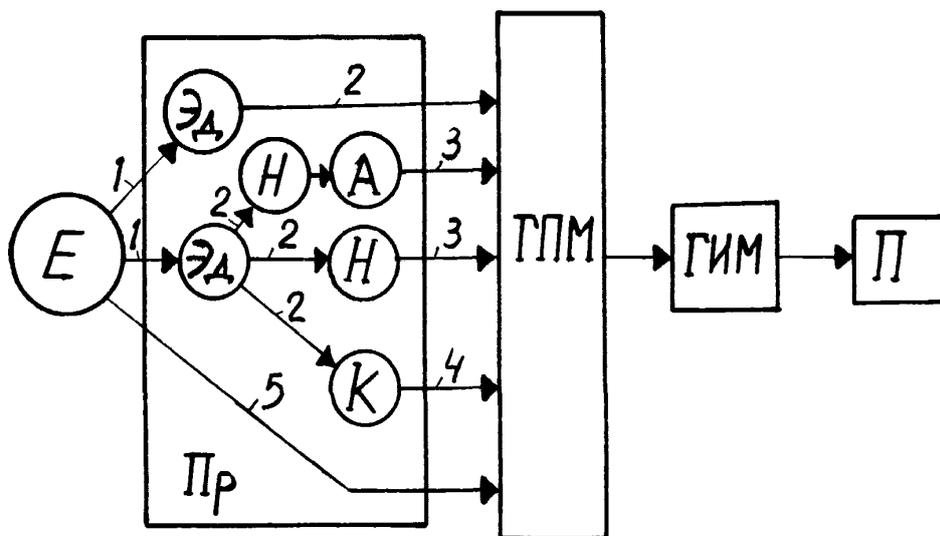


“Виды и взаимодействия различных видов энергии в системах КШМ.”

В общем случае эффективность работы КШМ определяется ее энергетическими показателями, основным из которых является эффективный КПД КШМ.

$$\eta_{\text{э}} = \frac{A_{\text{д}}}{E}$$

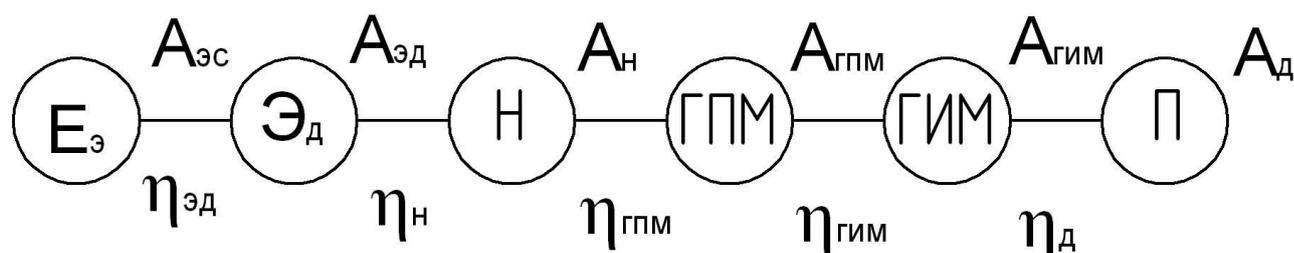
Прежде чем быть преобразованной в энергию деформирования входная энергия проходит ряд преобразований.



- Е – входная энергия
- Эд – электродвигатель
- Н – насос
- А – аккумулятор
- Пр – привод
- ГПМ – главный передаточный механизм
- ГИМ – главный исполнительный механизм
- П – поковка
- 1,5 – электрическая энергия
- 2 – механическая энергия
- 3 – энергия упруго-сжатой жидкости
- 4 – энергия упруго-сжатого газа или воздуха

Мы заинтересованы в максимальном сокращении промежуточных звеньев и количества преобразований, т.к. это ведет к увеличению потери энергии.

