

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Московский политехнический университет**

**Транспортный факультет
Кафедра «Динамика и прочность транспортно-технологических систем»**

**Лабораторная работа №5 по дисциплине «Технологическая механика
композитов»**

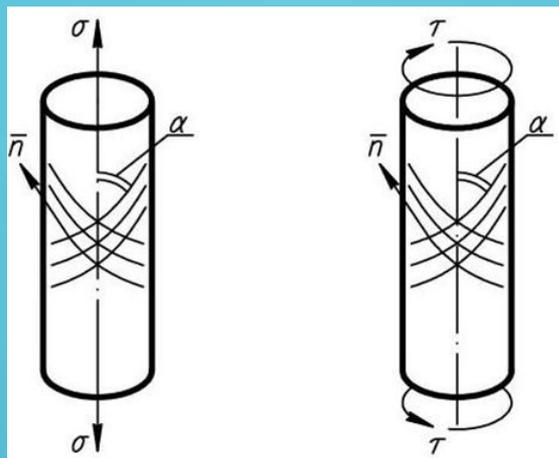
**Критерии прочности намоточных труб при растяжении, кручении и сложном
напряженном состоянии.**

Москва, 2020

ЗАДАЧИ

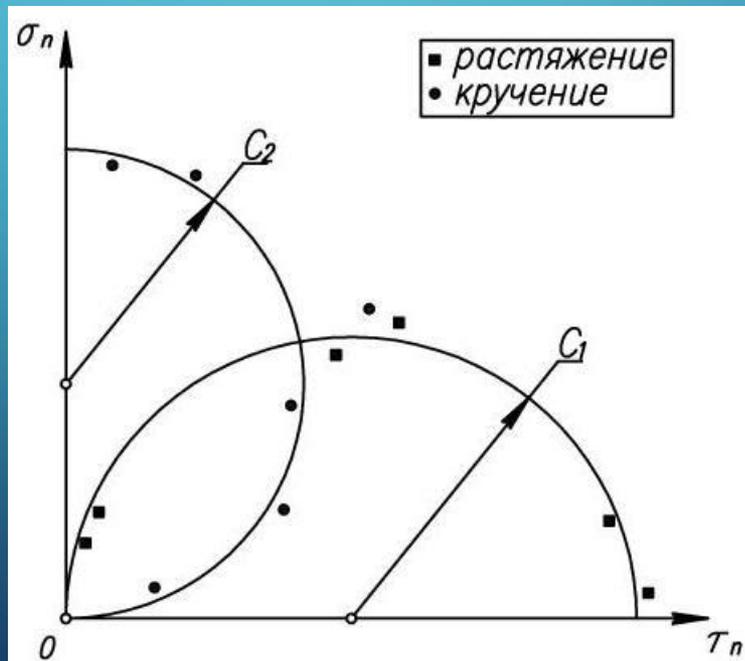
1. Построить зависимости прочности композитных труб при растяжении и при кручении от угла намотки волокон.
2. Пересчитать значения нормальных σ_n и касательных τ_n напряжений в проекции на плоскость возможного разрушения, связанную с направлением намотки волокон. Построить эти данные в координатах σ_n - τ_n .
3. Провести через полученные точки полуокружности наилучшего соответствия и определить по этим кривым параметры критериев разрушения.
4. Построить зависимости прочности от угла намотки волокон и сравнить с исходными экспериментальными данными.
5. Сопоставить точность описания экспериментов по полученным

Растяжение и кручение косоугольно намотанных труб



$$\sigma_n = \sigma(\alpha) \sin(\alpha)^2, \tau_n = \sigma(\alpha) \sin(\alpha) \cos(\alpha)$$

$$\sigma_n = \tau(\alpha) \sin(2\alpha), \tau_n = \tau(\alpha) \cos(2\alpha)$$



ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ

Растяжение

Уравнение аппроксимирующей кривой

$$\left(\frac{\sigma_n}{C_1}\right)^2 + \left(\frac{\tau_n - C_1}{C_1}\right)^2 = 1$$

$$(1) \rightarrow (3) \Rightarrow \sigma(\alpha) = 2C_1 \operatorname{ctg}(\alpha)$$

