

# Механические свойства



**Прочность** – способность металла или сплава воспринимать действующие нагрузки не разрушаясь

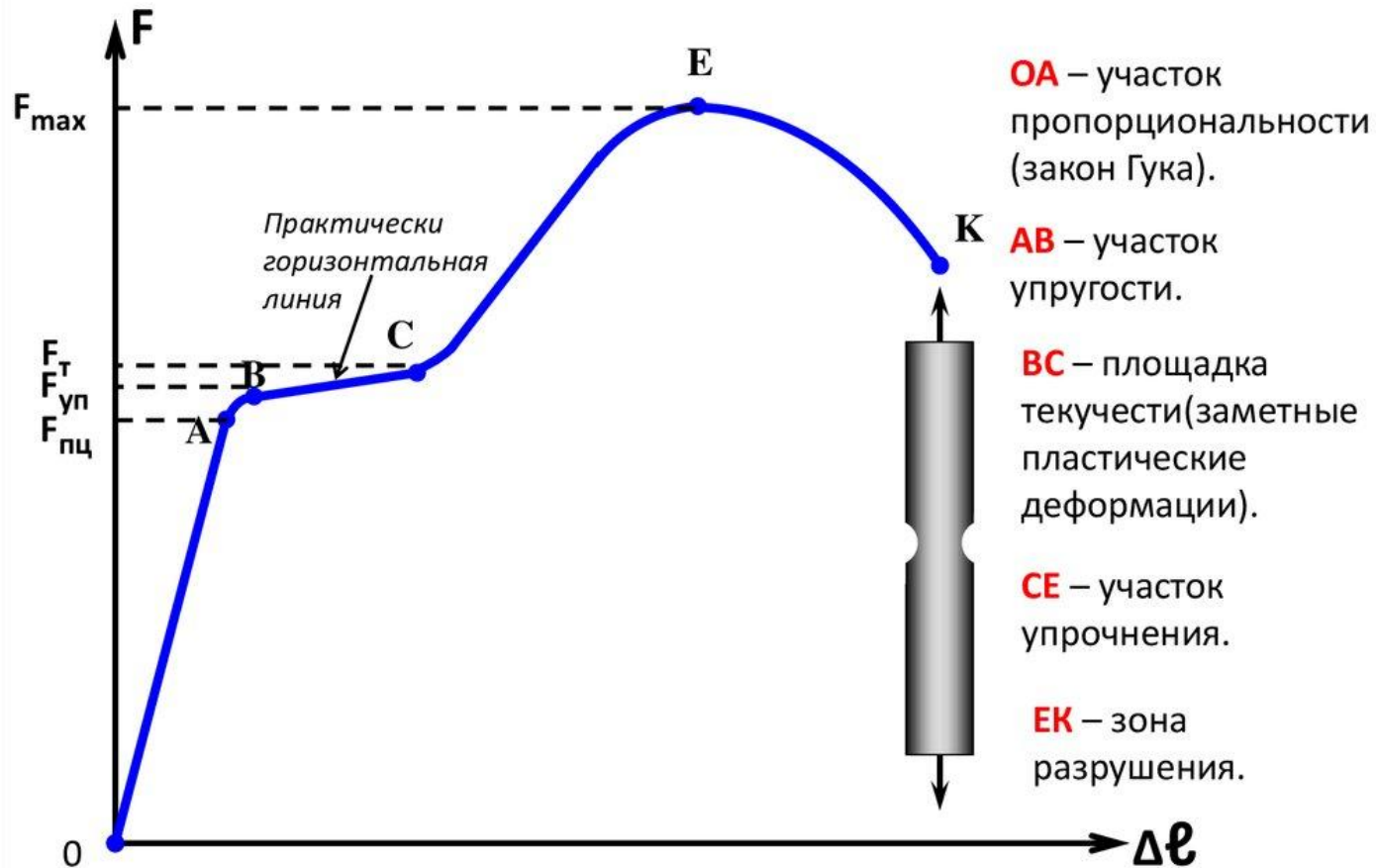




# Анализ диаграммы растяжения

# Упругая и Пластическая деформация

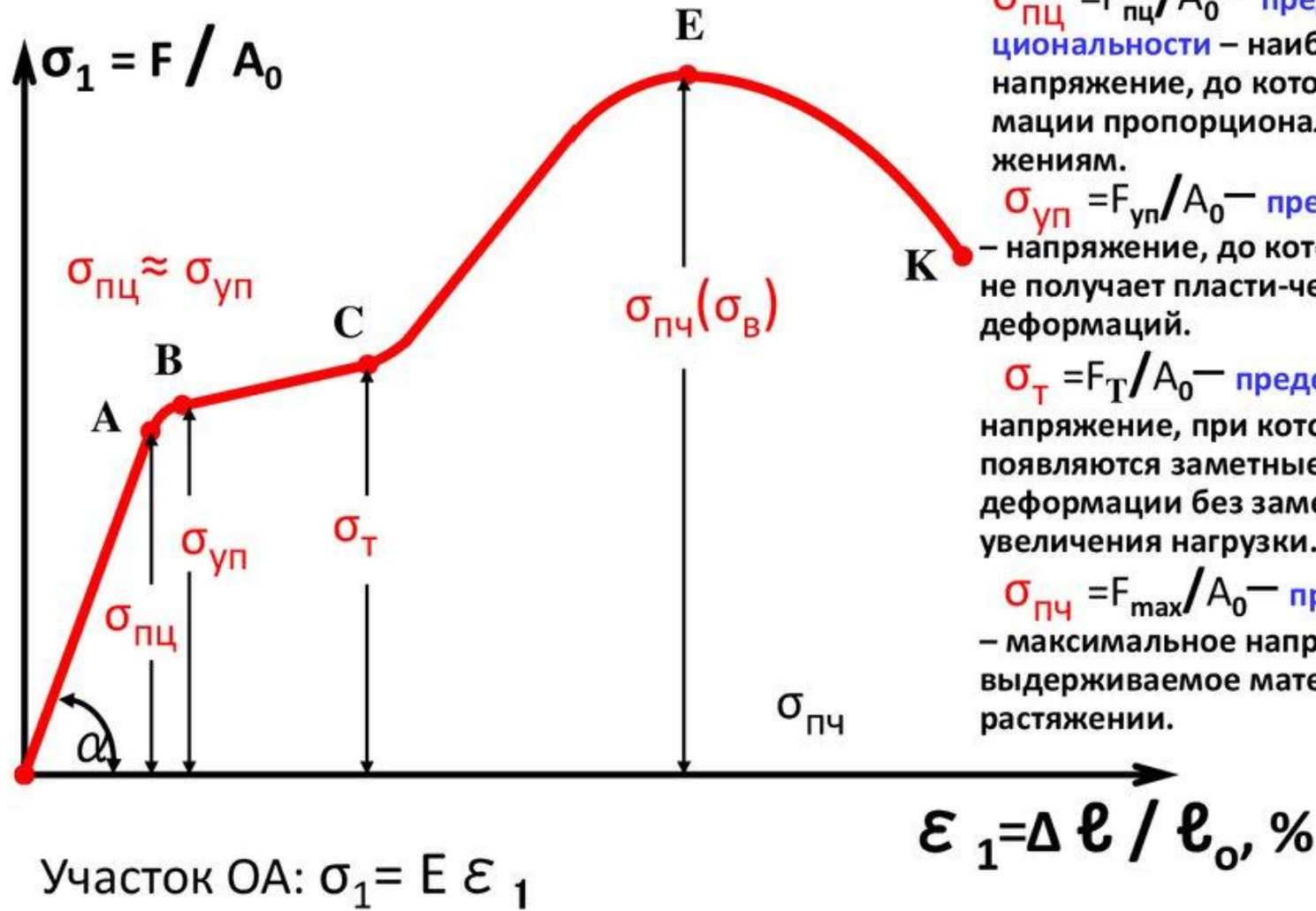
Диаграмма растяжения образца малоуглеродистой стали



4



# Диаграмма растяжения материала малоуглеродистой стали



Участок OA:  $\sigma_1 = E \varepsilon_1$

$\tan \alpha = E$

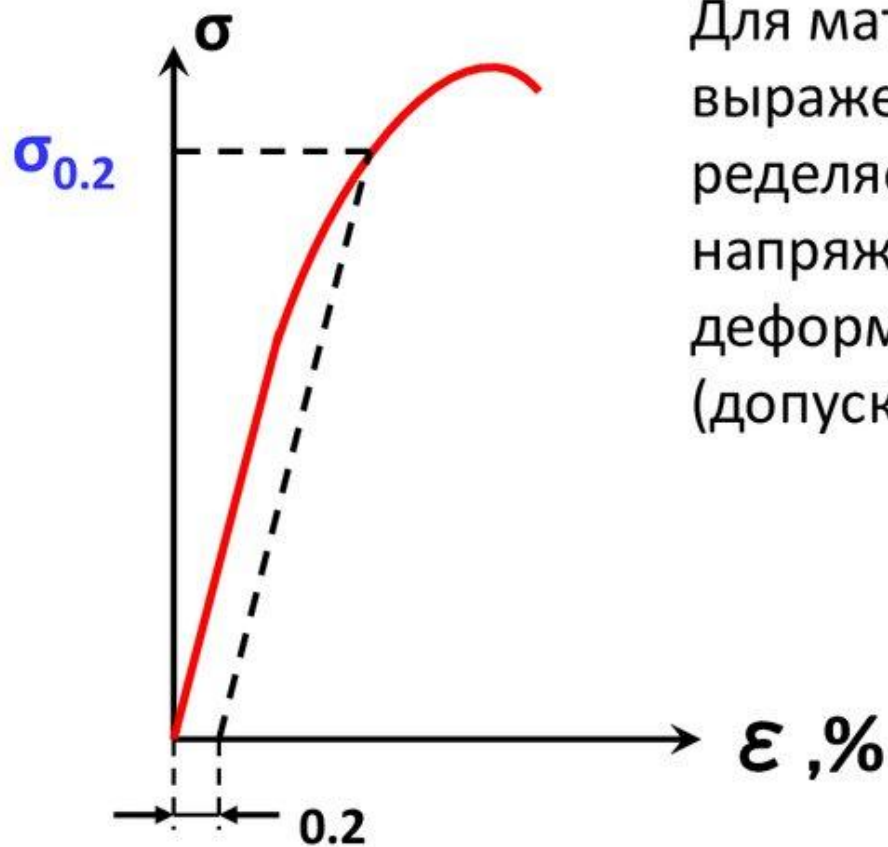
$\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0$  — предел пропорциональности — наибольшее напряжение, до которого деформации пропорциональны напряжениям.

$\sigma_{уп} = F_{уп} / A_0$  — предел упругости — напряжение, до которого материал не получает пластических деформаций.

$\sigma_T = F_T / A_0$  — предел текучести — напряжение, при котором появляются заметные пластические деформации без заметного увеличения нагрузки.

$\sigma_{пч} = F_{max} / A_0$  — предел прочности — максимальное напряжение, выдерживаемое материалом при растяжении.

## Условный предел текучести



Для материалов, не имеющих ярко выраженной площадки текучести определяется **условный предел текучести** - напряжение, при котором пластическая деформация равна какой-то величине (допуску).

Если  $\epsilon_{ост} = 0.002$  или  $0.2\%$

то усл.предел тек.-  $\sigma_{0.2}$

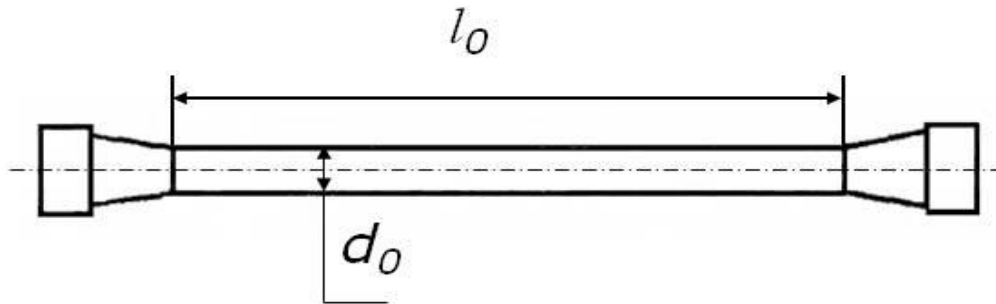
Если  $\epsilon_{ост} = 0.005$  или  $0.5\%$

