



КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

НОВИНКИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

ПАРАМЕТРЫ УНИВЕРСАЛЬНЫХ РАЗРЫВНЫХ МАШИН

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ U60-U65

РАСШИРЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПО U60-U65

ЧАСТНЫЕ ЗАДАЧИ

LEADER II – НОВОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ GOTECH

# Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов.



***«Нам нужен один общий понятийный аппарат» - ВВ***

*01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор -Угненко Игорь Георгиевич  
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»*

## ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ



**Архимед** – прочность стен

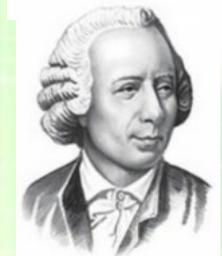
**Леонардо да Винчи** – прочность проволоки, прочность балок на растяжение-изгиб, испытательные машины для балок



**Галилей** – изгиб балок (основы),

наука о прочности

**Гук** – упругость материалов, закон Гука



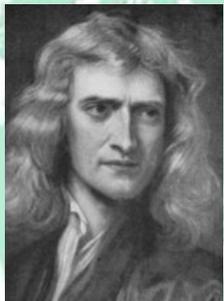
**Ломоносов** – прочность материалов при сжатии и твердость

**Эйлер** – устойчивость стержней, ферм

**Журавский** – прочность ферм, мостов, касательные напряжения



**Крылов** – прочность сложных пространственных подкрепленных тонкостенных конструкций (корабли, самолеты, ...)



01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор - Угненко Игорь Георгиевич

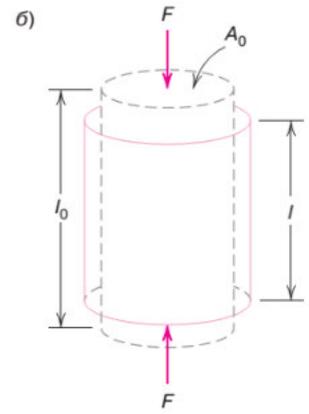
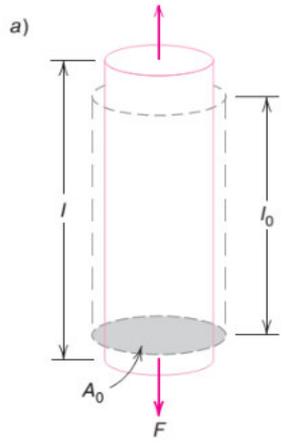
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»





# ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ (E, G, ν)

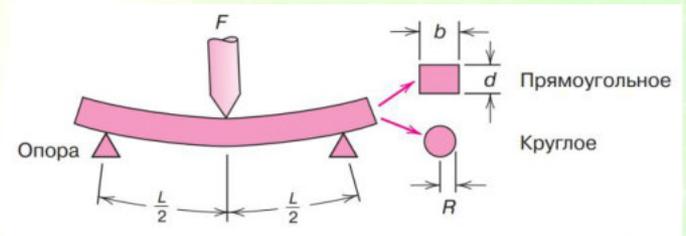
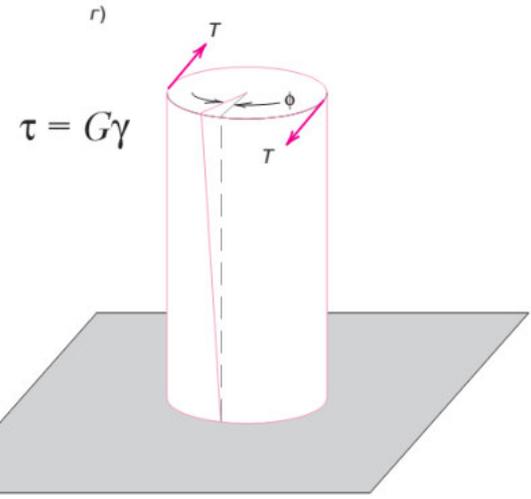
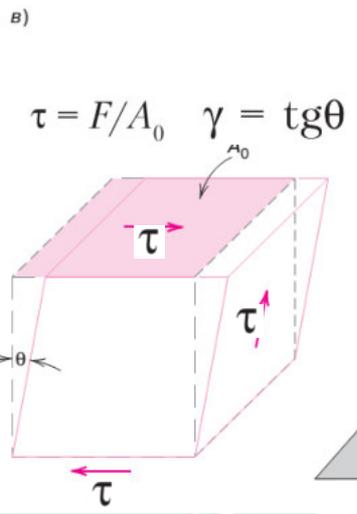
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



$$\sigma = F/A_0$$

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\sigma = \epsilon E = \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right) E$$

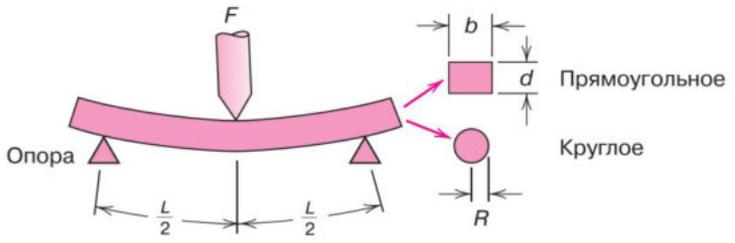




# ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ (изгиб и кручение)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

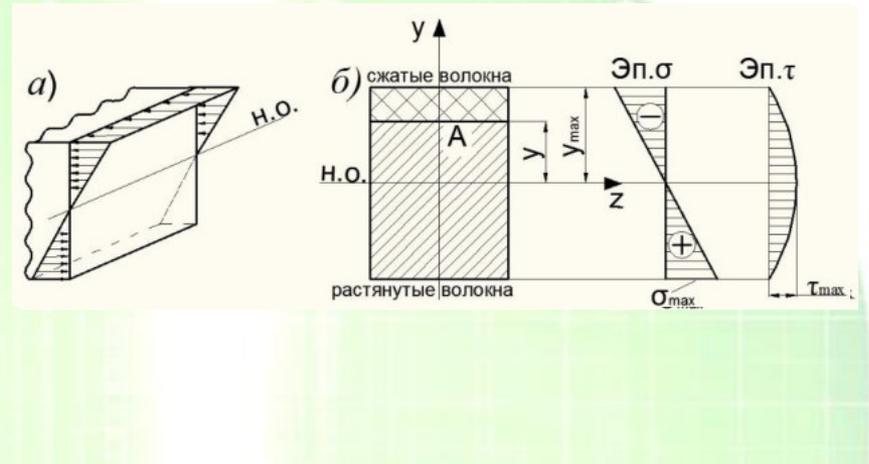
Возможные формы поперечного сечения



$$\sigma = \text{напряжение} = \frac{Mc}{I}$$

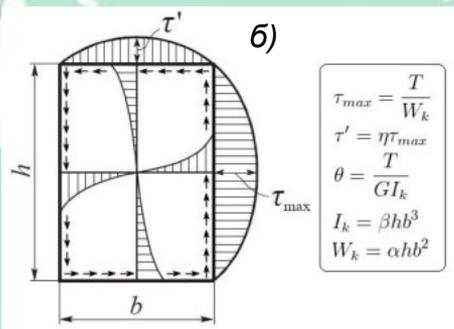
где  $M$  = максимальный изгибающий момент  
 $c$  = расстояние от центра образца до его поверхности  
 $I$  = момент инерции поперечного сечения образца  
 $F$  = приложенная нагрузка (сила)