$2C_1$ - прочность трубки с углом намотки $\alpha = \pm 45^\circ$ на растяжение

Получим

$$\sigma(\alpha) = \sigma(45^\circ) \operatorname{ctg}(\alpha)$$

Искусственно преобразованная зависимость

$$\sigma(\alpha) = [\sigma(45^\circ) - \sigma(90^\circ)] \operatorname{ctg}(\alpha) + \sigma(90^\circ)$$

Кручение

Уравнение аппроксимирующей кривой

$$\left(\frac{\sigma_n - C_2}{C_2}\right)^2 + \left(\frac{\tau_n}{C_2}\right)^2 = 1$$

$$(2) \rightarrow (5) \Rightarrow \tau(\alpha) = 2C_2 \sin(2\alpha)$$

$2C_2$ - прочность трубки с углом намотки $\alpha = \pm 45^\circ$ на кручение

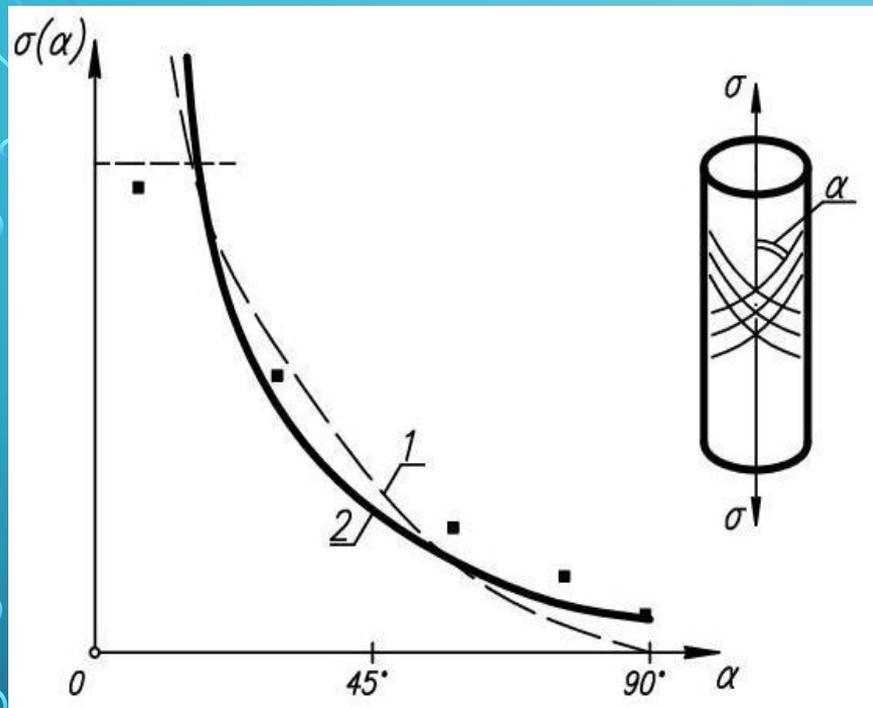