то усл.предел тек.-  $\sigma_{0.5}$

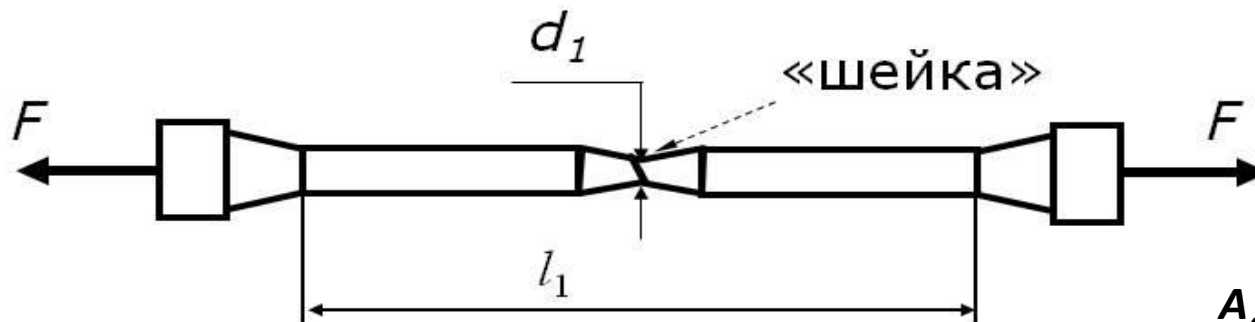


# Испытание на растяжение

Образец для испытаний



Разрушение образца из  
пластичного материала



Относительное

- удлинение

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

- сужение

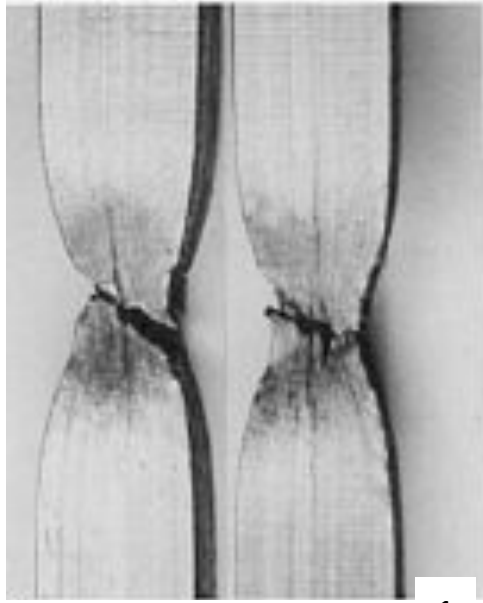
$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\%$$

$A_0$  - начальная площадь  
поперечного сечения  
образца,  $\text{мм}^2$ ;

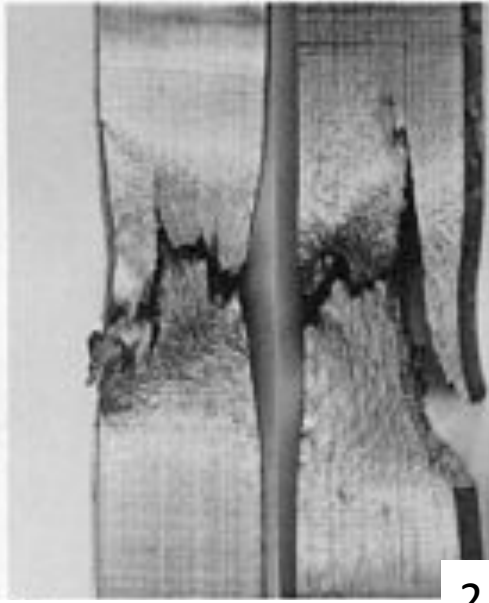
$A_1$  - площадь в месте  
разрыва,  $\text{мм}^2$ .

$$S_K = \frac{P_K}{A_i}$$

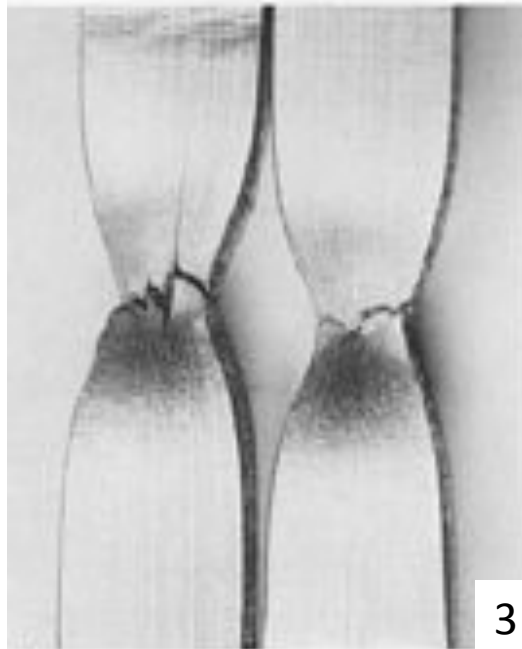
- **Истинным сопротивлением разрушению  $S_K$**  называется напряжение, определяемое отношением нагрузки  $P_K$  в момент разрыва образца к площади поперечного сечения  $A_i$  образца в шейке после разрыва:



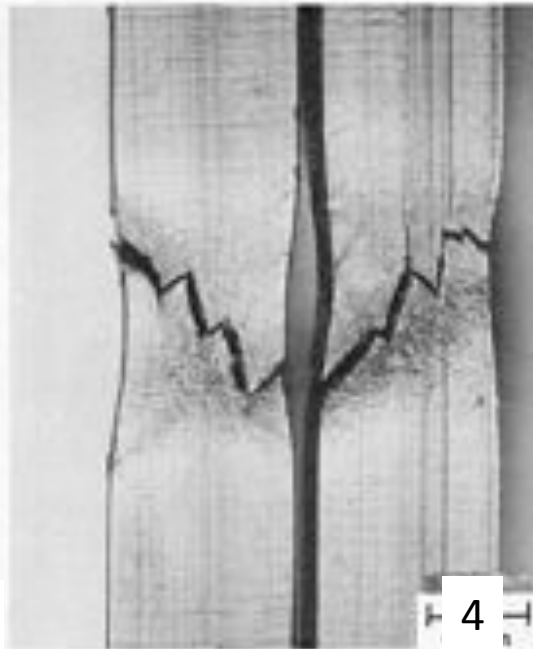
1



2



3



4



# Массивные металлические стекла (ММС)

- Массивные металлические стекла (ММС) содержат металлические связи и, подобно металлам, являются проводниками.
- Структура не содержит дефектов, поэтому при сгибе или сжатии ММС переносят большие нагрузки, не ломаясь.
- При растяжении их, однако, до сих пор подводила низкая пластичность: части тела начинали смещаться относительно друг друга, быстро превращались в трещины.
- Введение в горячий расплав ММС вещества, которые при застывании образуют рассеянные кристаллы, или "дендриты", которые не дают развиваться трещинами.



Изображения трех слитков массивных металлических стекол, полученные при помощи сканирующего электронного микроскопа.

Образец №3 не содержит "дендритов",

Образец №1 - состоит из дендритов на 51 процент,

Образец №2 - на 67 процентов.

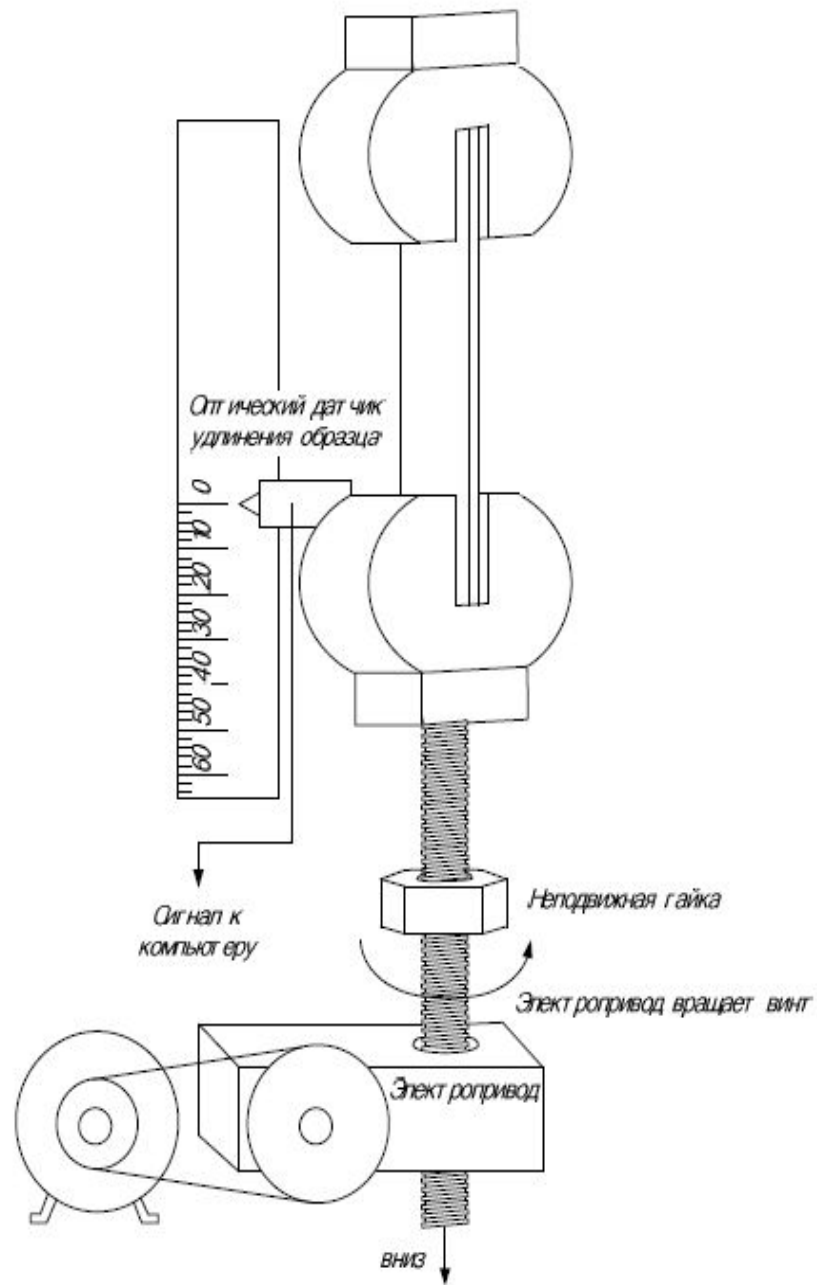


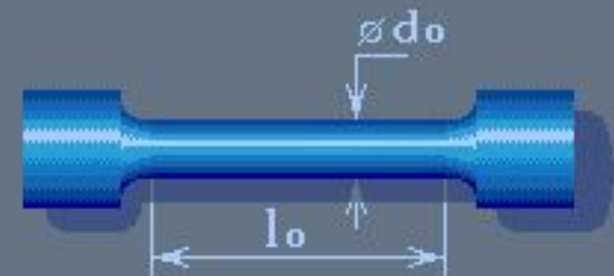
Рис. 2. Схема испытательной машины

## Работа 2. Определение характеристик материалов при растяжении

При исследовании свойств металлов чаще всего используют цилиндрические образцы.



$$\frac{l_0}{d_0} = 10 \text{ (десятикратный)}$$

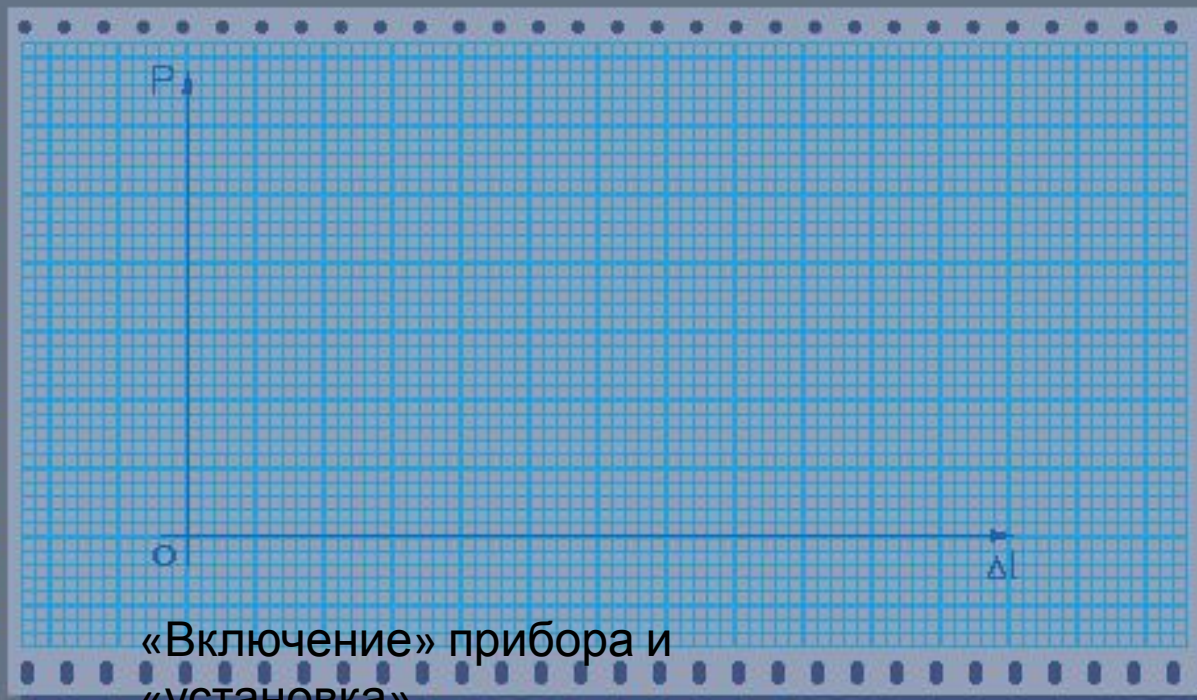
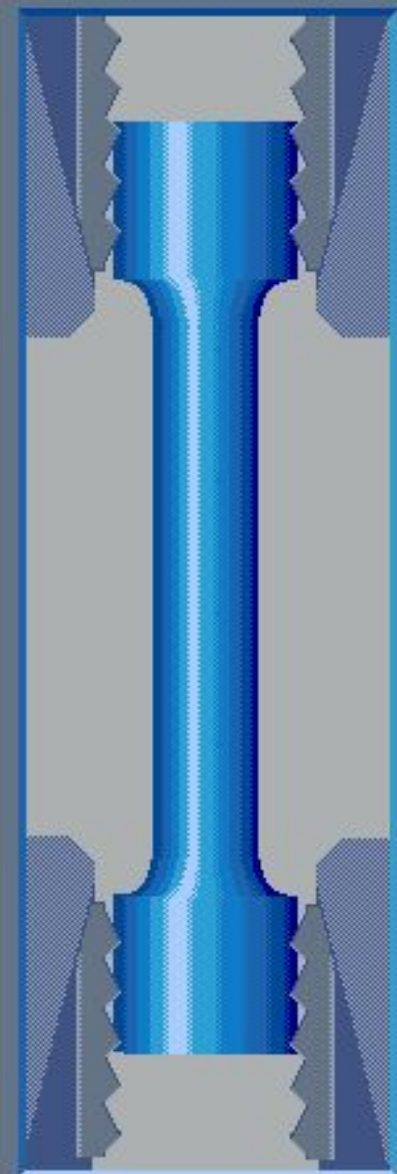


$$\frac{l_0}{d_0} = 5 \text{ (пятикратный)}$$

$l_0$  - длина рабочей части

$d_0$  - начальный диаметр

- Цилиндрические образцы для испытаний на растяжение



«Включение» прибора и  
«установка»

