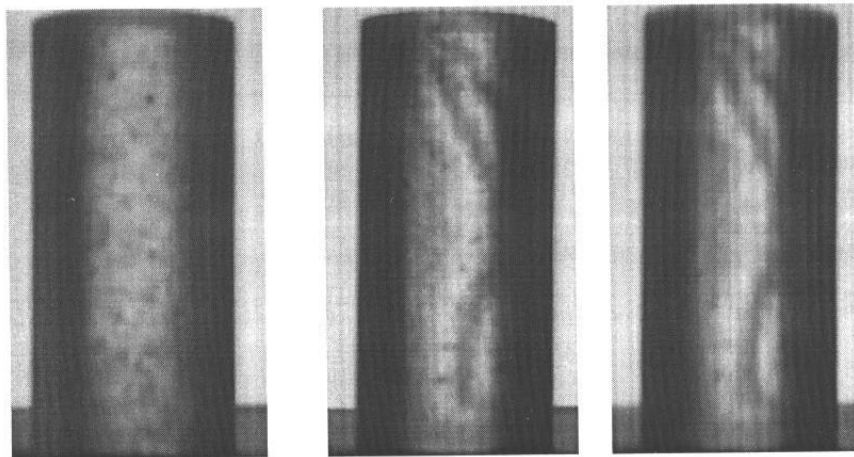


Рис.2. Виды образцов без остаточных и с остаточными напряжениями до испытаний на прочность при одноосном сжатии.

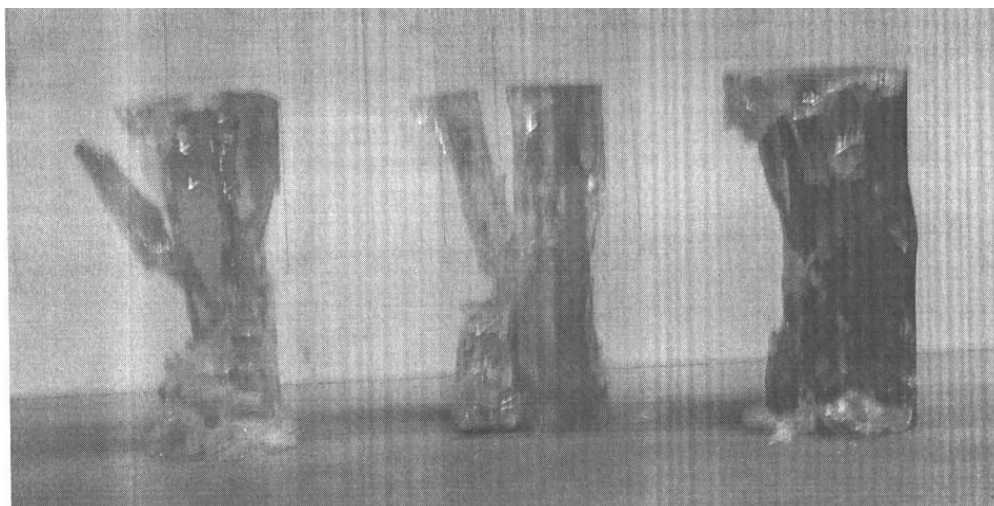


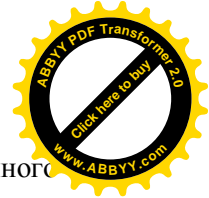
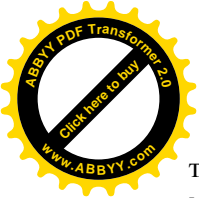
Рис. 3. Виды разрушений образцов с остаточными напряжениями после испытаний на прочность при одноосном сжатии

Таблица 2

Акустические и деформационные характеристики цилиндрических образцов эпоксидной смолы (ЭД-6)

Название	Плотность, г/см ³	Скорость продольной волны, м/с	Скорость поперечной волны, м/с	Коэф. Пуассона	Модуль упругости, Е·10 ⁴ МПа	Модуль объемной упругости, К·10 ⁴ МПа	Модуль сдвига, G·10 ⁴ , МПа	Акустическая жесткость А·10 ⁶ , кг/сек·м ²
Оптически активные образцы с остаточными и напряжениями	1,23	2500	1250	0,33	0,51	0,34	0,11	3,07
	1,26	2500	1304,3	0,31	0,56	0,37	0,13	3,15
	1,23	2500	1363,6	0,29	0,59	0,38	0,14	3,07
	1,26	2608,7	1276,6	0,34	0,55	0,37	0,12	3,28
	1,25	2608,7	1428,5	0,28	0,65	0,42	0,15	3,26
	1,31	2608,7	1395,3	0,30	0,66	0,43	0,15	3,41
	1,25	2608,7	1428,5	0,28	0,65	0,42	0,15	3,26
	1,26	2541,6	1418,6	0,27	0,64	0,41	0,15	3,20
	1,26	2565,2	1255,3	0,34	0,53	0,35	0,11	3,23
1,24	2541,6	1297,8	0,32	0,55	0,36	0,12	3,15	
Сред. знач.	1,25	2558,3	1341,8	0,30	0,59	0,38	0,13	3,21
Сред.кв.откл				0,02	0,05	0,03	0,01	0,1
коэфф-т вар.				8	9	8	12	3
Образцы без остаточных напряжений	1,22	2565,2	1404,7	0,28	0,62	0,40	0,14	3,13
	1,20	2541,6	1355,5	0,30	0,57	0,37	0,13	3,05
	1,24	2478,2	1295,4	0,31	0,54	0,36	0,12	3,07
	1,23	2434,8	1302,3	0,30	0,54	0,35	0,12	2,99
	1,21	2523,8	1261,9	0,33	0,51	0,34	0,11	3,05
	1,22	2523,8	1325	0,31	0,56	0,36	0,13	3,08
Сред. знач.	1,22	2511,2	1324,1	0,30	0,55	0,36	0,12	3,06
Сред.кв.откл				0,01	0,03	0,02	0,01	0,04
коэфф-т вар.				5	6	5	7	1

Установлено, что перераспределение остаточных напряжений после образования первичных микротрещин может привести к дальнейшему «самоподдерживающемуся» развитию систем



трещин и в области разгрузки, обуславливая динамическое разрушение упруго-пластичного материала.

2. Установлено, что наличие растягивающих остаточных напряжений могут привести к уменьшению прочности и охрупчиванию упруго – пластичного материала типа эпоксидной смолы ЭД - 6.

Литература

1. А.Л. Волынский. Зависит ли прочность твердого тела от его размеров. //Ежемесячный естественно научный журнал РАН «Природа», №9, 2007г.).
2. Тажибаев К.Т. Метод определения остаточных напряжений и их тензора в твердых материалах. /Вестник Кыргызско - Российского славянского университета. 2008г. Том 8, №10. Бишкек. С.66-70.