Получим

$$\tau(\alpha) = \tau(45^\circ) \sin(2\alpha)$$

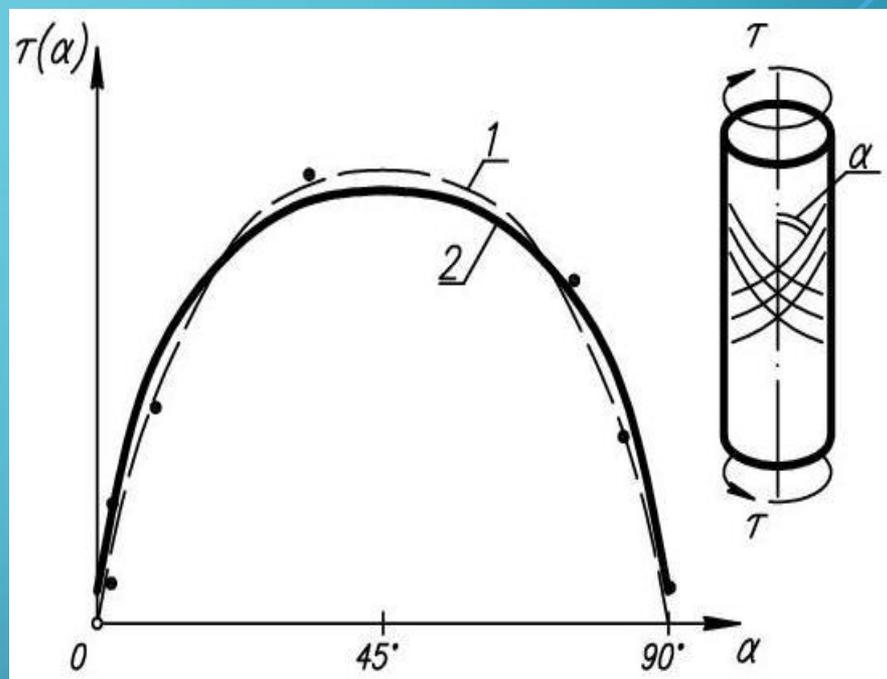
Искусственно преобразованная зависимость

$$\tau(\alpha) = [\tau(45^\circ) - \tau(90^\circ)] \sin(2\alpha) + \tau(90^\circ)$$

Растяжение и кручение косоугольно намотанных труб



Растяжение

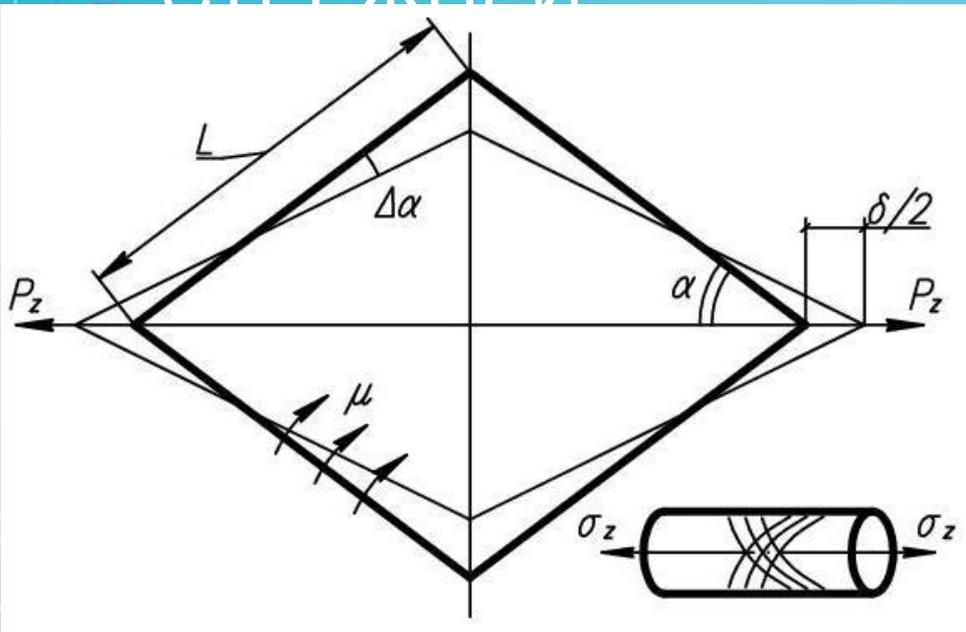


Кручение

$$\frac{\tau_{зад} \sin(2\alpha)}{\sigma_{зад}} = \frac{\sigma(45^\circ) \operatorname{ctg}(\alpha)}{\sigma_{зад}} \rightarrow \alpha_{\text{opt}} - \text{рациональный угол намотки}$$

$\sigma_{зад}$ и $\tau_{зад}$ - заданные напряжения, действующие на трубку.