Установлен пятикратный образец

$l_0=30.0$  мм

$d_0=6.0$  мм

Показания нагрузки и удлинений

	P (Н)	$\Delta l$ (мм)
А		
В		
С		

управление  
нагрузением

сеть

0.0

P(Н)

0.000

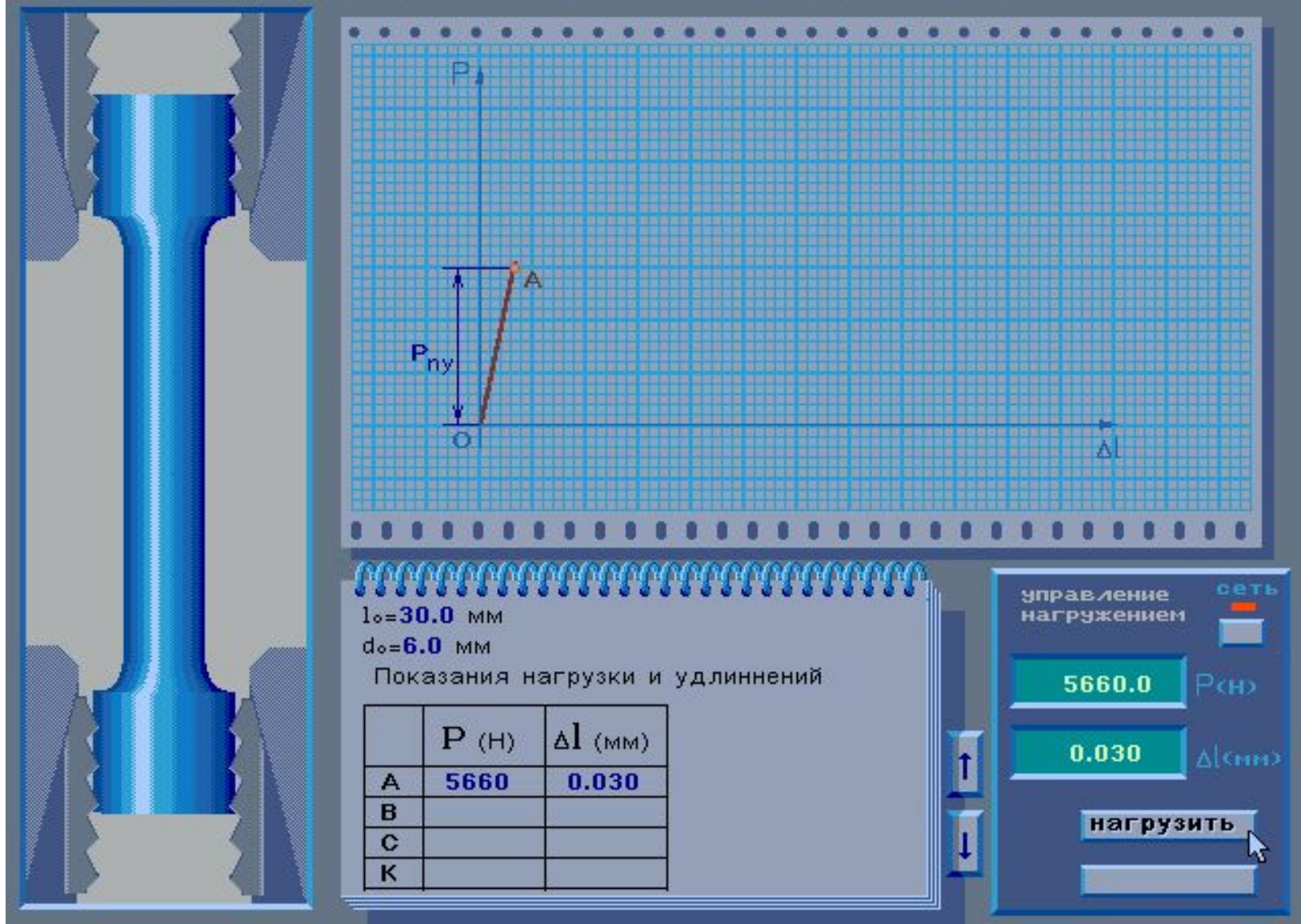
$\Delta l$ (мм)

нагрузить

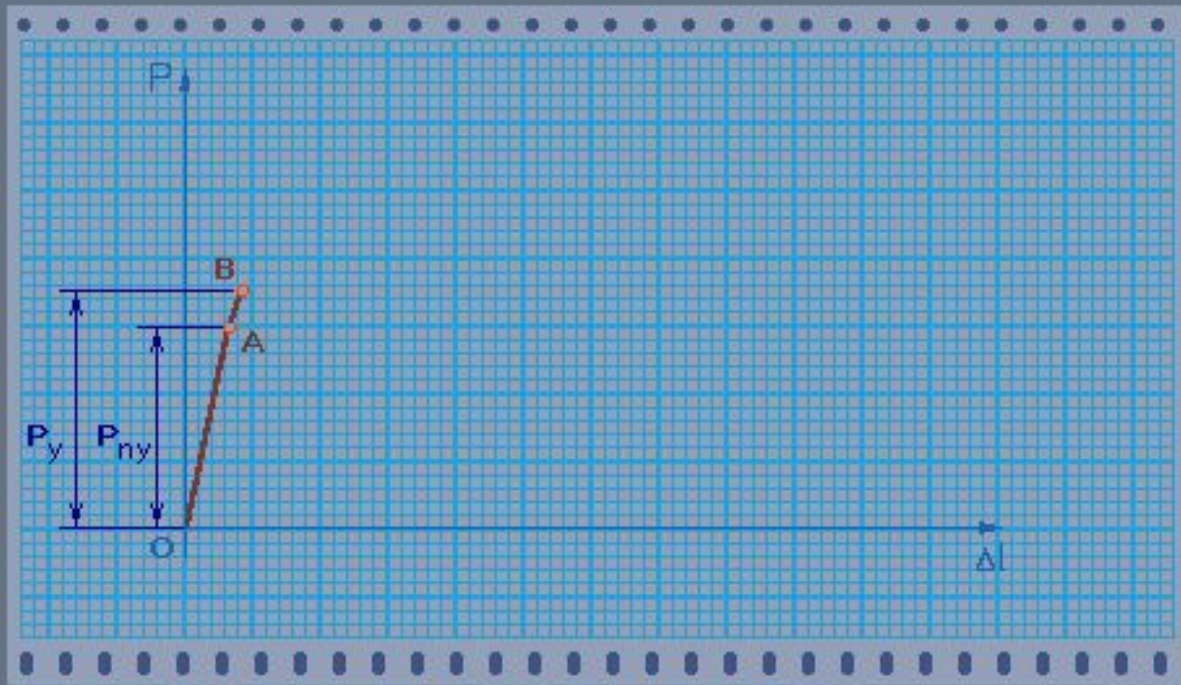
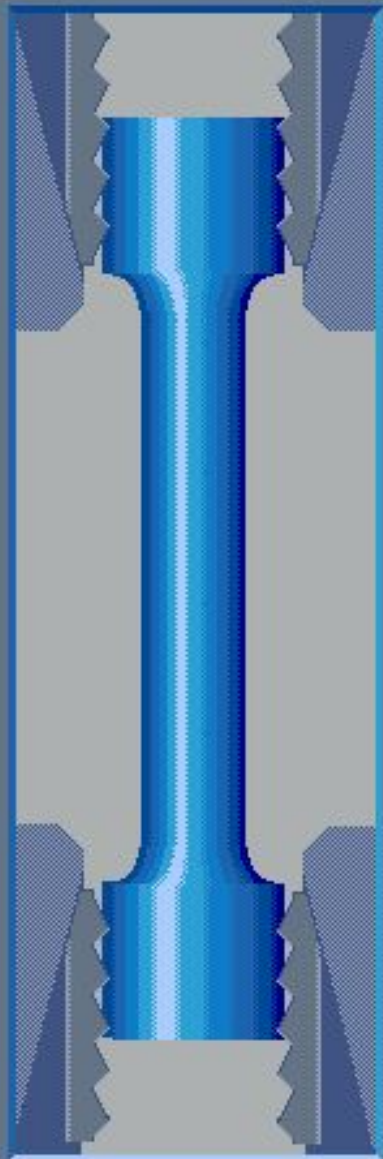
- «Включение» прибора и  
«установка» образца



## Работа 2. Определение характеристик материалов при растяжении



- Напряжение в пределах закона Гука



Показания нагрузки и удлинений

	P (Н)	$\Delta l$ (мм)
A	5660	0.030
B	6090	0.032
C		
K		
D		
N		

управление сетью  
нагрузением

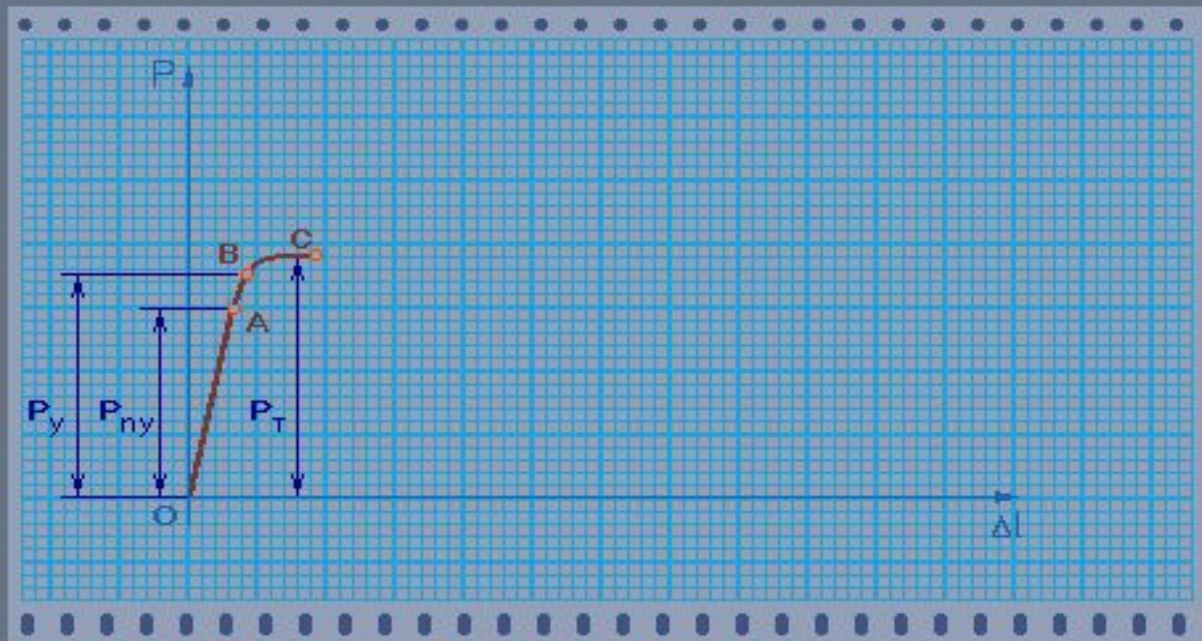
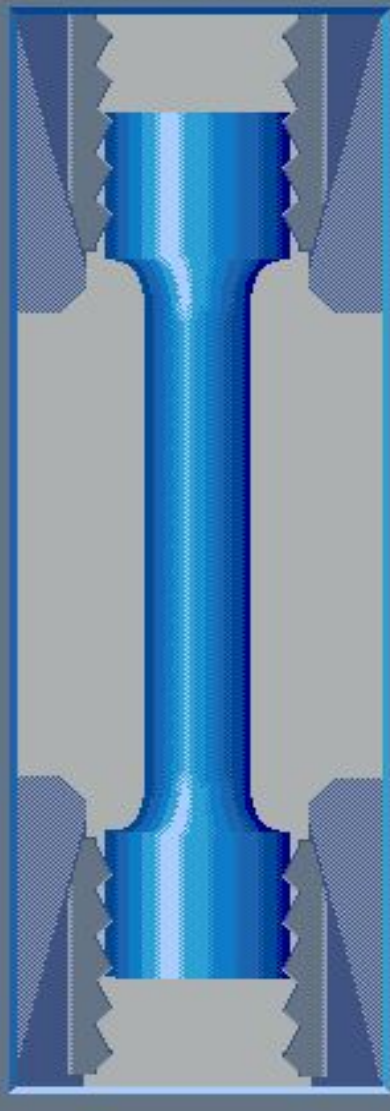
6090.5 P(Н)