	$\frac{M}{c}$	$\frac{I}{c}$	$\frac{\sigma}{c}$
Прямоугольное	$\frac{FL}{4}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Круглое	$\frac{FL}{4}$	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$



Напряжение при изгибе, для полимерных материалов, обычно превышает разрушающее растяжению и это отображено в следующей таблице:

	Разрушающее напряжение, МПа, при		
	растяжению	изгибе	сжатию
Щ	95	60	70
Щ	55	100	80
Щ	22,5	11-14	20
Щ	35-40	100	80
Щ	50-60	70	70-90
Щ	57-60	80-100	80-90
Щ	340	700	358



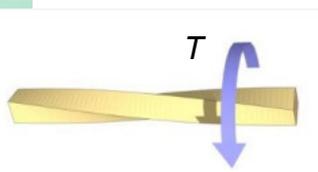
$$\tau_{max} = \frac{T}{W_k}$$

$$\tau' = \eta \tau_{max}$$

$$\theta = \frac{T}{GI_k}$$

$$I_k = \beta hb^3$$

$$W_k = \alpha hb^2$$

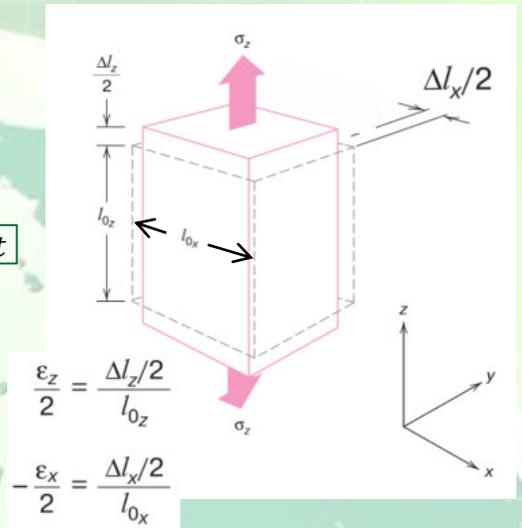




# ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ( $E, G, \nu$ )

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

объем = const



$$\frac{\epsilon_z}{2} = \frac{\Delta l_z/2}{l_{0z}}$$

$$-\frac{\epsilon_x}{2} = \frac{\Delta l_x/2}{l_{0x}}$$

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \quad \text{- коэффициент Пуассона}$$

$$0.25 < \nu < 0.5$$

$E; G; \nu$

Связь модуля упругости и модуля сдвига

$$E = 2G(1 + \nu) \quad \text{- изотропия}$$

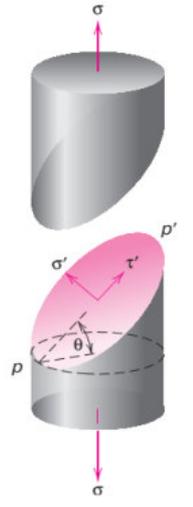
$$0.25 < \nu < 0.35 \quad \text{- для металлов}$$

$$G \approx 0.4E$$



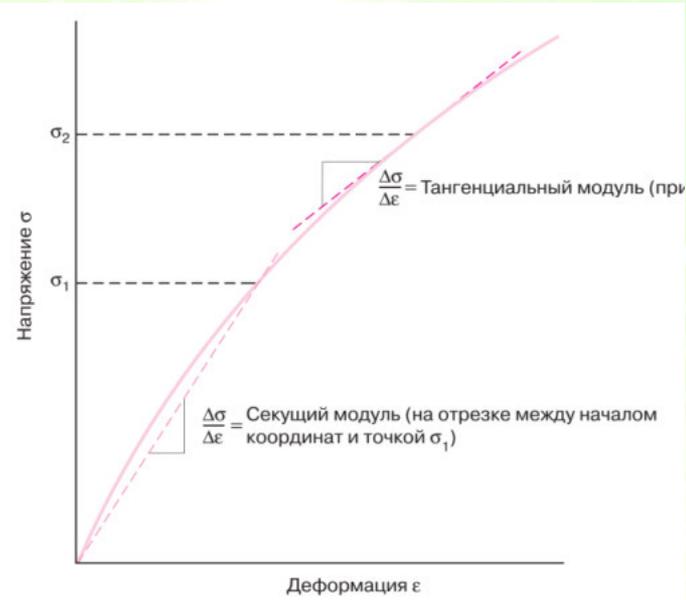
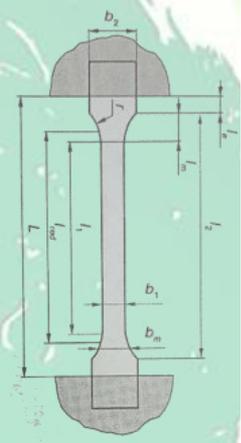
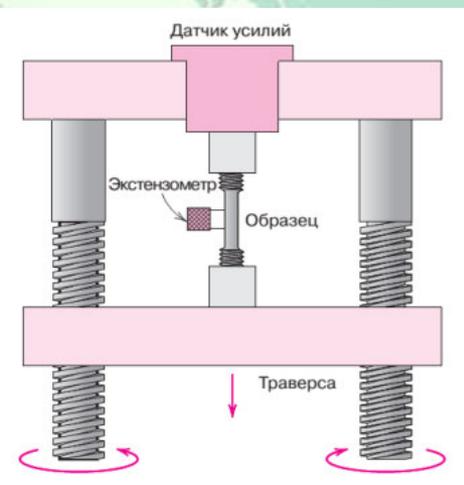
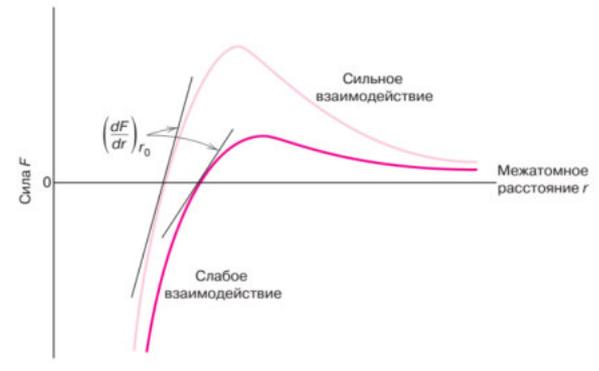
# ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