МОДЕЛЬ РОМБА ИЗ НЕРАСТЯЖИМЫХ СТЕРЖНЕЙ



Модель ромба при одноосном растяжении

Сила осевого растяжения
 $P_z = 2\sigma_z l \sin(\alpha)$.

Суммарный момент
 $M = 2\mu l^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)$.

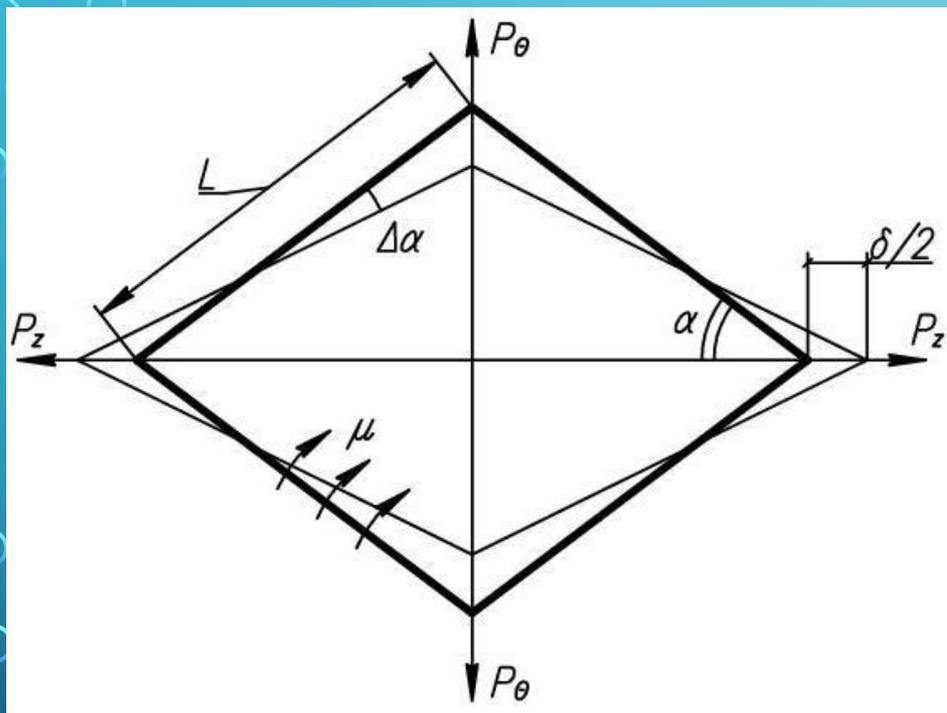
Равенство работ

$$\frac{1}{2} \cdot 4\sigma_z l^2 \sin(\alpha)^2 d\alpha = 2\mu l^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha) d\alpha$$

Критерий прочности

$$\sigma(\alpha) = \mu^* \operatorname{ctg}(\alpha)$$

Модель ромба из нерастяжимых стержней



Модель ромба при двухосном растяжении

Условие разрушения:

$$\left| \frac{\sigma_z(\alpha) \operatorname{tg}(\alpha)}{\sigma_z(45^\circ)} - \frac{\sigma_\theta(\alpha) \operatorname{ctg}(\alpha)}{\sigma_\theta(45^\circ)} \right| = 1.$$