0.032  $\Delta l$ (мм)

нагрузить

- Упругое деформирование образца





Показания нагрузки и удлинений

	$P$ (Н)	$\Delta l$ (мм)
A	5660	0.030
B	6090	0.032
C	6868	0.842
K		
D		
N		

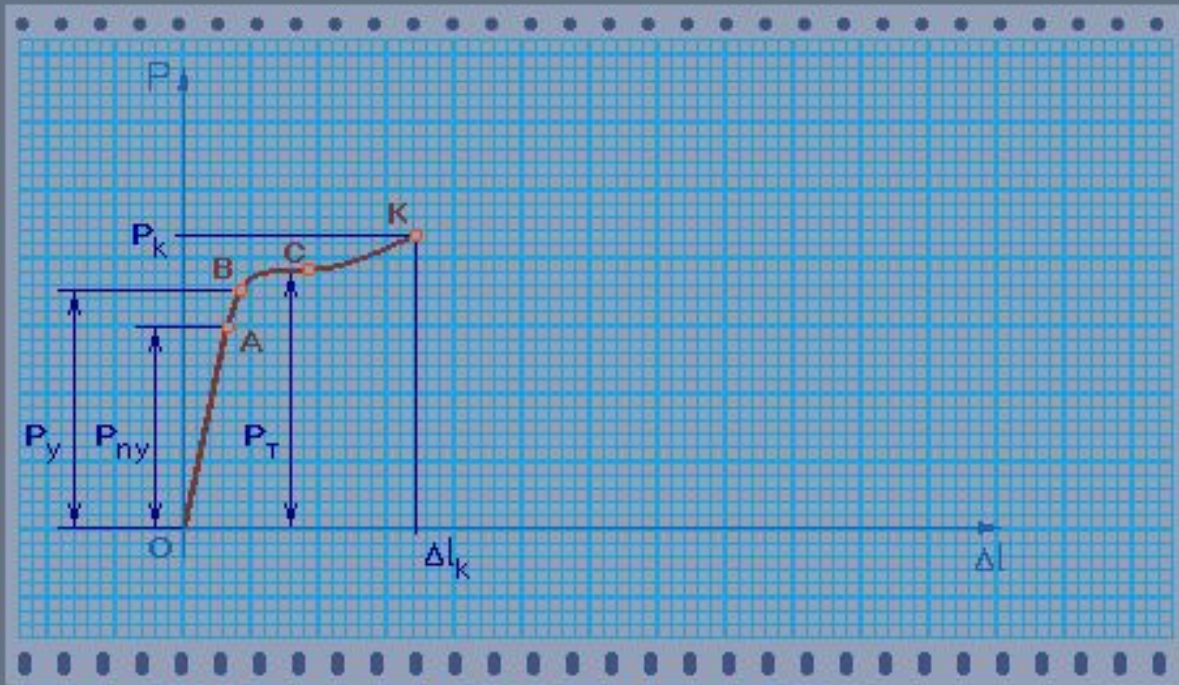
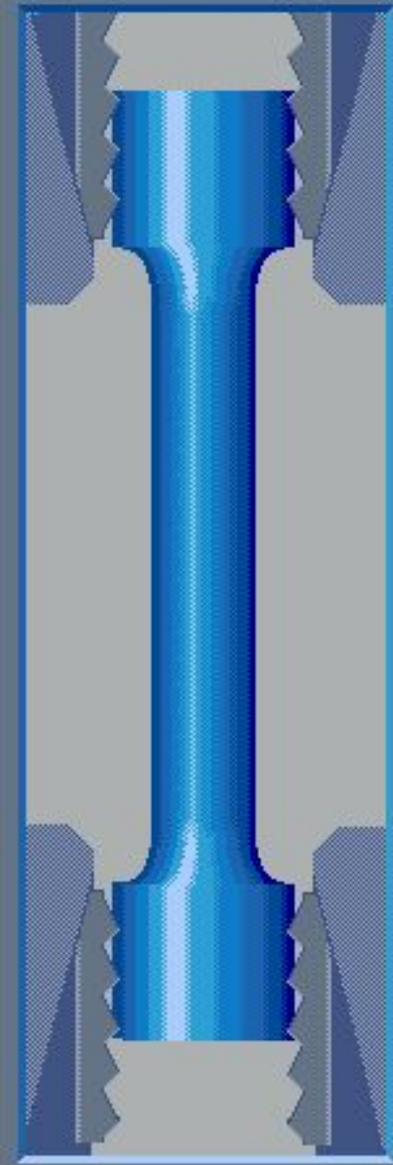
управление нагрузением сеть

**6868.0**  $P$  (Н)

**0.842**  $\Delta l$  (мм)

**нагрузить**

- Напряжение в зоне общей текучести



Показания нагрузки и удлинений

	P (Н)	Δl (мм)
A	5660	0.030
B	6090	0.032
C	6868	0.842
K	7752	2.072
D		
N		

управление нагрузением сеть

**7752.0** P(Н)

**2.072** Δl(мм)

↑

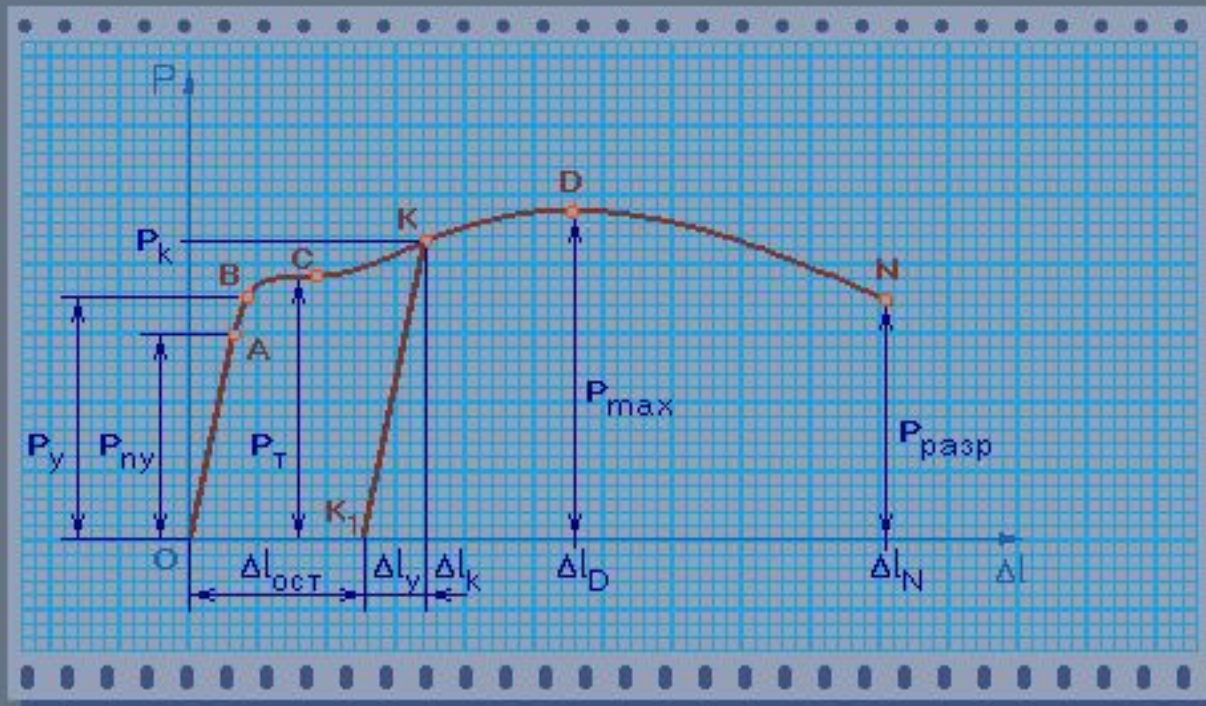
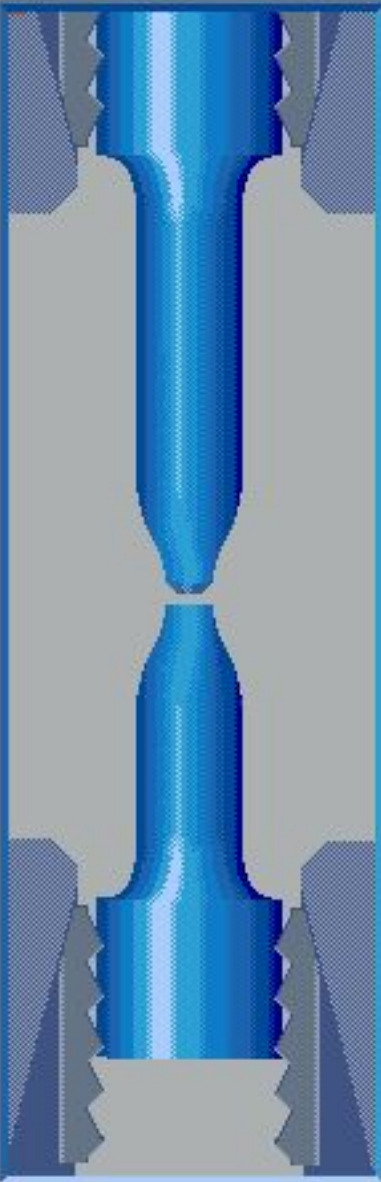
↓

нагрузить

разгрузить

- Напряжение в зоне упрочнения



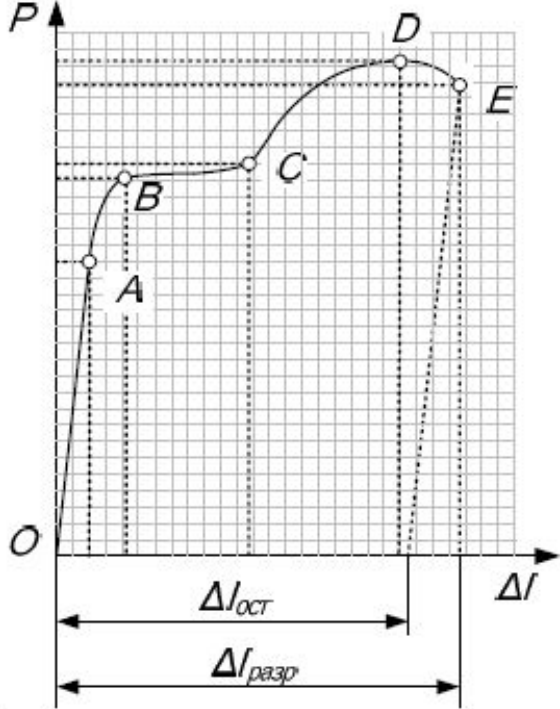


Начиная с точки **D** деформация образца приобретает местный характер течения материала в области шейки. Сечение образца быстро уменьшается, поэтому для его деформирования требуется меньшая нагрузка. Точка **N** соответствует моменту разрушения образца

продолжить

завершить

- Разрушение образца



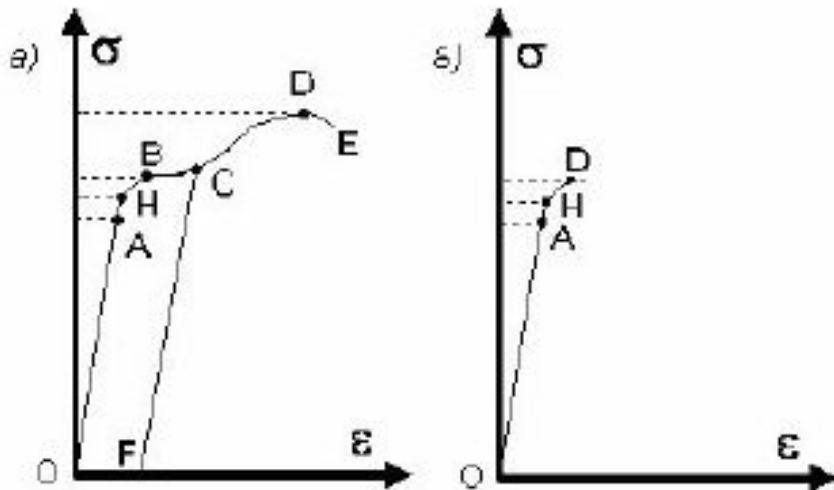
Машинная диаграмма растяжения пластичного материала