$$\sigma' = \sigma \cos^2 \theta = \sigma \frac{1 + \cos 2\theta}{2}$$

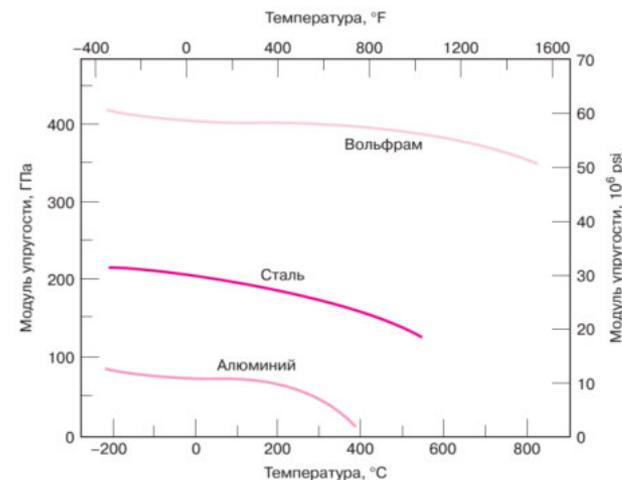
$$\tau' = \sigma \sin \theta \cos \theta = \sigma \frac{\sin 2\theta}{2}$$



# ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ



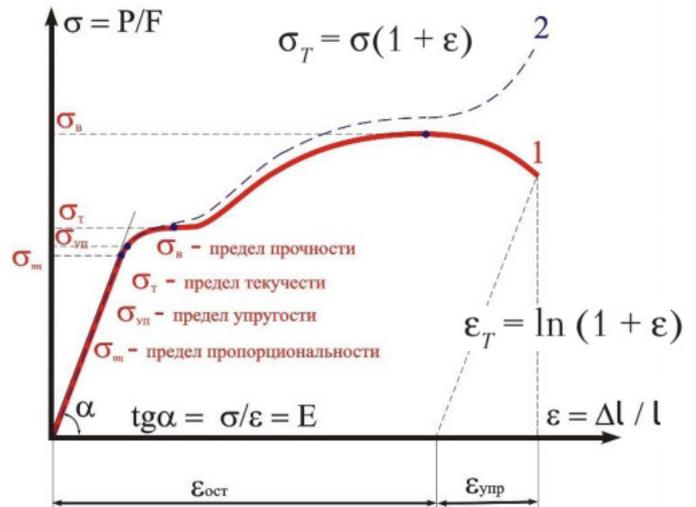
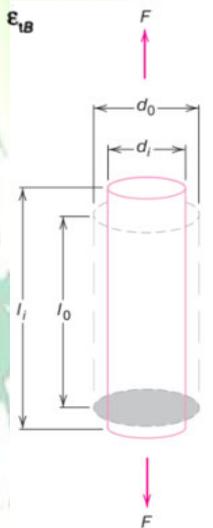
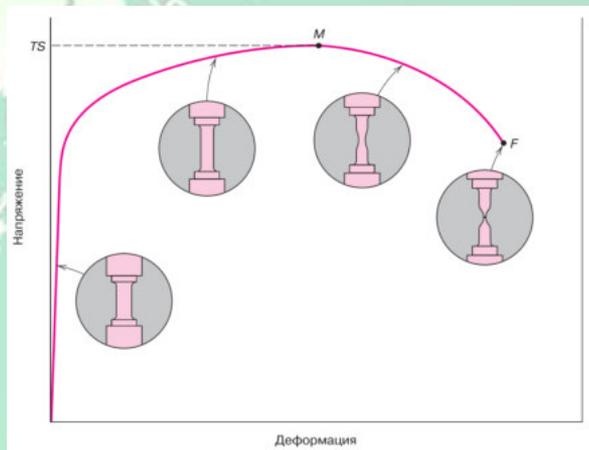
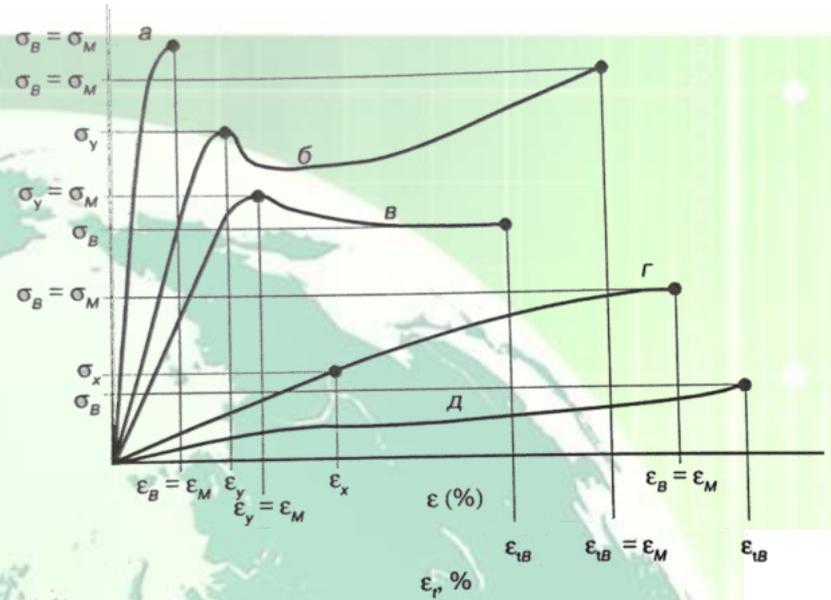
Материал	Модуль упругости		Модуль сдвига		Коэффициент Пуассона
	ГПа	10 <sup>6</sup> , psi	ГПа	10 <sup>6</sup> , psi	
<b>Металлические сплавы</b>					
Вольфрам	407	59	160	23,2	0,28
Сталь	207	30	83	12,0	0,30
Никель	207	30	76	11,0	0,31
Титан	107	15,5	45	6,5	0,34
Медь	110	16	46	6,7	0,34
Бронза	97	14	37	5,4	0,34
Алюминий	69	10	25	3,6	0,33
Магний	45	6,5	17	2,5	0,35
<b>Керамика</b>					
Оксид алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	393	57	—	—	0,22
Карбид кремния (SiC)	345	50	—	—	0,17
Нитрид кремния (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )	304	44	—	—	0,30
Шпинель (MgAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	260	38	—	—	—
Оксид магния (MgO)	225	33	—	—	0,18
Оксид циркония (ZrO <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>	205	30	—	—	0,31
Муллит (3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> )	145	21	—	—	0,24
Стеклокерамика (Пирокерам)	120	17	—	—	0,25
Плавленное стекло (SiO)	73	11	—	—	0,17
Натриевое стекло	69	10	—	—	0,23
<b>Полимеры<sup>2</sup></b>					
Фенолформальдегидная смола	2,76–4,83	0,40–0,70	—	—	—
Поливинилхлорид (ПВХ)	2,41–4,14	0,35–0,60	—	—	0,38
Полиэтилентерефталат (ПЭТ)	2,76–4,14	0,40–0,60	—	—	0,33
Полистирол (ПС)	2,28–3,28	0,33–0,48	—	—	0,33
Полиметилметакрилат (ПММА)	2,24–3,24	0,33–0,47	—	—	0,37–0,44
Поликарбонат (ПК)	2,38	0,35	—	—	0,36
Полиамид 6,6	1,59–3,79	0,23–0,55	—	—	0,39
Полипропилен (ПП)	1,14–1,55	0,17–0,23	—	—	0,40
Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП)	1,08	0,16	—	—	0,46
Политетрафторэтилен (ПТФЭ)	0,40–0,55	0,058–0,080	—	—	0,46
Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП)	0,17–0,28	0,025–0,041	—	—	0,33–0,40