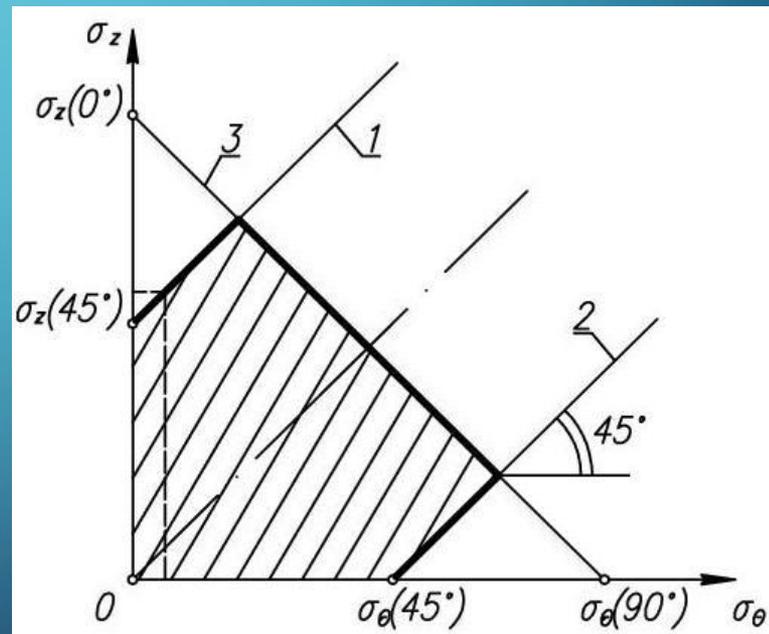


Диаграмма предельных состояний

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальные данные

$\sigma(\alpha)$, МПа	120	105	50	35	12	9	7
$\tau(\alpha)$, МПа	6	17	22	28	23	18	7
α , град	0	15	30	45	60	75	90

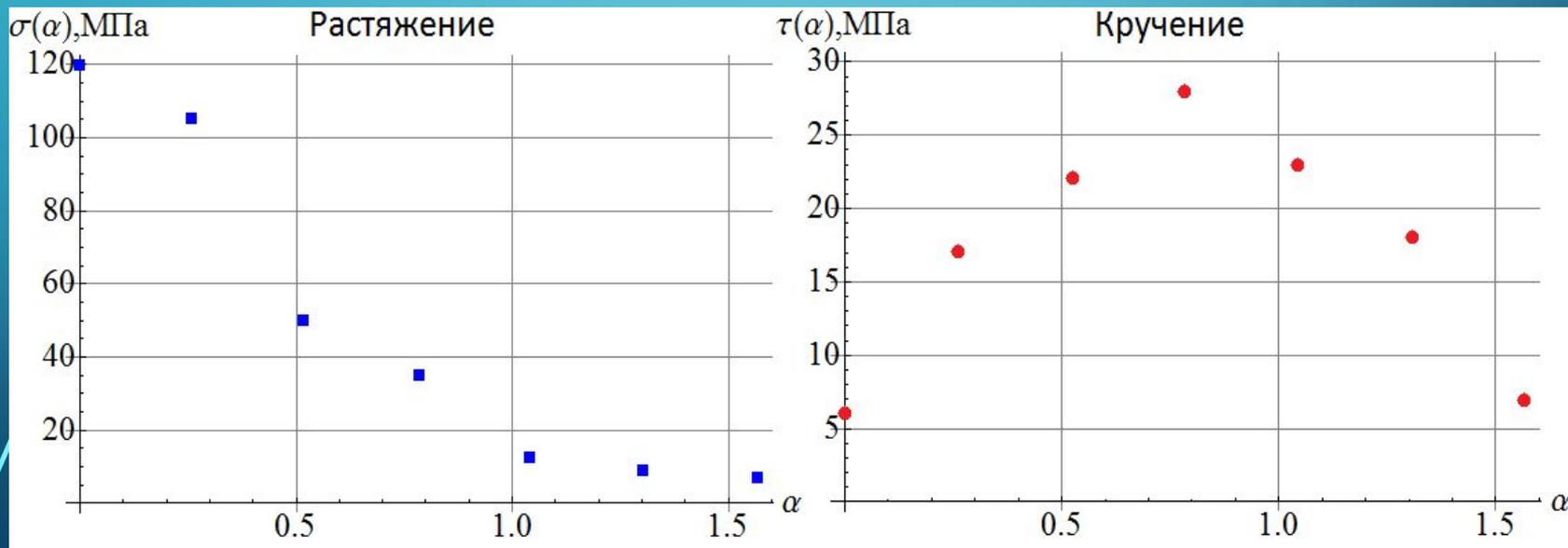


Рис.8. Экспериментальные данные в координатах $\alpha - \sigma$ и $\alpha - \tau$