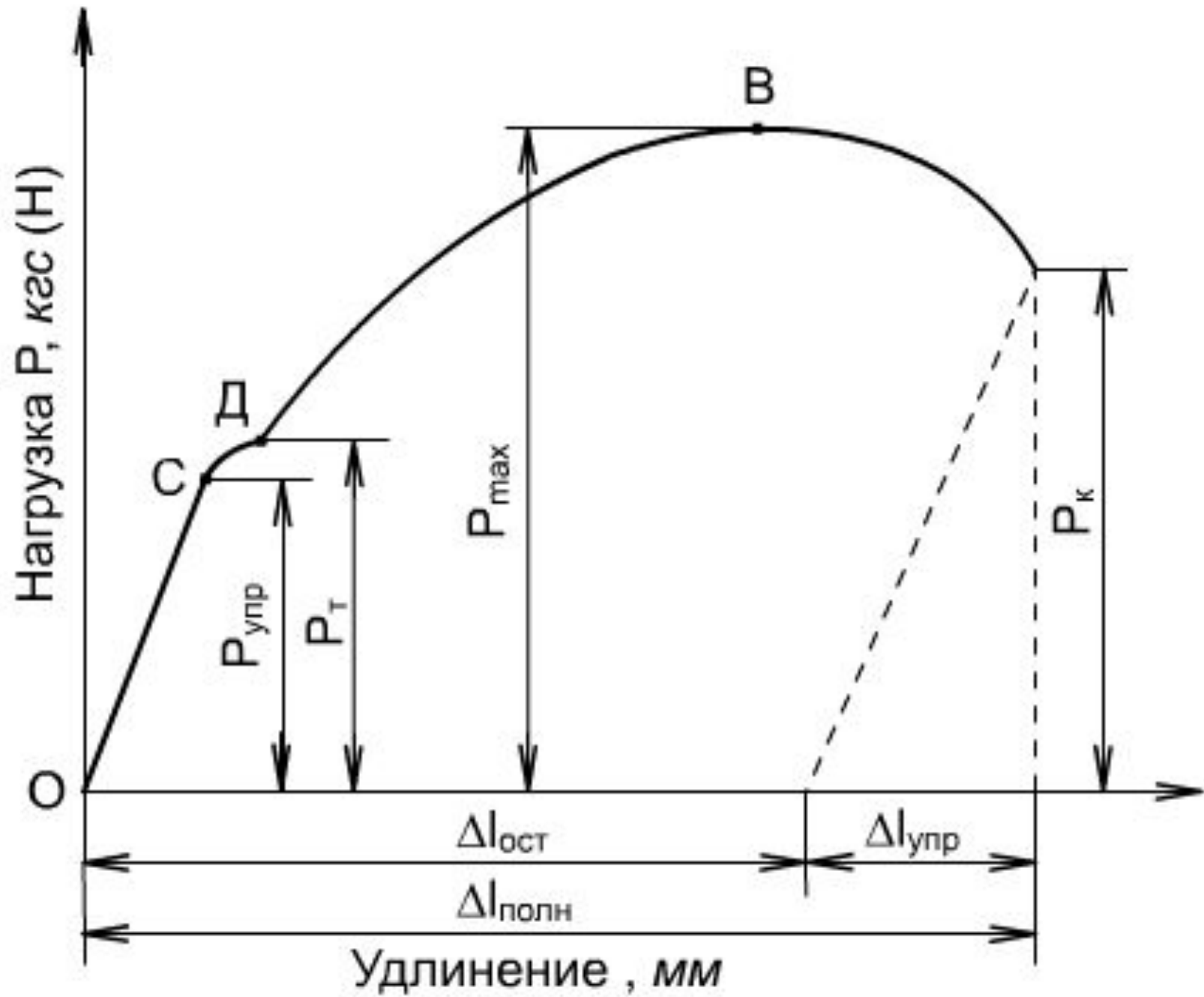
- Далее машинную диаграмму вручную перестраивают в координатах «напряжение – относительная деформация».
- Для этого значения для характерных точек диаграммы (точки O, A, B, C, D, E) пересчитывают по формулам

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \%$$

Где F – площадь сечения образца,  $l_0$  – начальная длина образца.

- В итоге получается диаграмма растяжения.





# ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ РАСТЯЖЕНИЯ

- **Машина: Разрывная**
- **Диаметр образца 20 мм**
- **Расчетная длина 200 мм**





Таблица значений, снятых с диаграммы, построенной самописцем в осях P-ΔL:

№ Координаты точки на диаграмме	Ст 3	Ст 20
Сила в кН, соответствующая пределу пропорциональности $R_{пц} =$	69,76 кН	98.79 кН
Сила в кН, соответствующая пределу текучести $R_t =$	71,34 кН	98,79 кН
Сила в кН, соответствующая пределу прочности $R_{вр} =$	127,44 кН	149,61 кН
Сила в кН, соответствующая разрыву образца $R_p =$	121,14 кН	141,08 кН
Абсолютная деформация в м, соответствующая пределу пропорциональности =	$2,12 \cdot 10^{-4}$	$3,01 \cdot 10^{-4}$
Абсолютная деформация в м, соответствующая концу площадки текучести =	$4.55 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$
Абсолютная деформация в м, соответствующая пределу прочности $\Delta l_{пр} =$	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$1,79 \cdot 10^{-2}$
Абсолютная деформация в м, соответствующая разрыву образца =	$3.19 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-2}$

# Таблица значений вычисления координат точек диаграммы растяжения

в осях  $\sigma$ - $\epsilon$

№	Координаты точки на диаграмме	Ст 3	Ст 20
1	Предел пропорциональности в МПа		
2	Предел текучести в МПа		
3	Предел прочности в МПа		
4	Относительная деформация, соответствующая пределу пропорциональности		
5	Относительная деформация, соответствующая концу площадки текучести		
6	Относительная деформация, соответствующая пределу прочности		

- Все механические характеристики, которыми оцениваются свойства материала, определяют по отношению к начальным размерам образца:
- площади  $F_0$ , длина  $l_0$  не учитывают изменений размеров образца в процессе его деформирования – уменьшения площади и увеличения длины.
- Существенно заметить, что не есть напряжение, при котором разрушается образец. Если относить разрушающую силу не к начальной площади, а к площади в наиболее узком месте, то можно обнаружить, что **истинные напряжения** существенно больше, чем  $\sigma$ .
- В этом заключается ***их условность.***

## Рассчитать количественные характеристики пластичности стали

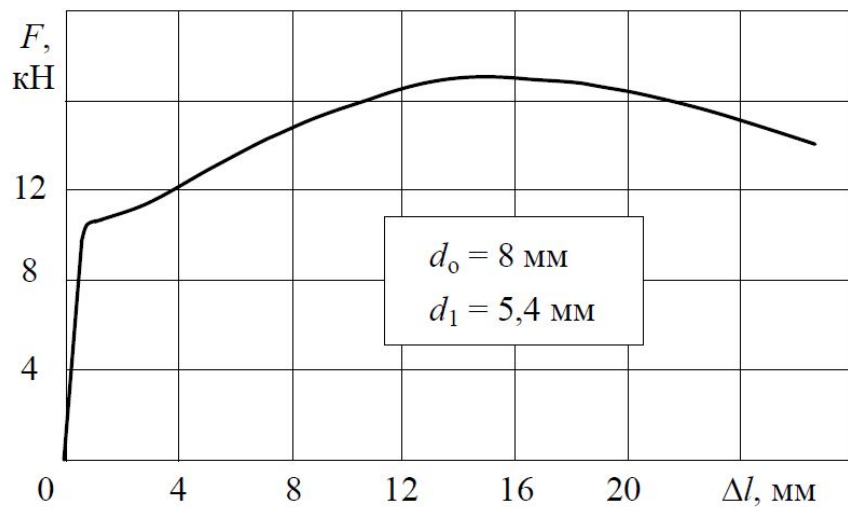
1. Начальная расчетная длина  $l_{нр} = 50$  мм;  
Конечная расчетная длина  $l_{кр} = 58,4$  мм.
2. Начальная площадь поперечного сечения (10×30 мм) образца  $F_0 = 300$  мм<sup>2</sup>.
  - Конечная площадь поперечного сечения образца  $F_{кр} = 258$  мм<sup>2</sup>



# Индивидуальное задание

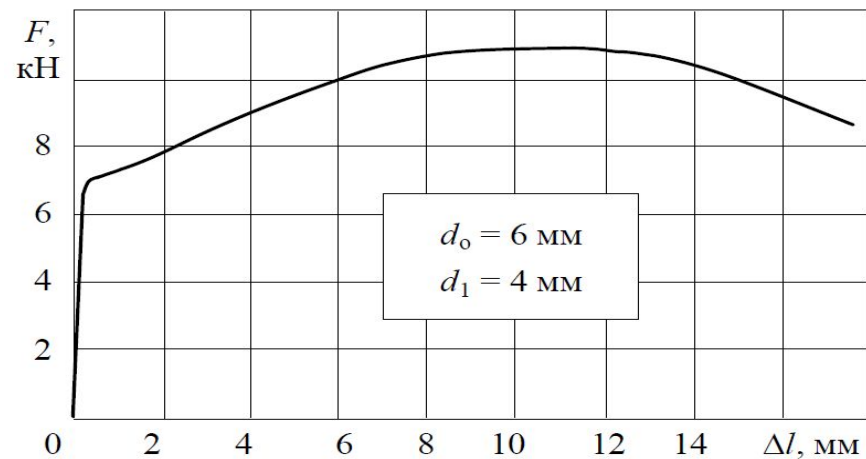
- Постройте диаграмму растяжения и проанализируйте ее, сравнив характеристики материалов:
- Стали определенной марки, но подвергнутой разной термообработке;
- Сплавов одной группы, но с разным содержанием элементов

Сталь 10  
(нормализация)



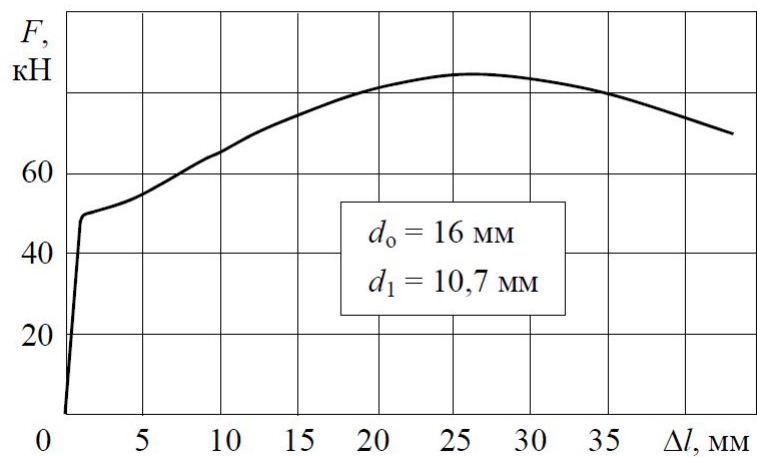
Вариант 1 а

Сталь 10  
(цементация и закалка с охлаждением в воде)



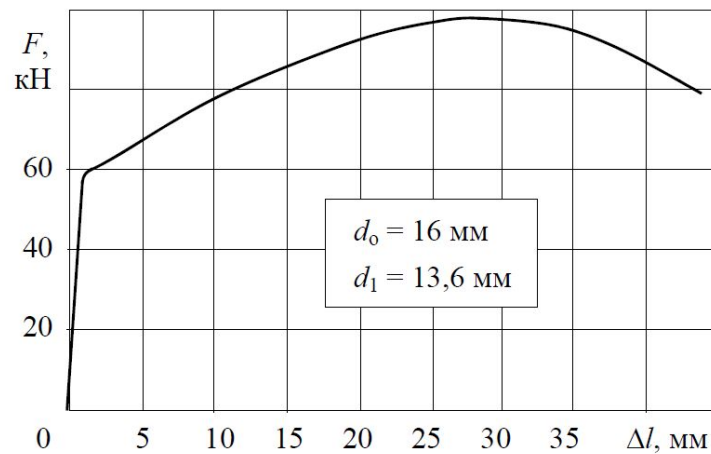
Вариант 1 б

Сталь 20  
(нормализация)



Вариант 2 а

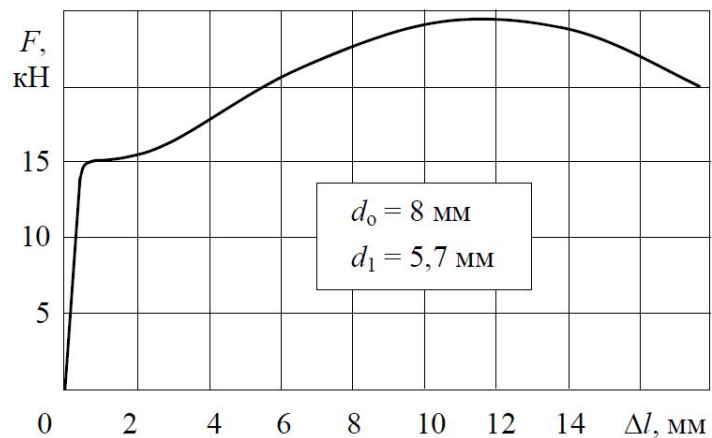
Сталь 20  
(цементация и закалка с охлаждением в воде)



Вариант 2 б



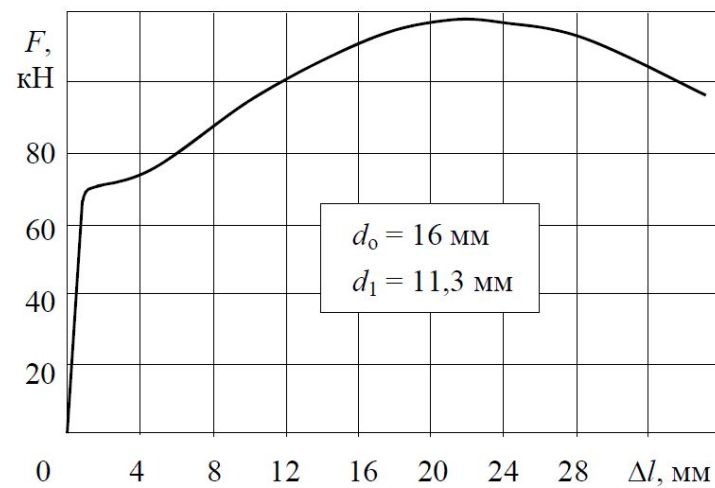
Сталь 30  
(нормализация)