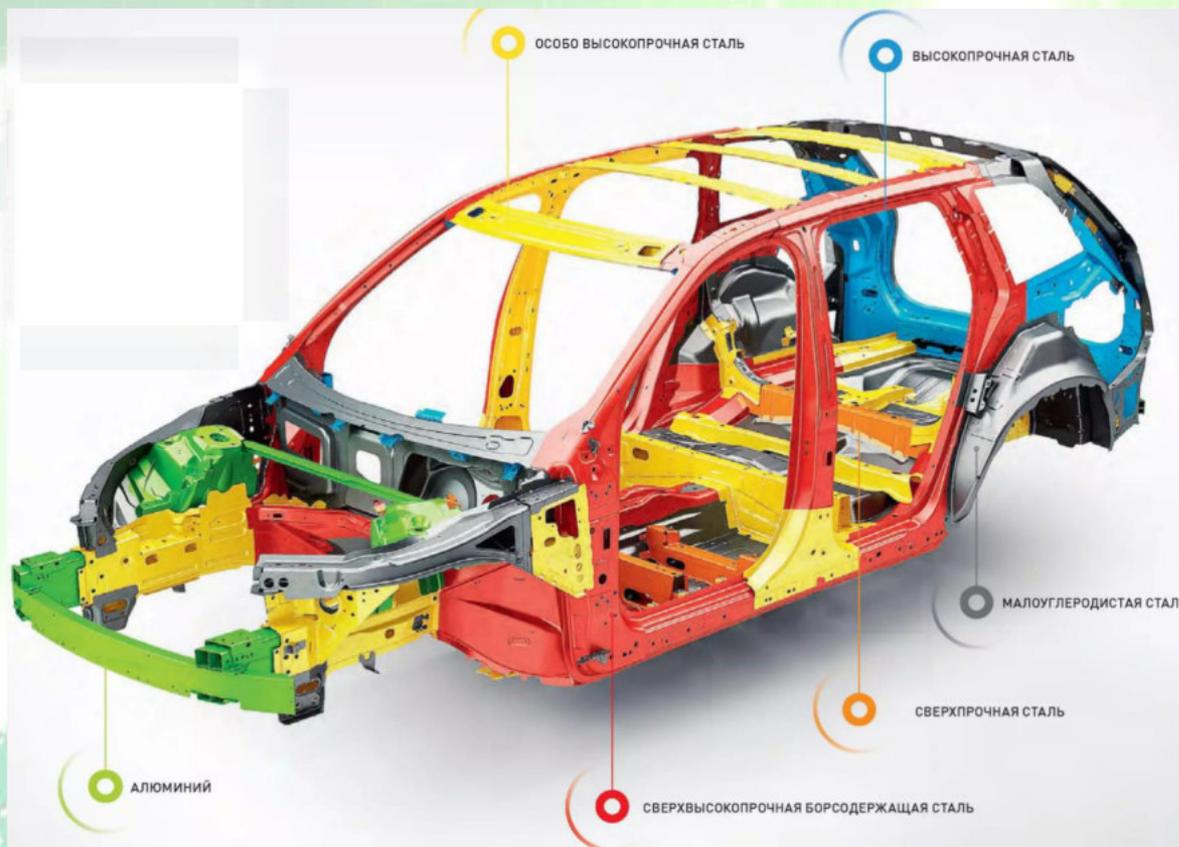


ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ –растяжени ε/сжатие

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



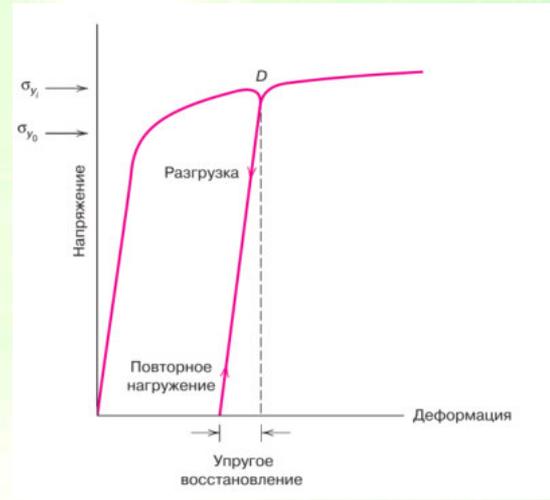
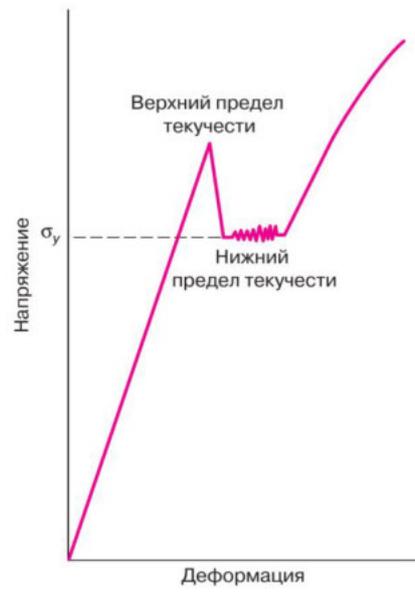
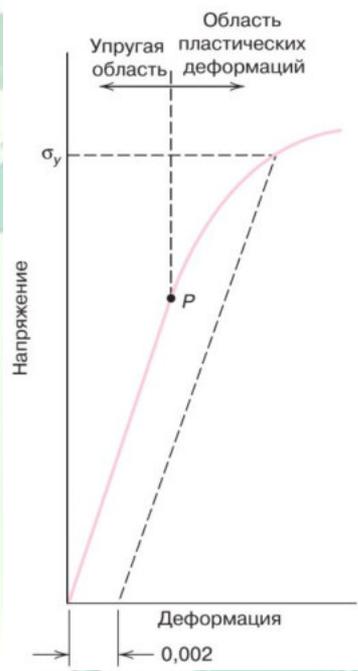
# МЕТАЛЛЫ