Схема преобразования на примере гидравлического прессы:



$E_э$ – электрическая входная энергия:

$A_{эс}$ - работа электросети

$$\eta_{эд} = \frac{A_{эд}}{A_{эс}} \quad \eta_н = \frac{A_н}{A_{эд}} \quad \eta_{ГПМ} = \frac{A_{ГПМ}}{A_н} \quad \eta_{ГИМ} = \frac{A_{ГИМ}}{A_{ГПМ}} \quad \eta_д = \frac{A_д}{A_{ГИМ}}$$

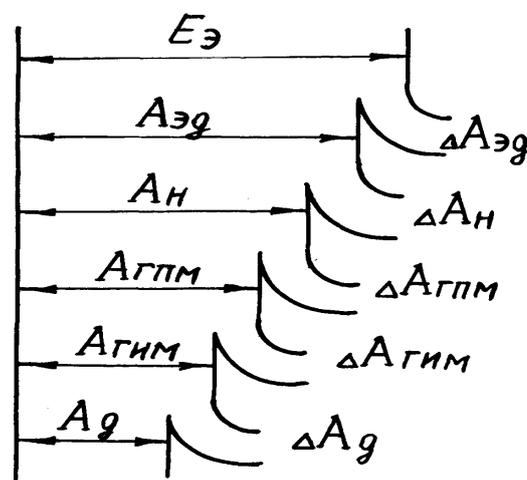
КПД электродвигателя: $\eta_{эд} = \frac{A_{эд}}{E_э}$

КПД насоса: $\eta_н = \frac{A_н}{A_{эд}}$

КПД ГПМ: $\eta_{ГПМ} = \frac{A_{ГПМ}}{A_н}$

КПД ГИМ: $\eta_{ГИМ} = \frac{A_{ГИМ}}{A_{ГПМ}}$

КПД хода деформирования: $\eta_д = \frac{A_д}{A_{ГИМ}}$



Общий КПД механизма (Эффективный):

$$\eta_э = \eta_{эд} \times \eta_н \times \eta_{ГПМ} \times \eta_{ГИМ} \times \eta_д = \frac{A_{эд}}{E_э} \times \frac{A_н}{A_{эд}} \times \frac{A_{ГПМ}}{A_н} \times \frac{A_{ГИМ}}{A_{ГПМ}} \times \frac{A_д}{A_{ГИМ}} = \frac{A_д}{E_э}$$

$$\eta_э = \frac{A_д}{E_э}$$

$A_д$ – полезная работа деформирования

$E_э$ – входная энергия электросистемы (затрачиваемая)

КПД прессы – отношение полезной работы деформирования ко входной энергии электросети.

$\eta_э = 12...15\%$ (до 30%) - для винтовых прессов

$\eta_э = 2...2,5\%$ - для паровоздушных молотов

80-90% энергии теряется на участке от источника энергии до ГИМ, кроме того $\eta_э$ зависит от вида операции, выполняемой на данной машине.

Осадка: $\eta_d = 0,5 \dots 0,8$

Глубокая вытяжка: $\eta_d = 0,8 \dots 0,9$

Калибровка, чеканка: $\eta_d = 0,2$

“Энергосиловой баланс на ходе деформирования.”

Он устанавливает связь между силой деформирования, работой деформирования, работой упругой деформации, работой сил трения и эффективной энергией КШМ.