Вариант 4 а

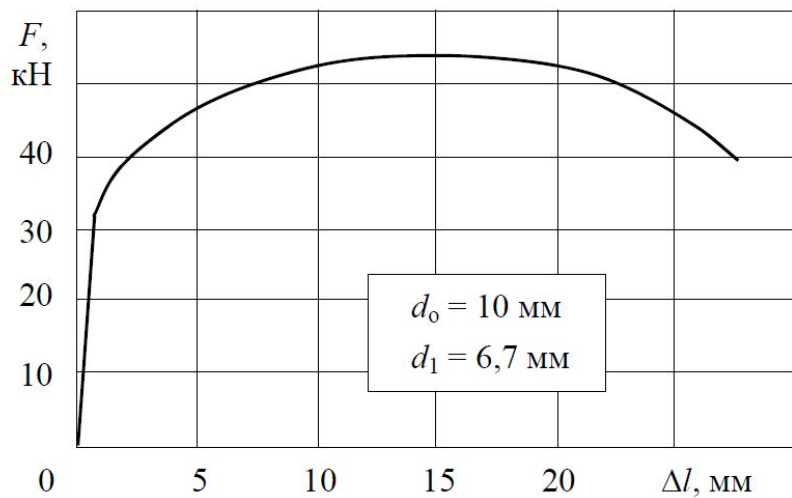
Сталь 30

(улучшение)



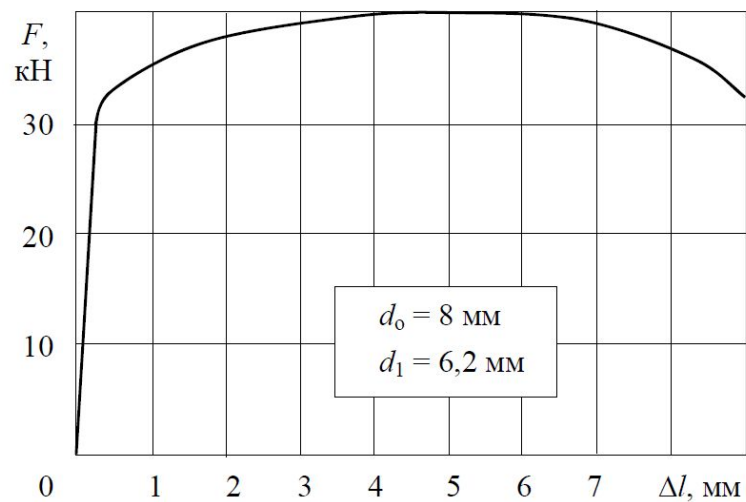
Вариант 4б

Сталь 20Х  
(отжиг)



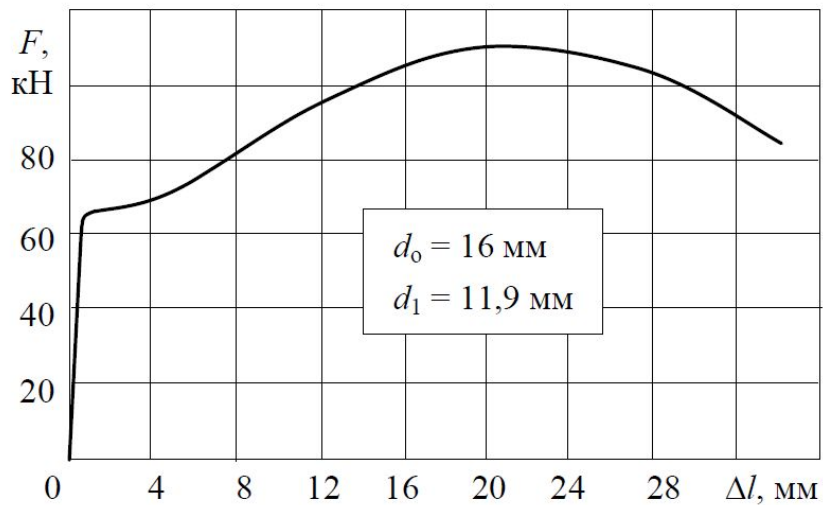
Вариант 5а

Сталь 20Х  
(закалка, отпуск 180°C)



Вариант 5б

Сталь 35  
(нормализация)

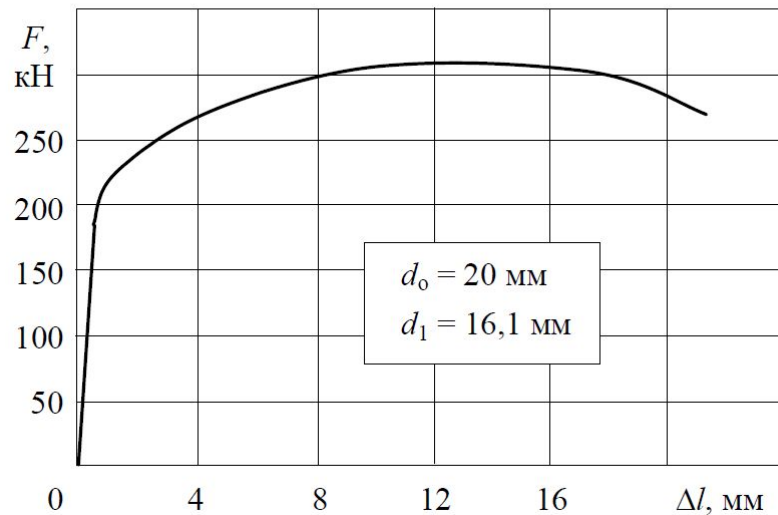


Вариант 6 а

$d_o = 16$  мм  
 $d_1 = 11,9$  мм

Сталь 35

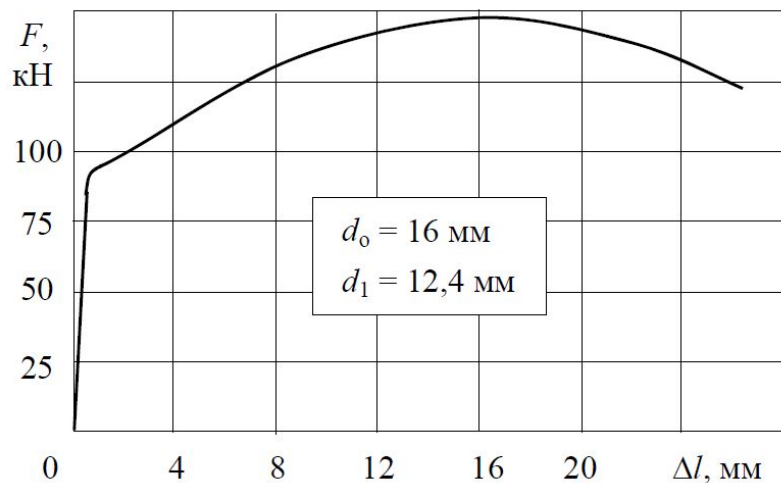
(закалка с охлаждением в воде)



Вариант 6 б

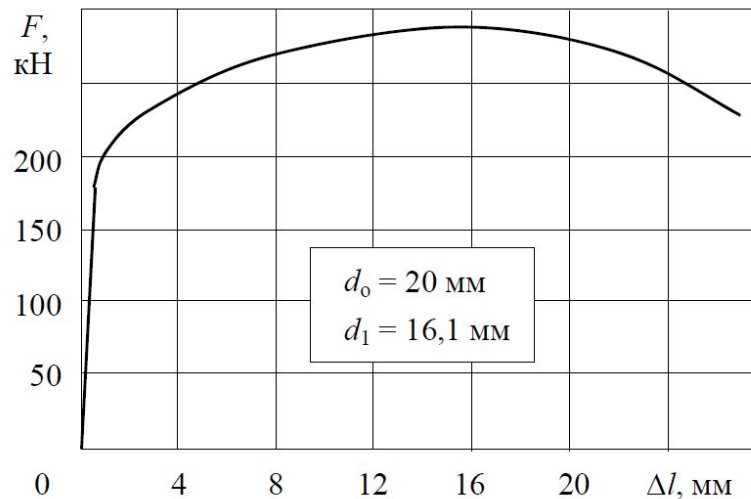
Сталь 45

(закалка с охлаждением в масле)



Вариант 7 а

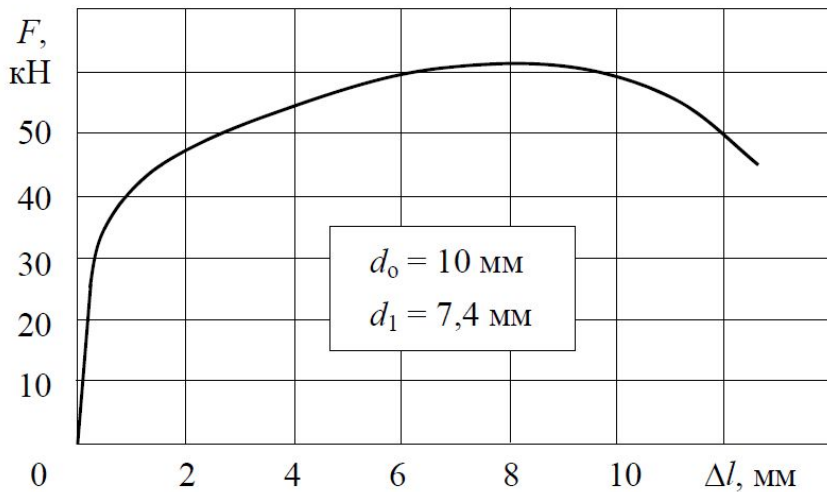
$d_o = 16$  мм  
 $d_1 = 12,4$  мм



Вариант 7 б

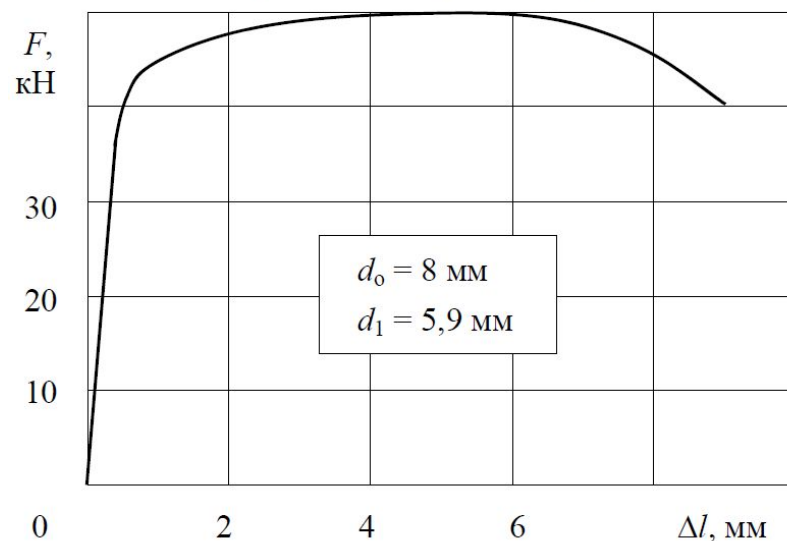
$d_o = 20$  мм  
 $d_1 = 16,1$  мм

Сталь 40ХН  
(нормализация)



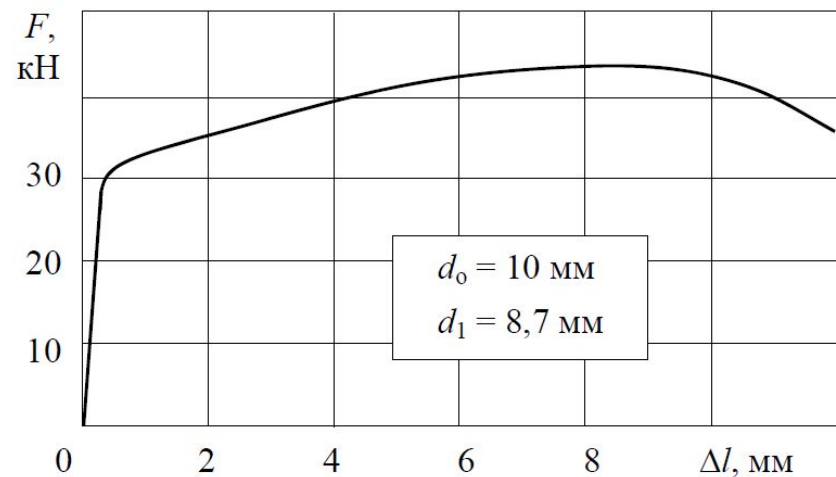
Вариант 7 а

Сталь 40ХН  
(закалка, отпуск 550°C)



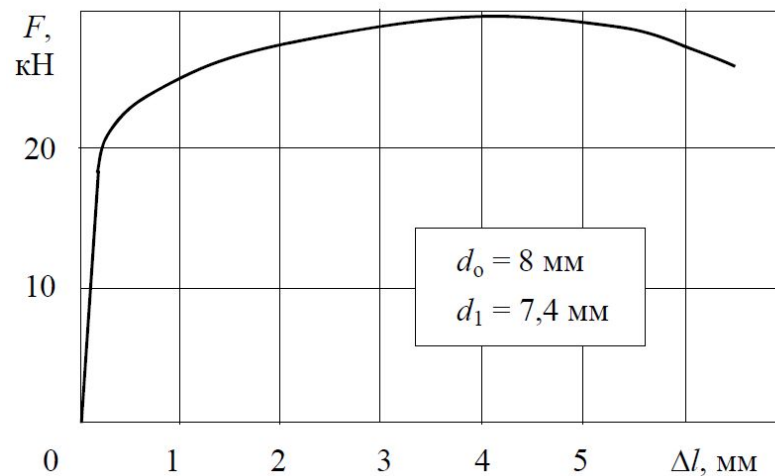
Вариант 7 б

Дюралюминий Д16  
(закалка, естественное старение)