01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор - Угненко Игорь Георгиевич  
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»

# МЕТАЛЛЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



$$0.25 < \nu < 0.35$$

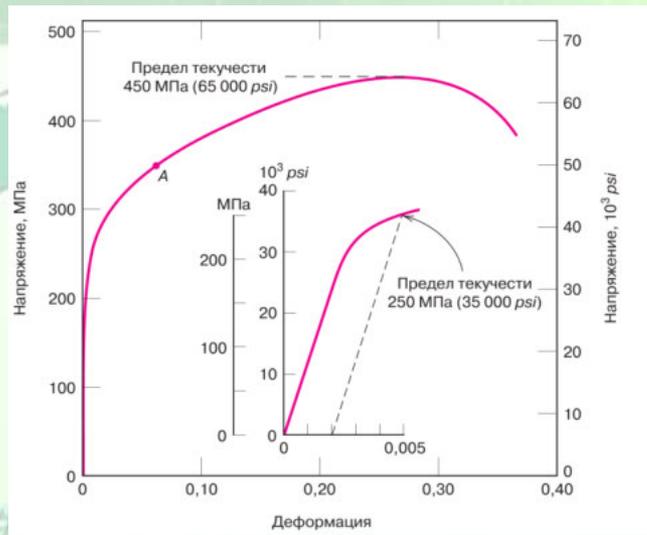
$$G \approx 0.4E$$

- для металлов

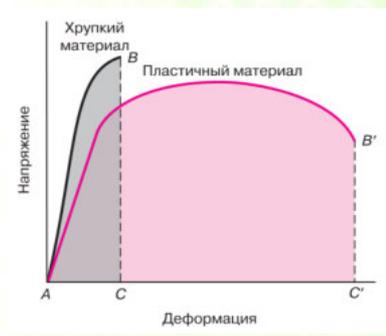
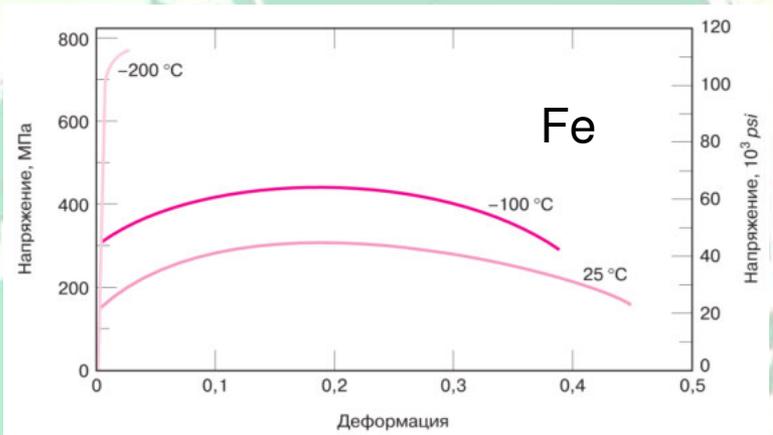


# МЕТАЛЛЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



Материал	Предел текучести		Предел прочности		Пластичность, %EL (для 50 мм, 2 дюйма) <sup>a</sup>
	МПа	ksi	МПа	ksi	
<b>Металлические сплавы<sup>b</sup></b>					
Молибден	565	82	655	95	35
Титан	450	65	520	75	25
Сталь (марки 1020)	180	26	380	55	25
Никель	138	20	480	70	40
Железо	130	19	262	38	45
Бронза (Cu70–30Zn)	75	11	300	44	68
Медь	69	10	200	29	45
Алюминий	35	5	90	13	40

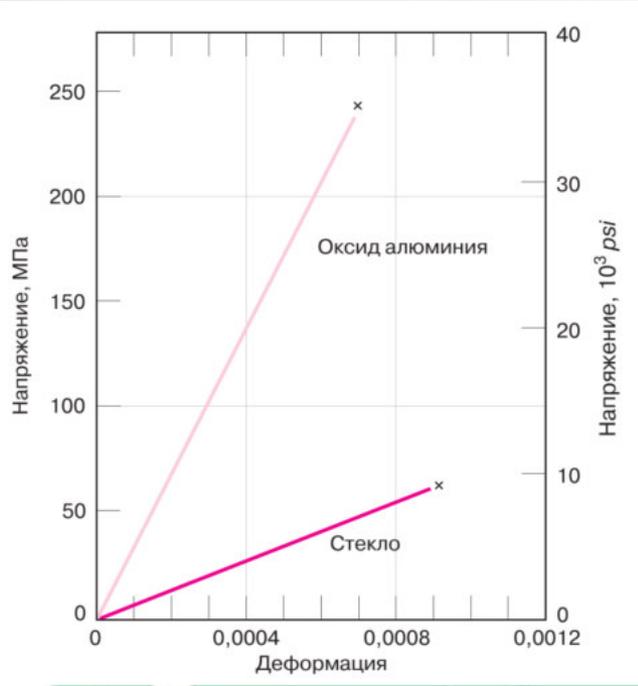


01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор -Угненко Игорь Георгиевич  
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»



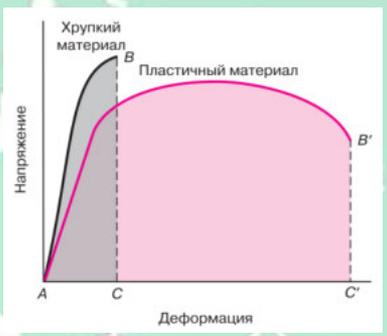
# КЕРАМИКА И СТЕКЛО

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



- Оксид циркония ( $ZrO_2$ )<sup>r</sup>
- Нитрид кремния ( $Si_3N_4$ )
- Оксид алюминия ( $Al_2O_3$ )
- Карбид кремния ( $SiC$ )
- Стеклокерамика (пирокерам)
- Муллит ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )
- Шпинель ( $MgAl_2O_4$ )
- Оксид кремния ( $SiO_2$ )
- Оксид марганца ( $MgO$ )<sup>p</sup>
- Натриевое стекло

	Предел прочности	
	МПа	ksi
<b>Керамика<sup>r</sup></b>		
Оксид циркония ( $ZrO_2$ ) <sup>r</sup>	800–1500	115–215
Нитрид кремния ( $Si_3N_4$ )	250–1000	35–145
Оксид алюминия ( $Al_2O_3$ )	275–700	40–100
Карбид кремния ( $SiC$ )	100–820	15–120
Стеклокерамика (пирокерам)	247	36
Муллит ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )	185	27
Шпинель ( $MgAl_2O_4$ )	110–245	16–36
Оксид кремния ( $SiO_2$ )	110	16
Оксид марганца ( $MgO$ ) <sup>p</sup>	105	15
Натриевое стекло	69	10