Радиусы
полуокружностей

$$C_1 = 15 \text{ МПа}, \quad C_2 = 14 \text{ МПа}.$$

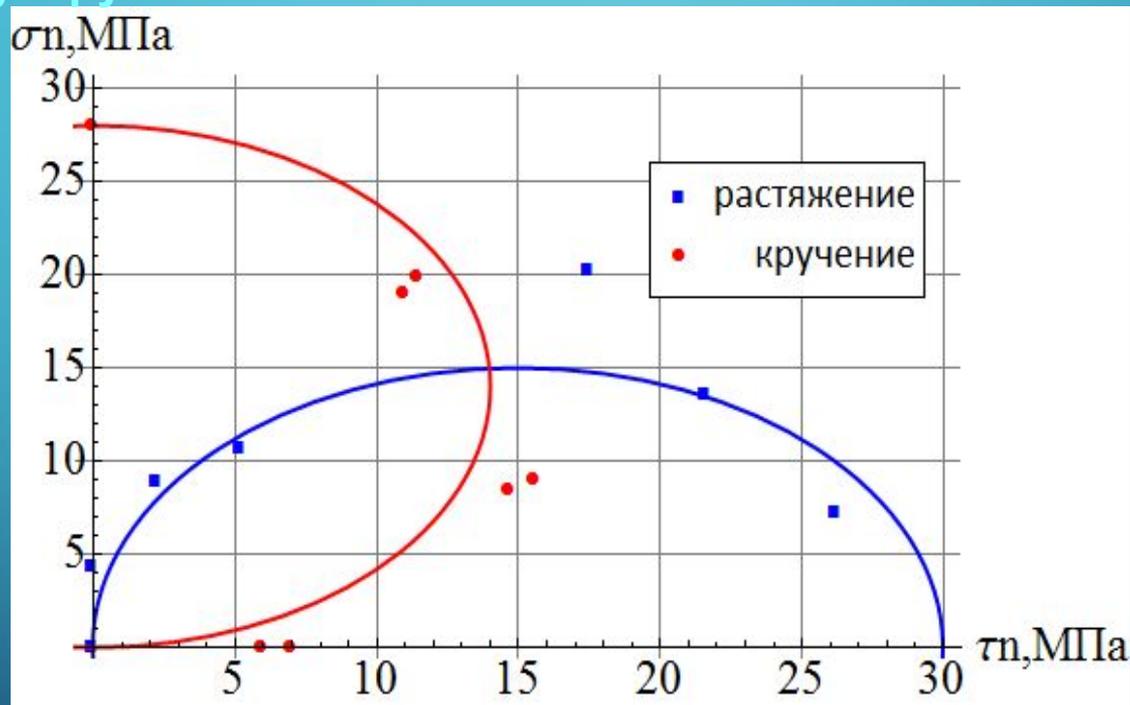


Рис.9. Экспериментальные данные в координатах $\tau_n - \sigma_n$ и аппроксимация

1) $\sigma(\alpha) = \sigma(45^\circ) \operatorname{ctg}(\alpha)$

2) $\sigma(\alpha) = [\sigma(45^\circ) - \sigma(90^\circ)] \operatorname{ctg}(\alpha) + \sigma(90^\circ)$

1) $\tau(\alpha) = \tau(45^\circ) \sin(2\alpha)$

2) $\tau(\alpha) = [\tau(45^\circ) - \tau(90^\circ)] \sin(2\alpha) + \tau(90^\circ)$