$$T = A_D + A_U + A_T$$

A_D – работа деформирования

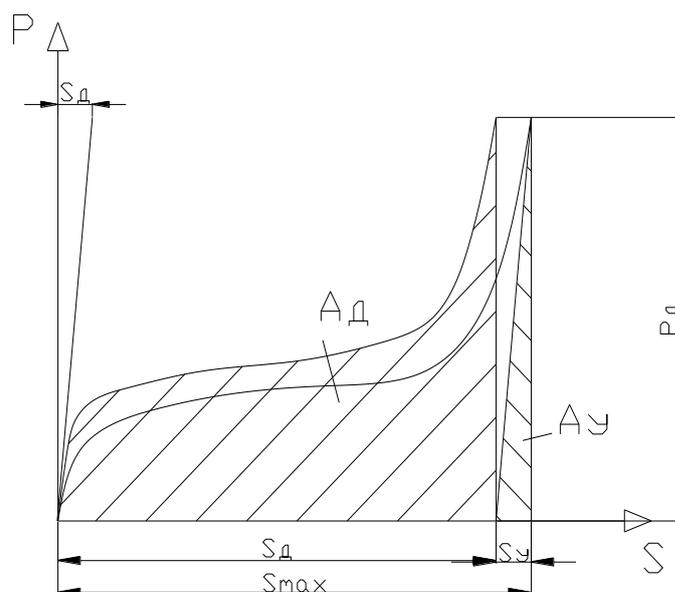
$$A_D = \int_0^{s_d} P(s) ds ;$$

A_U – работа упругой деформации

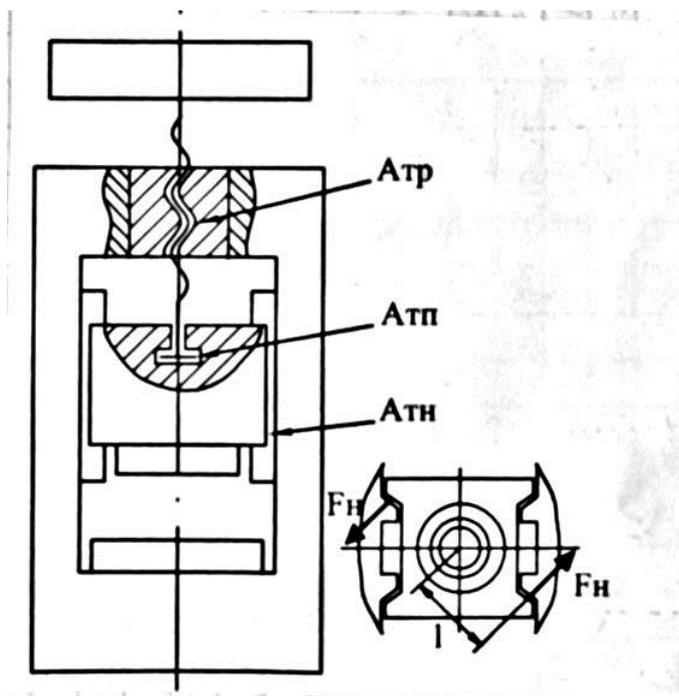
$$A_U = \frac{P_d^2}{2c} , \text{ где } P_d \text{ – сила в конце хода деформирования}$$

c – жесткость КШМ

$$A_T = \sum_{i=1}^l \int_0^{\varphi} M_i(\varphi_i) d\varphi_i + \sum_{j=1}^m \int_0^{s_d} P_j(s_j) ds_j$$



“Определение потери энергии на трение на примере винтового пресса.”



1. Работа трения в винтовом механизме (в резьбе):

$$A_{TP} = \int_0^{\varphi} M_{TP}(\varphi) d\varphi$$

$$M_{TP} = \mu_1 \times P(S) \times \frac{D_C}{2} \times \frac{tg^2 \alpha + 1}{1 - \mu \times tg \alpha} - \text{момент трения.}$$

μ_1 – коэффициент трения

α – угол подъема резьбы

D_C – средний диаметр резьбы

S – жесткость

$$\varphi = \frac{2\pi}{h} \times S$$

$$A_{TP} = \int_0^{\varphi} M_{TP}(\varphi) d\varphi = \mu_1 \times \frac{\pi \times D_C}{h} \times \frac{tg^2 \alpha + 1}{1 - \mu \times tg \alpha} \times \int_0^{S_{MAX}} P(S) dS$$

S_{MAX} – полный ход

$$\mu_1 \times \frac{\pi \times D_C}{h} \times \frac{tg^2 \alpha + 1}{1 - \mu \times tg \alpha} = a_{TP} - \text{коэффициент, учитывающий конструктивное}$$

исполнение винтовой пары и условия ее работы.

$$\int_0^{S_{MAX}} P(S) dS = \int_0^{S_D} P(S) dS + \frac{P_D^2}{2 \times C}$$

$A_{TP} = a_{mp} \left(\int_0^{S_d} P(S) dS + \frac{P_D^2}{2 \times C} \right)$ - потери на трение при выполнении ползуном работы и затраты на работу упругой деформации.

2. Работа трения в пяте:

$$A_{TP\Pi} = \int_0^{\varphi} M_{TP\Pi}(\varphi) d\varphi; \quad d\varphi = \frac{2\pi}{h} ds$$

$$M_{TP\Pi} = \mu_2 \times \frac{2}{3} P(S) \times \frac{R_{\Pi}^3 - r_{\Pi}^3}{R_{\Pi}^2 - r_{\Pi}^2}$$

$$A_{TP\Pi} = \mu_2 \frac{4}{3} \times \frac{\pi}{h} \times \frac{R_{\Pi}^3 - r_{\Pi}^3}{R_{\Pi}^2 - r_{\Pi}^2} \times \int_0^{S_d} P(S) dS + \frac{P_D^2}{2 \times C}$$

$$\mu_2 \frac{4}{3} \times \frac{\pi}{h} \times \frac{R_{\Pi}^3 - r_{\Pi}^3}{R_{\Pi}^2 - r_{\Pi}^2} = a_{mp\Pi}$$

R, r – наружный и внутренний радиус резьбы

μ_2 – коэффициент трения

$A_{TP\Pi}$ - потери энергии на трение в пяте с учётом потерь на упругие деформации.