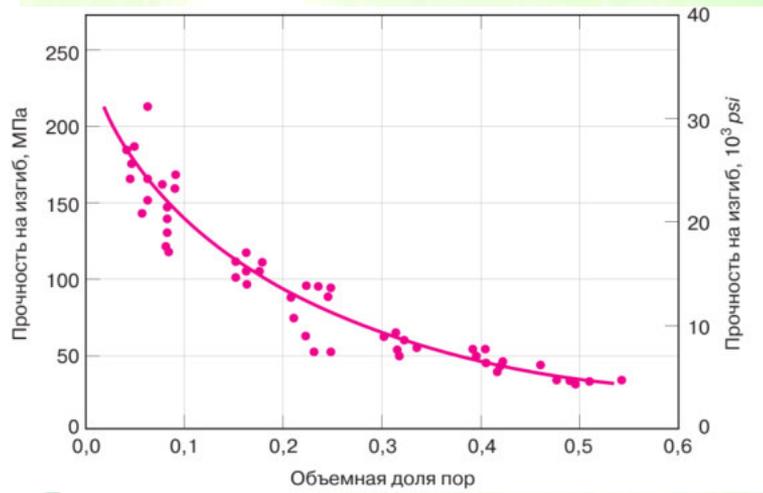
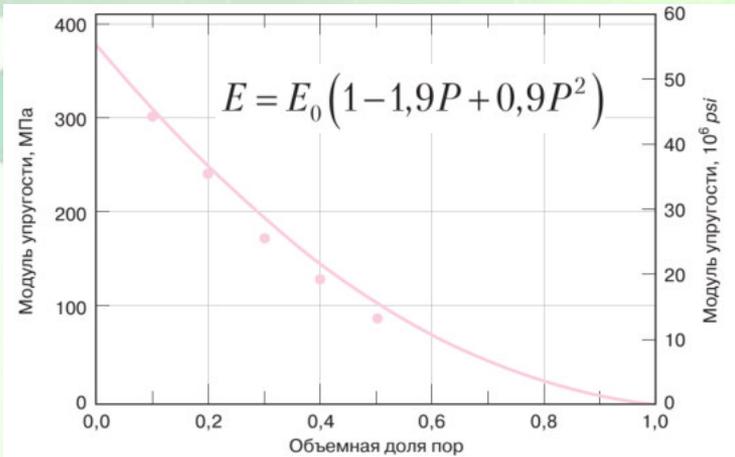


01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор -Угненко Игорь Георгиевич  
 Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»



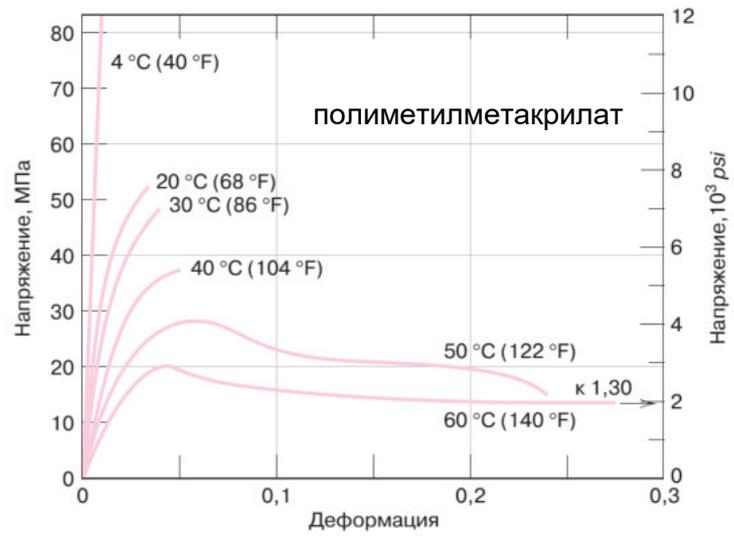
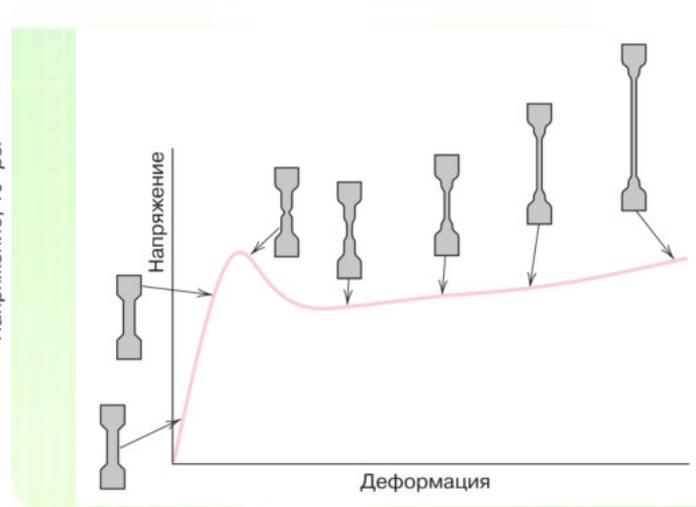
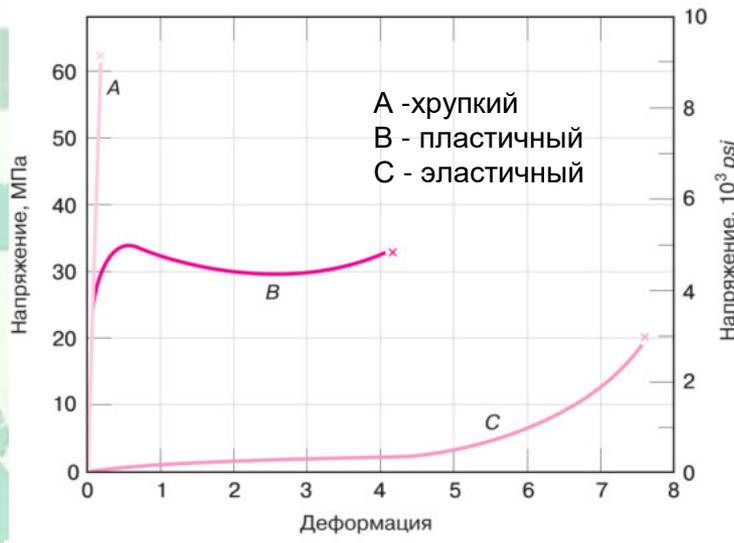
# КЕРАМИКА И СТЕКЛО

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор -Угненко Игорь Георгиевич  
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»