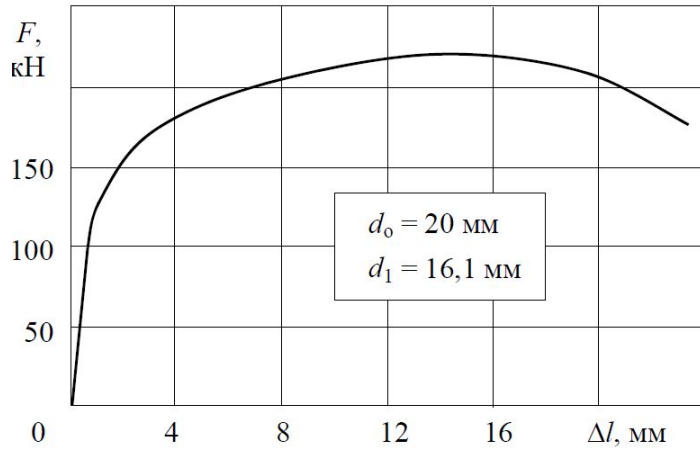
Вариант 8а

Высокопрочный алюминиевый сплав В95  
(закалка, искусственное старение)



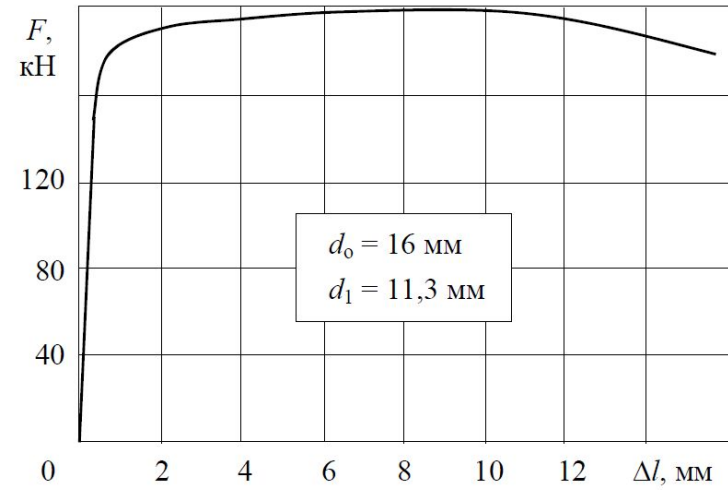
Вариант 8б

Сталь 18ХГТ  
(нормализация)



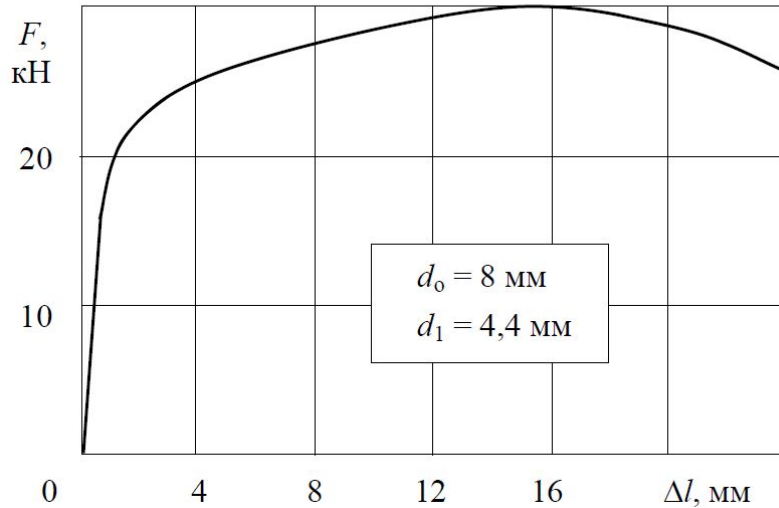
Вариант 9а

Сталь 18ХГТ  
(закалка, отпуск 200°С)



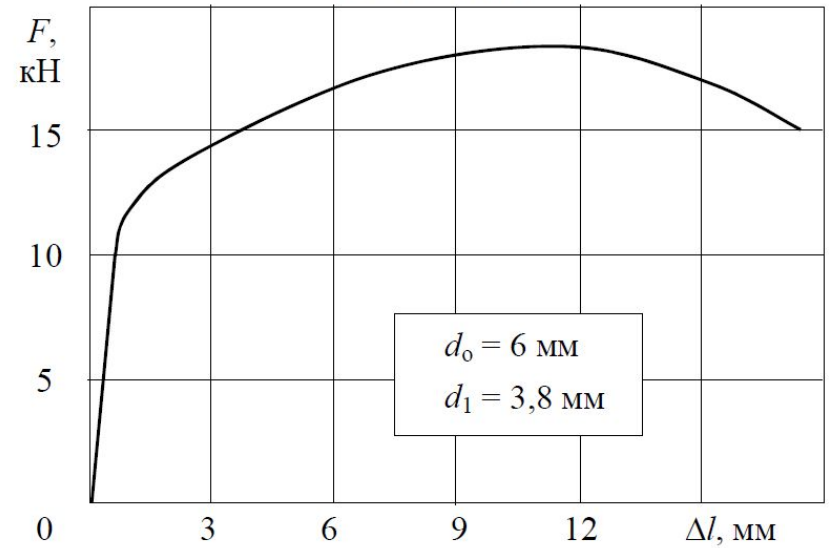
Вариант 9б

Сталь 08Х13 %С = 0,08



Вариант 10а

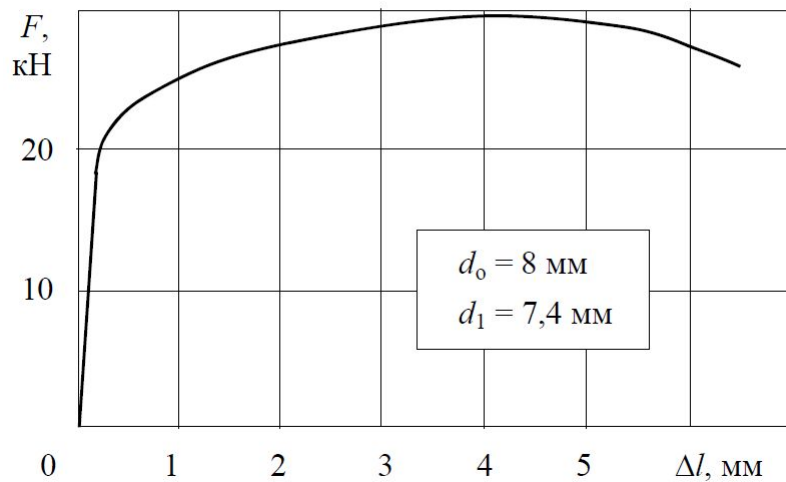
Сталь 1Х13 %С = 0,1



Вариант 10б

### Высокопрочный алюминиевый сплав В95

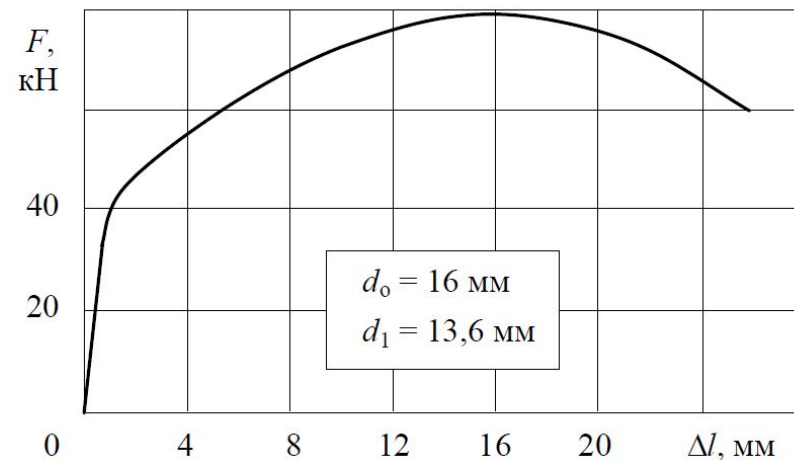
(закалка, искусственное старение)



Вариант 11а

### Алюминиевый сплав АК4

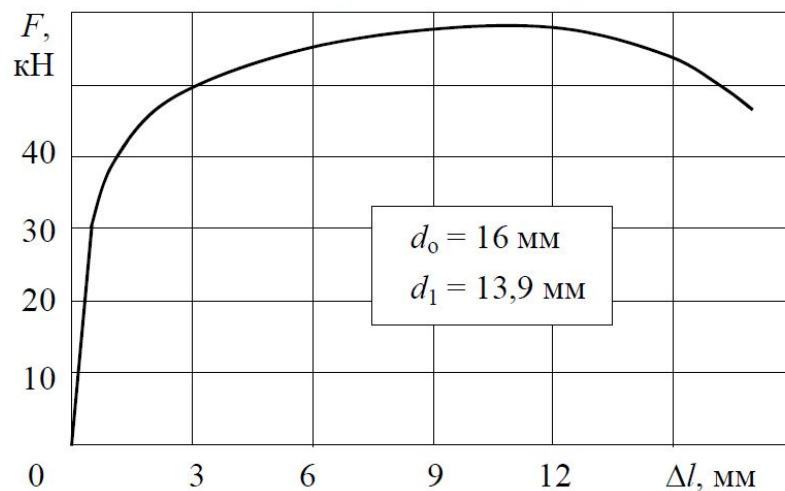
(закалка, искусственное старение)



Вариант 11б

### Деформируемый магниевый сплав МА5

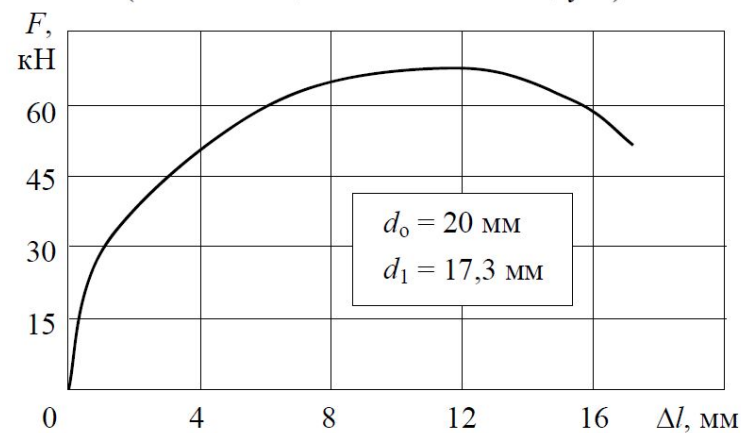
(закалка, искусственное старение)



Вариант 12а

### Литейный магниевый сплав МЛ15

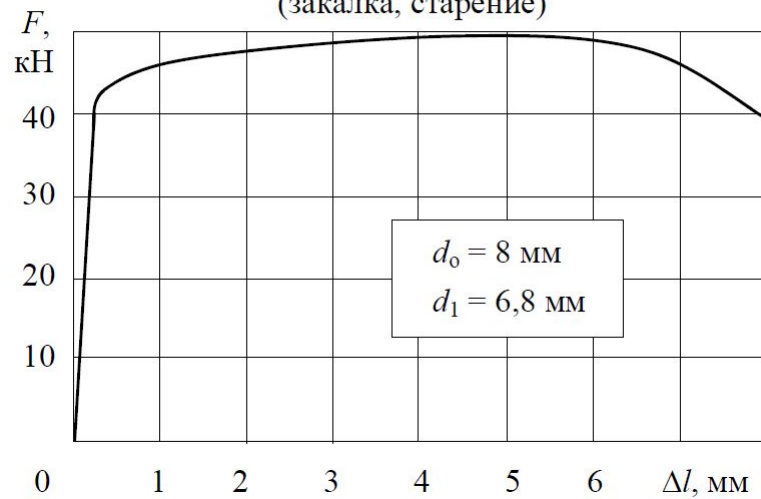
(гомогенизация и закалка на воздухе)



Вариант 12б

### Титановый сплав ВТ6

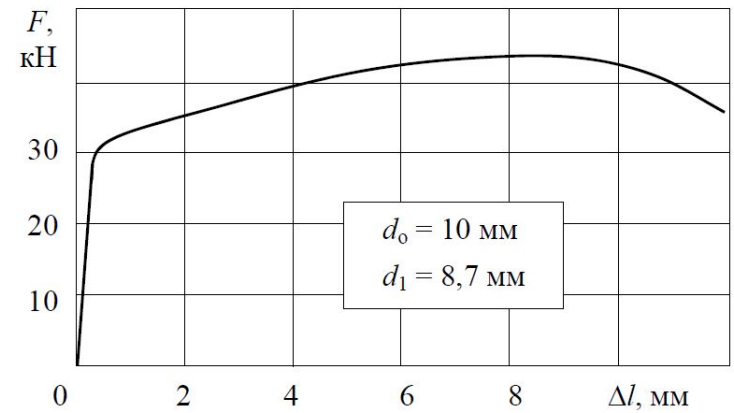
(закалка, старение)