$a_{mp\Pi}$ - коэффициент, учитывающий конструктивное исполнение пяты и условия ее работы.

3. Работа трения в направляющих:

$$A_{TPH} = \int_0^{S_H} R_{TPH}(s) ds; \quad R_{TPH} - \text{сила трения в направляющих.}$$

$$A_{TPH} = \mu_2 \mu_3 \frac{2}{3L} \times \frac{R_{\Pi}^3 - r_{\Pi}^3}{R_{\Pi}^2 - r_{\Pi}^2} \times \int_0^{S_d} P(S) dS + \frac{P_D^2}{2 \times C}$$

μ_2 – коэффициент трения в пяте

μ_3 – коэффициент трения в направляющих

L – плечо приложения нормальной силы в направляющих

$$\mu_2 \mu_3 \frac{2}{3L} \times \frac{R_{\Pi}^3 - r_{\Pi}^3}{R_{\Pi}^2 - r_{\Pi}^2} = a_{mpH}$$

a_{mpH} - коэффициент, учитывающий конструктивное исполнение направляющих и условия их работы.

“Определение полезной работы деформирования.”

$$A_T = A_{Tp} + A_{Tp\Pi} + A_{TpH} = a \left(\int_0^{S_p} P(s) ds + \frac{P_\partial^2}{2c} \right)$$

$$a = a_{mp} + a_{mp\Pi} + a_{mpH}$$

a - коэф., учитывающий все конструктивное исполнение всех кинематических пар пресса и условия их работы.

$T = \int_0^{S_p} P(s) ds + \frac{P_\partial^2}{2c} + a \left(\int_0^{S_p} P(s) ds + \frac{P_\partial^2}{2c} \right)$ - затраты энергии на ходе деформирования.

$$\int_0^{S_p} P(s) ds + \frac{P_\partial^2}{2c} = A_\partial;$$

$$a \left(\int_0^{S_p} P(s) ds + \frac{P_\partial^2}{2c} \right) = A_y$$

$$A_\partial + A_y = \frac{A_T}{a};$$

$$T = \frac{A_T}{a} + A_T;$$

$$A_T = \frac{a}{1+a} \times T$$
 - затраты на трение, величина постоянная и не зависит от

работы деформирования и работы упругой деформации. Она зависит только от конструктивного исполнения пресса и условий его эксплуатации.

$$T = (1+a) \left(A_\partial + \frac{P_\partial^2}{2c} \right)$$

$$A_D = \frac{1}{1+a} \times T - \frac{P_D^2}{2 \times C}$$
 - полезная работа деформирования

Если $S_\partial = 0 \rightarrow A_\partial = 0$

T – энергия, затрачиваемая на ходе деформирования.

$$\frac{1}{1+a} \times T - \frac{P_x^2}{2 \times C} = 0$$

Сила удара:

$$P_x = \sqrt{\frac{2Tc}{1+a}}$$

P_x - максимальная сила, которая может быть развита прессом

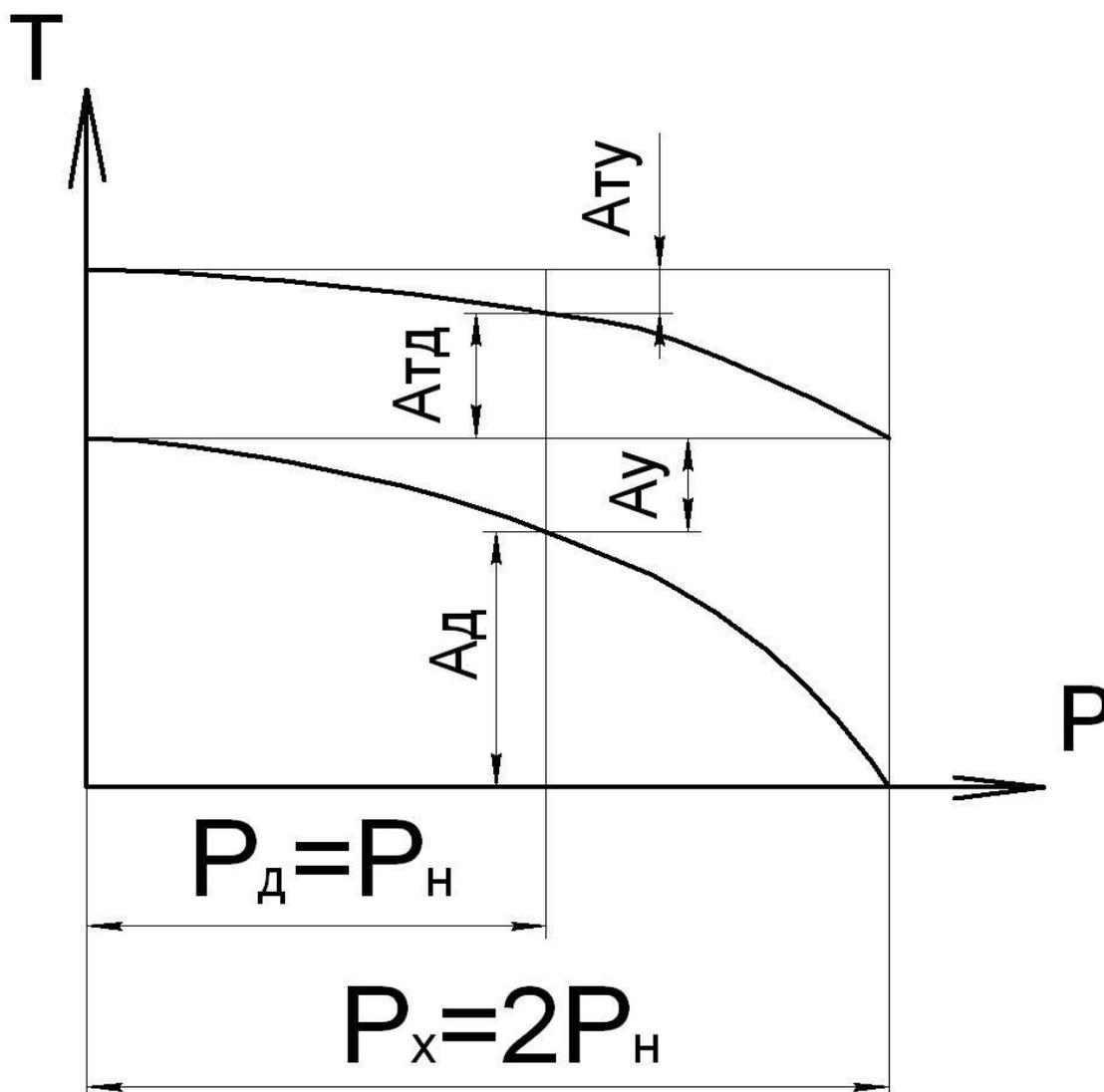
$P_x = 2P_H$ - для винтового пресса

P_H назначается в зависимости от жёсткости машины.

Определим жёсткость в зависимости от величины максимальной силы:

$$(2P_H)^2 = \frac{2Tc}{1+a} \rightarrow c = \frac{2P_H^2(1+a)}{T} - \text{жёсткость пресса.}$$

“**Диаграмма зависимости между энергией и силой деформирования.**”



$A_{m\delta}$ - работа трения при деформировании.

A_{my} - работа трения на упругую деформацию.