ПОЛИМЕРЫ - РАСТЯЖЕНИЕ/СЖАТИЕ

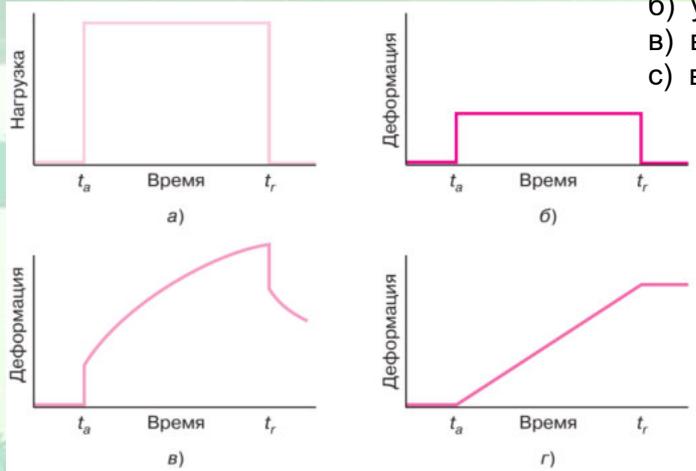




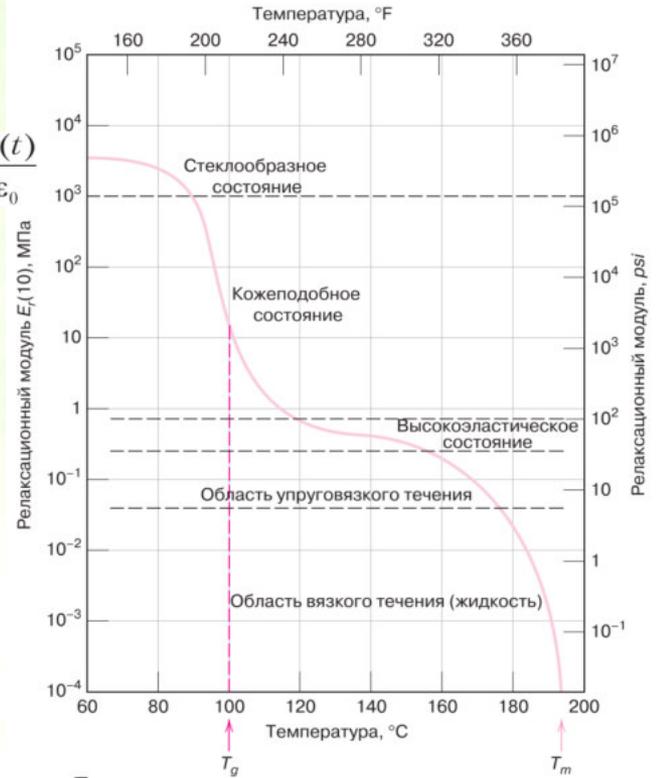
# ПОЛИМЕРЫ - ВЯЗКОУПРУГОСТЬ/ПОЛЗУЧЕСТЬ/РЕЛАКСАЦИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

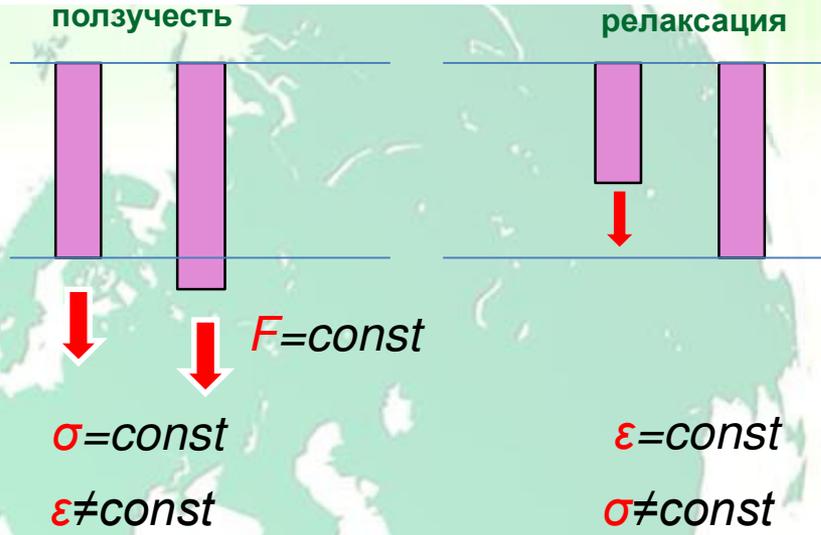
- а)  $F = \text{const}$  при  $t_a < t < t_r$
- б) упругий отклик
- в) вязко-упругий отклик
- с) вязкий отклик



$$E_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_0}$$



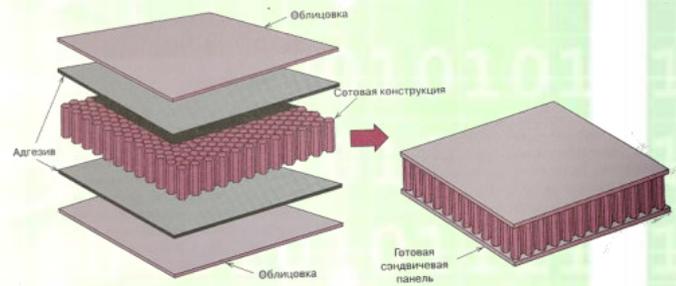
$$E_c(t) = \frac{\sigma_0}{\epsilon(t)}$$





# КОМПОЗИТЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ



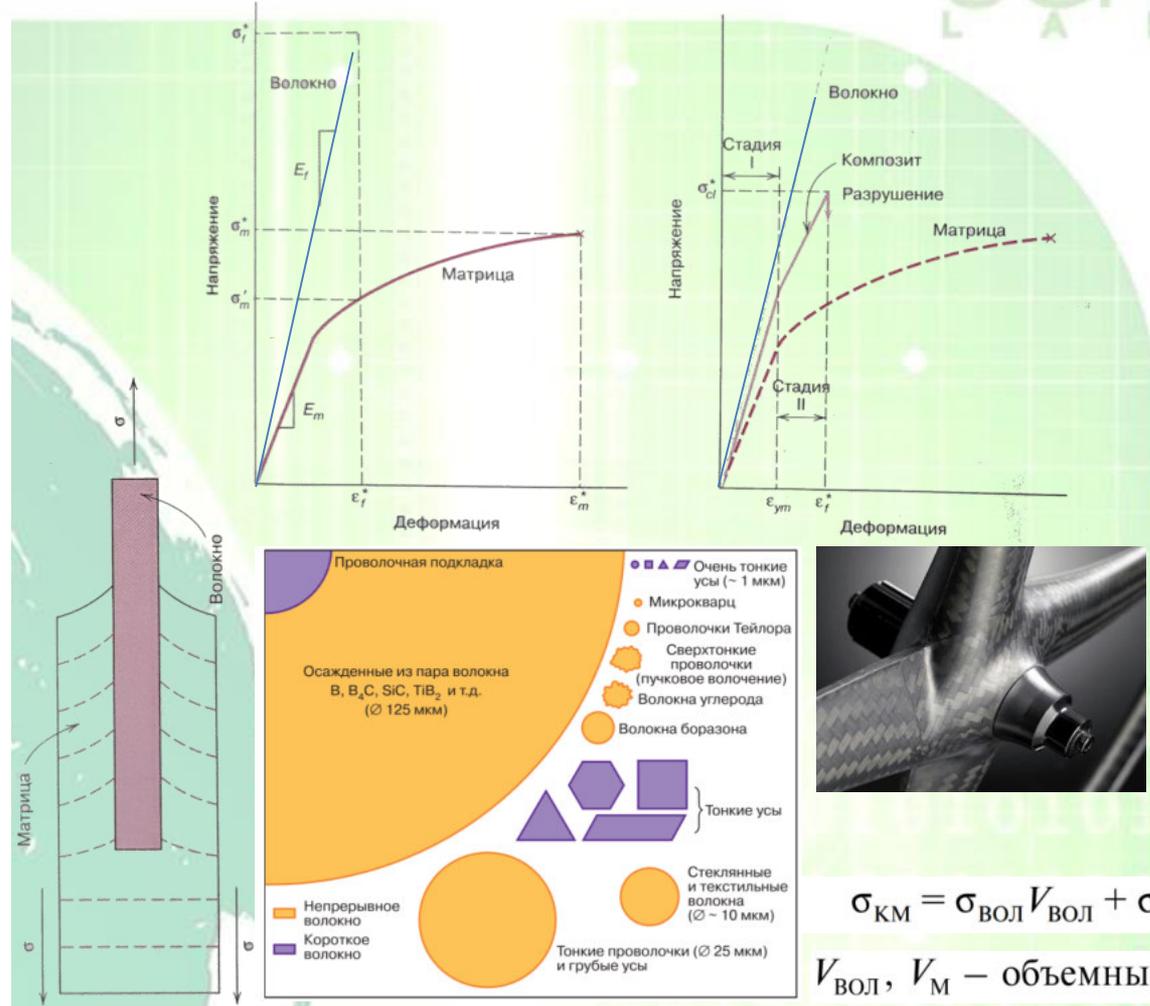
01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор -Угненко Игорь Георгиевич  
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»



# КОМПОЗИТЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

Тип волокон	Температура плавления или размягчения, °С	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении, кгс/мм <sup>2</sup>	Модуль Юнга × 10 <sup>-3</sup> , кгс/мм <sup>2</sup>	Типичная толщина, мкм
<b>Непрерывные стеклянные</b>					
E-стекло	700	2,55	350	73,5	10
S-стекло	840	2,50	455	88,2	10
4Н-1	900	2,66	511	101,5	—
SiO <sub>2</sub>	1660	2,19	595	33,2	35
<b>Поликристаллические</b>					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2040	3,15	210	175	—
ZrO <sub>2</sub>	2650	4,84	210	350	—
Углерод/графит	3650	1,50	245	210	5
BN	2980	1,90	140	91	7
<b>Металлические</b>					
W	3400	19,4	406	413	13
Mo	2620	10,2	224	364	25
Ренн 41	1350	8,26	203	168	25
Сталь	1400	7,74	420	203	13
Ве	1280	1,83	129	245	127
<b>Усы</b>					
<b>Керамические</b>					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2040	3,96	2100	434	3–10
BeO	2570	2,85	1330	350	10–30
B <sub>4</sub> C	2450	2,54	1400	490	—
SiC	2690	3,18	2100	490	1–3
Графит	3650	1,66	1991	425	—
<b>Металлические</b>					
Cr	1890	7,20	903	245	—
Cu	1083	8,92	299	126	—
Fe	1540	7,83	1330	203	—
Ni	1455	8,98	392	217	—

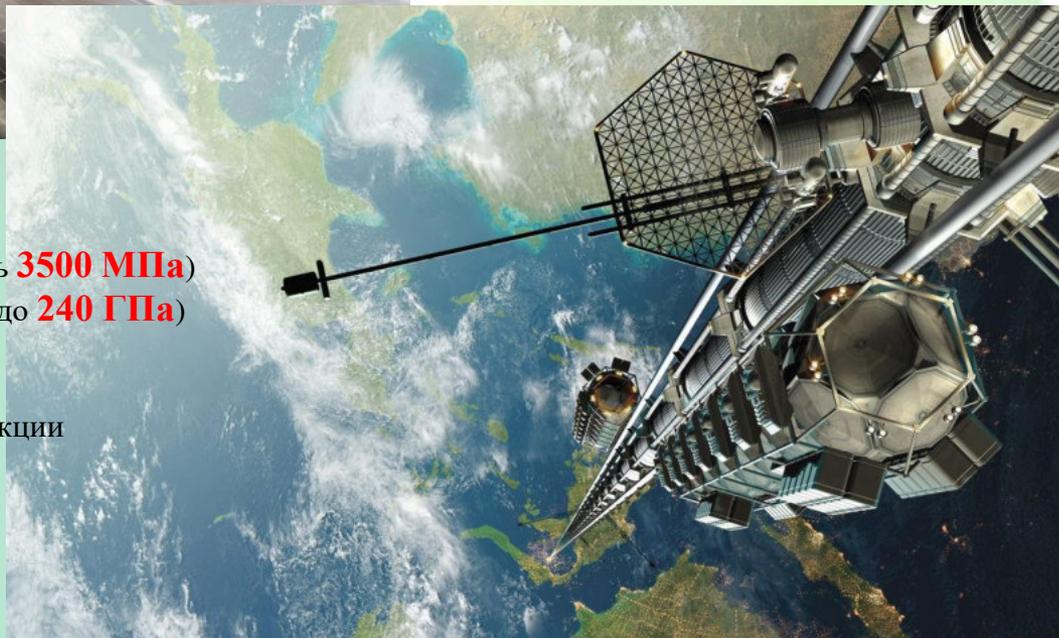


$$\sigma_{KM} = \sigma_{VOL} V_{VOL} + \sigma_M V_M$$

$V_{VOL}, V_M$  — объемные доли

01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор - Угненко Игорь Георгиевич  
 Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»

# КОМПОЗИТЫ



- высокая удельная **прочность** (прочность **3500 МПа**)
- высокая **жѳсткость** (модуль упругости до **240 ГПа**)
- высокая **износостойкость**
- высокая **усталостная прочность**
- высокая **размеростабильность** конструкции
- **легкость**

01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор -Угненко Игорь Георгиевич  
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»



# СПАСИБО ЗА БОЛЬШОЕ ВНИМАНИЕ

*01-02 Декабря 2016 г., Москва, Ген.директор -Угненко Игорь Георгиевич  
Семинар: «Теория и практика физ.-мех. испытаний различных конструкционных материалов»*