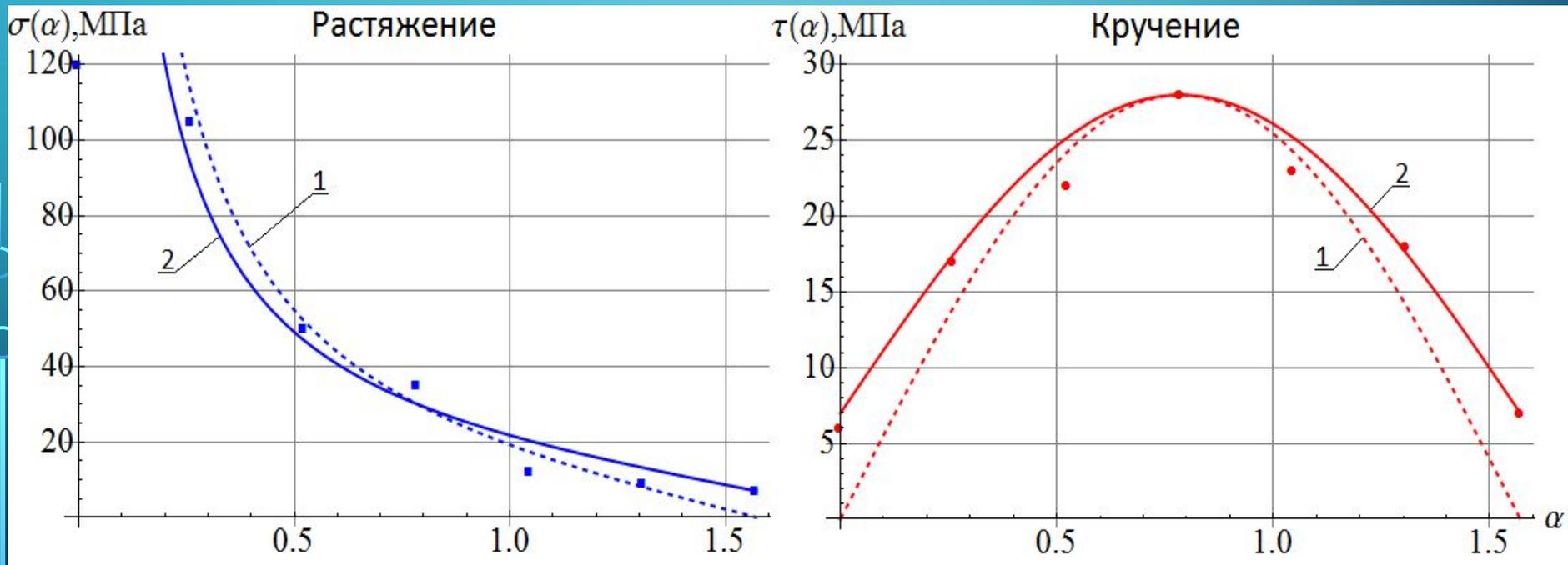


Рис.10. Экспериментальные данные в координатах $\alpha - \sigma$ и $\alpha - \tau$, и аппроксимация

Оценка точности аппроксимации

$$\delta = \frac{|\sigma - \sigma_{\text{теор}}|}{\sigma} \cdot 100\%,$$

Эксперименты по растяжению

α , град	15	30	45	60	75	90
σ , МПа	105	50	35	12	9	7
$\sigma_{\text{теор}}$, МПа	92.837	46.837	30.000	20.279	13.163	7.000
δ , %	11.58	6.33	14.29	68.99	46.25	0.00

Эксперименты по кручению

α , град	0	15	30	45	60	75	90
τ , МПа	6	17	22	28	23	18	7
$\tau_{\text{теор}}$, МПа	7.000	17.500	25.187	28.000	25.187	17.500	7.000
δ , %	16.67	2.94	14.48	0.00	9.51	2.78	0.00