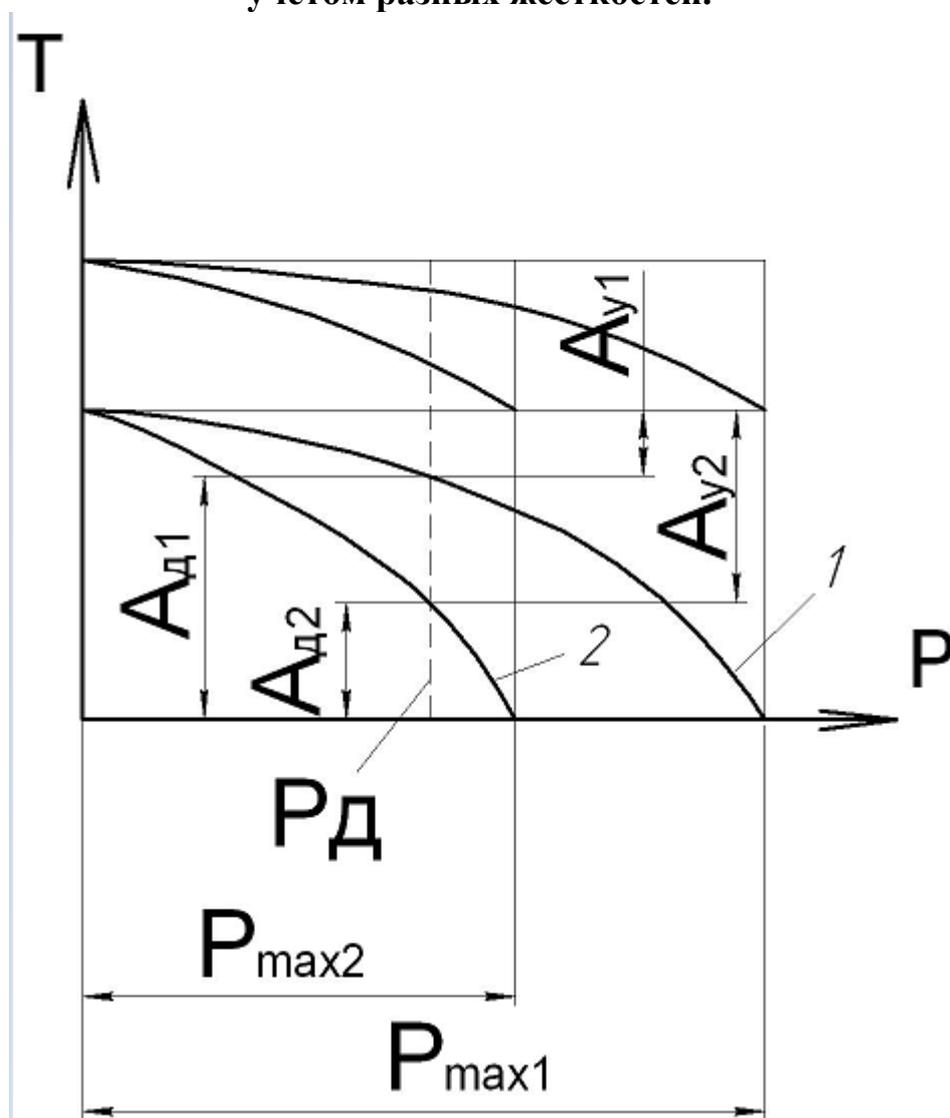
$$A_{m\delta} = a \cdot A_{\delta}$$

$$A_{my} = a \cdot A_y = a \frac{P_{\delta}^2}{2c}$$

Если $A_{\delta}=0$, то $A_{\text{полезн.}}=0$, а затраты идут только на упругую деформацию и на трение.

При $P_{\delta}=0$, $A_{\text{полезн.}}=\max$ из условия, что $T=\text{const}$ и эту же энергию мы полностью затрачиваем на ходе деформирования.

“Диаграмма зависимости между энергией и силой деформирования с учетом разных жесткостей.”