### Вариант 13а

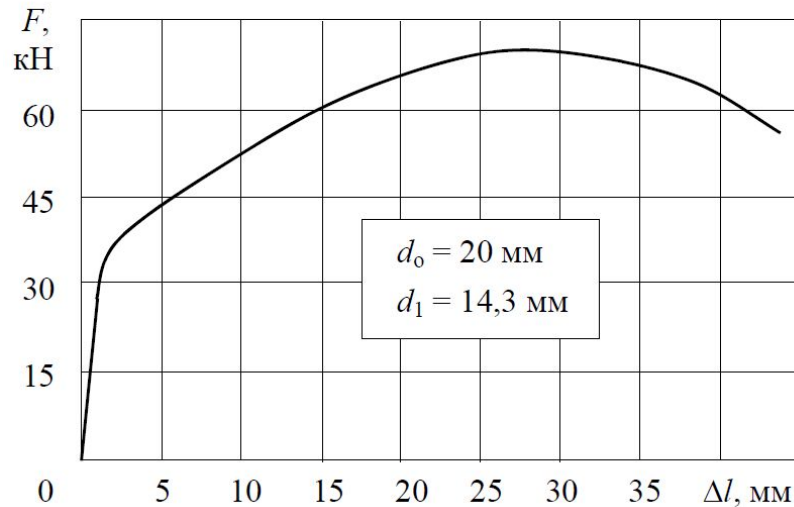
### Дюралюминий Д16

(закалка, естественное старение)



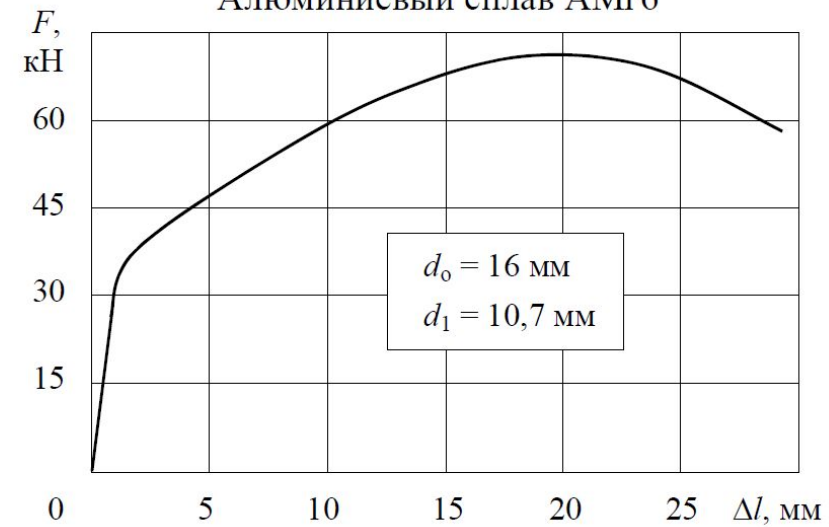
### Вариант 13а

### Алюминиевый сплав АМГ3



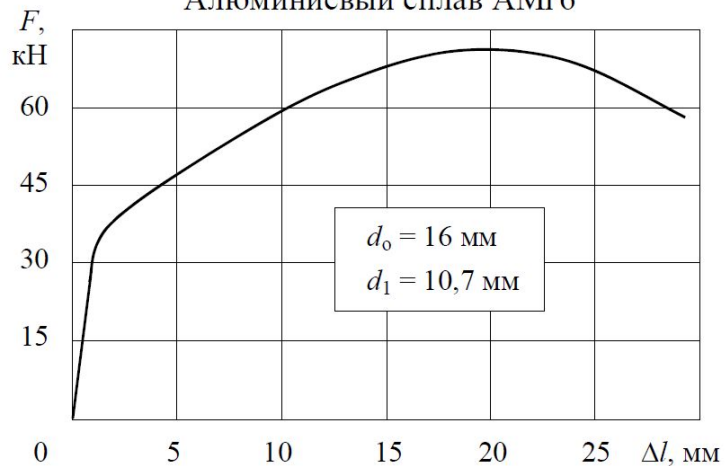
### Вариант 14а

### Алюминиевый сплав АМГ6

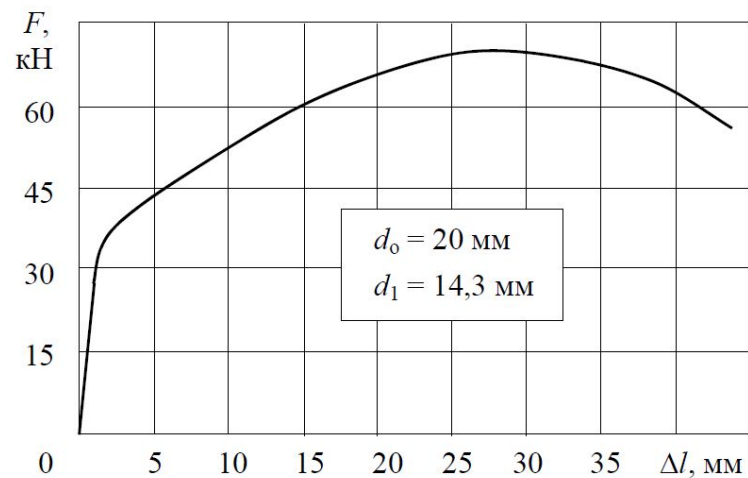


### Вариант 14б

Алюминиевый сплав АМг6

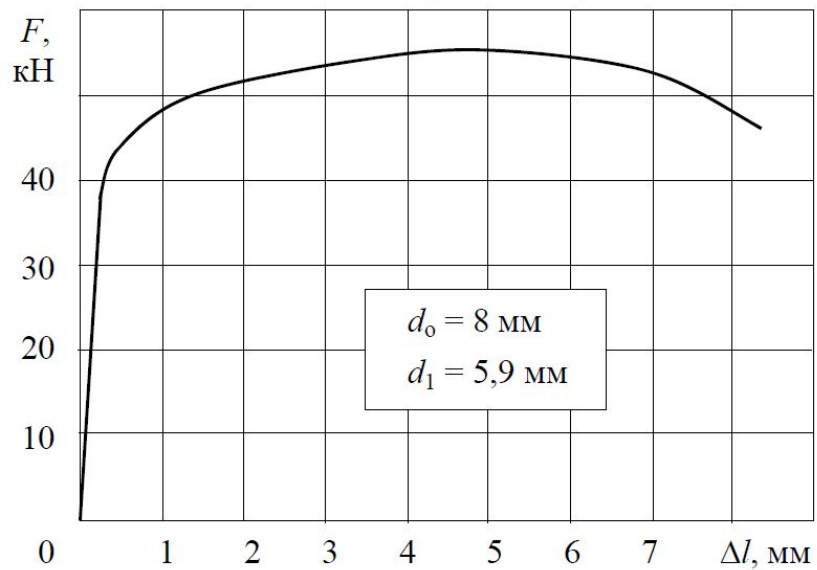


Алюминиевый сплав АМг3



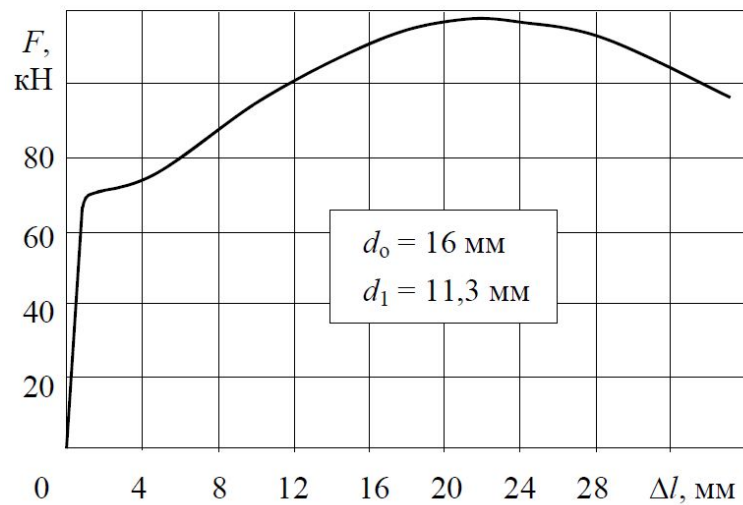
Вариант 14а

Сталь 30ХГСА  
(закалка, отпуск 540°C)



Вариант 14б

Сталь 30  
(улучшение)

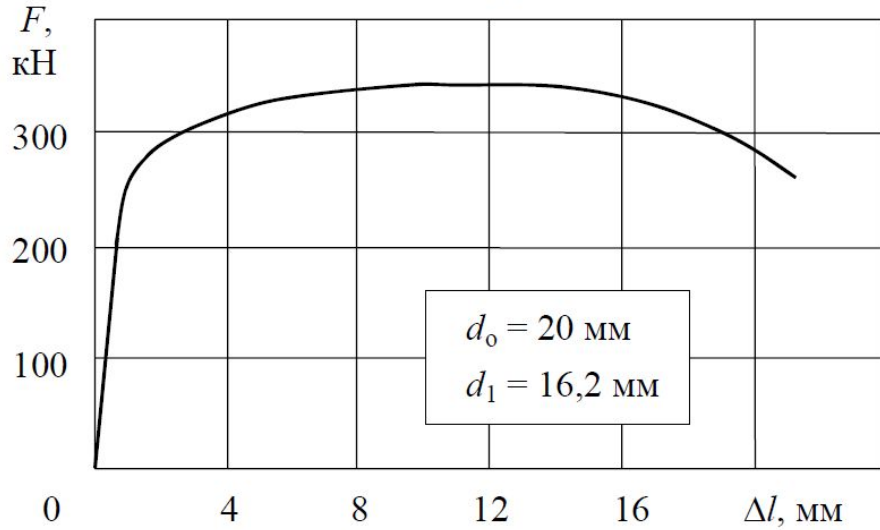


Вариант 15а

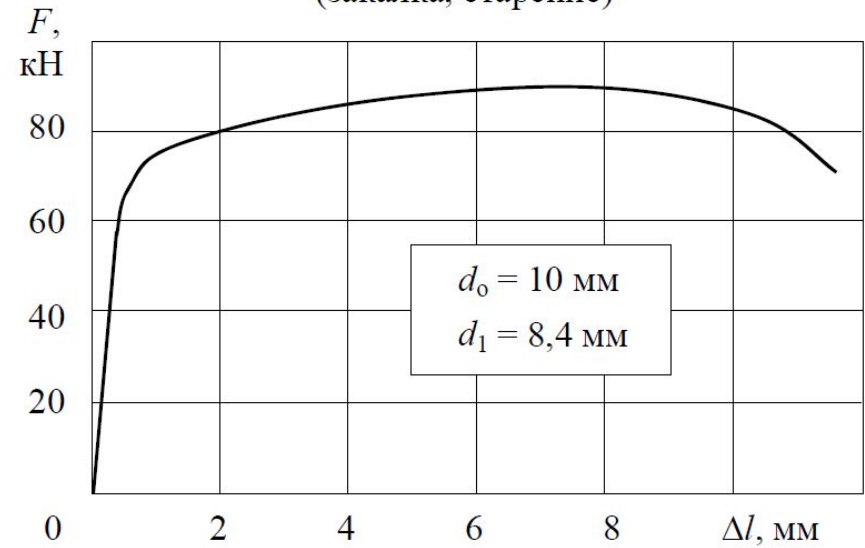
Вариант 15б



Титановый сплав ВТ14  
(закалка, старение)

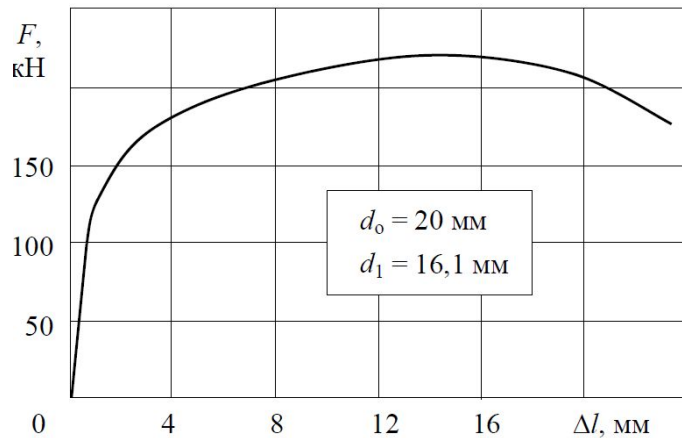


Титановый сплав ВТ3-1  
(закалка, старение)



Вариант 15а

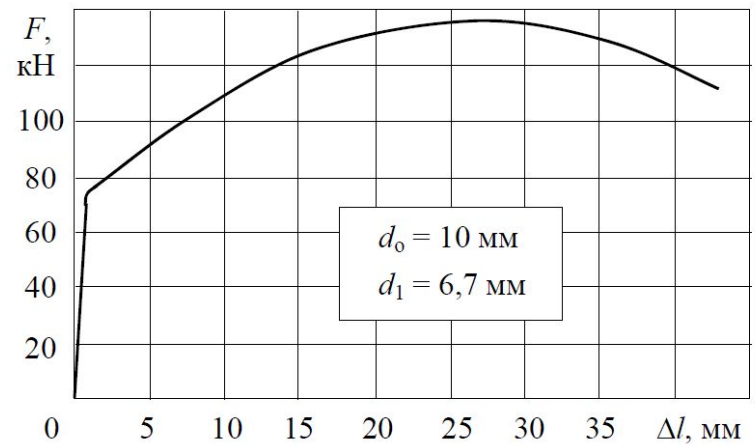
Сталь 18ХГТ  
(нормализация)



Вариант 16а

Вариант 15б

Сталь 10Г2  
(нормализация)



Вариант 16б