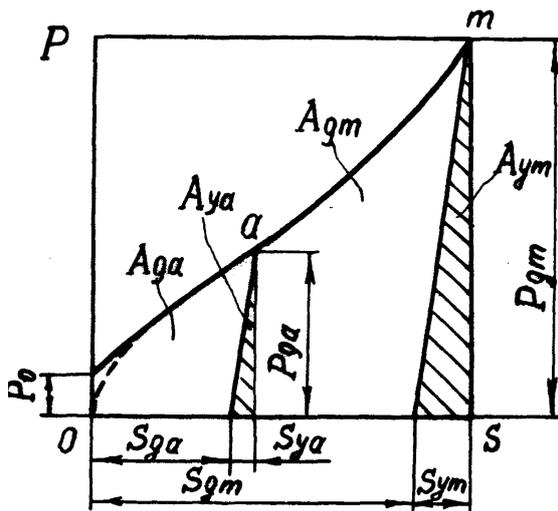


- 1- жёсткость C_1
- 2- жёсткость C_2
- $C_1 > C_2$

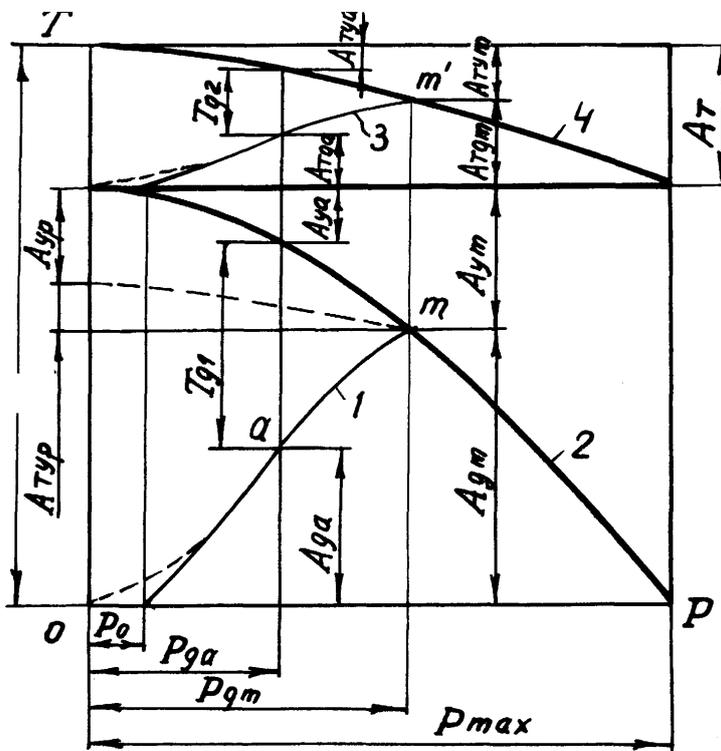
С увеличением жесткости A_y уменьшается, $A_{\text{ползн.}}$ увеличивается, сила холостого удара увеличивается.

“**Диаграмма энергосилового баланса при полном и неполном расходовании энергии.**”

Диаграмма хода деформирования:



В процессе штамповки нагрузка возрастает плавно от P_0 до $P_{\text{д.мах}}$. В связи с этим должен меняться энергосиловой баланс.



1 – полезная работа деформирования в процессе деформирования

2 – полезная работа деформирования при заданной силе в конце хода деформирования

3 – потери энергии на трение при выполнении полезной работы деформирования

4 – потери работы на трение при окончании хода деформирования.

$A_{ур}$ - работа упругой разгрузки

$A_{тур}$ - работа трения упругой разгрузки

Баланс:

$$T = A_{\partial a} + T_{\partial 1} + A_{ya} + A_{T\partial a} + T_{\partial 2} + A_{Tya}$$

$A_{\partial a}$ - полезная работа деформирования

A_{ya} - работа упругой деформации системы прессы

$A_{T\partial a}$ - потери на трение в кинематических парах прессы при выполнении работы деформирования

A_{Tya} - потери на трение в кинематических парах прессы при упругих деформациях

$T_{\partial 1}$ - неизрасходованная часть кинетической энергии, которая в дальнейшем будет израсходована на последующее деформирование.

$T_{\partial 2}$ - неизрасходованная часть кинетической энергии, которая в дальнейшем будет израсходована на трение и упругую деформацию.

Весь цикл штамповки делится на 2 этапа:

1й этап – нагружение

2й этап – упругая разгрузка

В конце хода деформирования система упруго деформировалась и накопила упругие деформации.

$$A_{ун} = A_{тур} + A_{ур} \quad (р - \text{разгрузка})$$

Во время цикла нагрузки и разгрузки

$$T_{\partial} = T - A_{ур} - \text{энергия, затраченная на ходе деформирования}$$

$$\Delta T_{д2} = A_{тy} + \Delta T_{y2}.$$

Если точка К находится на прямой а-в или выше, то отсутствует $\Delta T_{д2}$.

$A_{тпр.} = \Delta T_{д1} + \Delta T_{д2}$ – работа трения предохранительного устройства.

Частые срабатывания предохранителя приводят к дополнительным потерям энергии и снижению ресурса КШМ. Вследствие этого необходимо. Чтобы предохранитель срабатывал реже. (нахождение ниже прямой а-в).