



Задания, ответы и критерии оценивания

Выпускник технического университета решил организовать собственное малое инновационное предприятие. Взяв кредит в банке, он купил роботизированную производственную систему для изготовления станков аддитивного производства (3D принтеров) для изготовления из пластика моделей и прототипов машиностроительных изделий (рис. 1). Такой 3D принтер содержит несущую систему, приводы, узлы координатных перемещений, печатающую головку, линейные измерительные преобразователи (энкодеры). В цехе предприятия было установлено следующее оборудование: токарный и фрезерный обрабатывающие центры с ЧПУ, сварочный робот и робот-манипулятор. В процессе изготовления различных деталей молодой инженер столкнулся с рядом производственных задач, представленных ниже.



Рис. 1

Задача № 1 (5 баллов)

3D-принтер монтируется на неподвижной раме, профиль которой изображен на рис. 2. На виде спереди рама имеет вид квадрата с длиной стороны 108 см. Рама сваривается из труб переменного сечения и на виде слева имеет форму равнобокой трапеции с длиной большего основания 30 см. Сварочный робот должен сварить 4 трубы в четырех местах, как показано на рис. 2. Рама сваривается в три этапа. На первом этапе свариваются швы на лицевой поверхности (вид спереди), на втором – на оборотной, на третьем – снаружи и

изнутри рамы (вид слева). Определить, за **какое время** будет произведен процесс сварки всей рамы, если скорость V перемещения электрода равна 1 см/с (время перемещения электрода между швами и другие холостые перемещения не учитываются). Во время сварки электрод робота движется с постоянной скоростью.

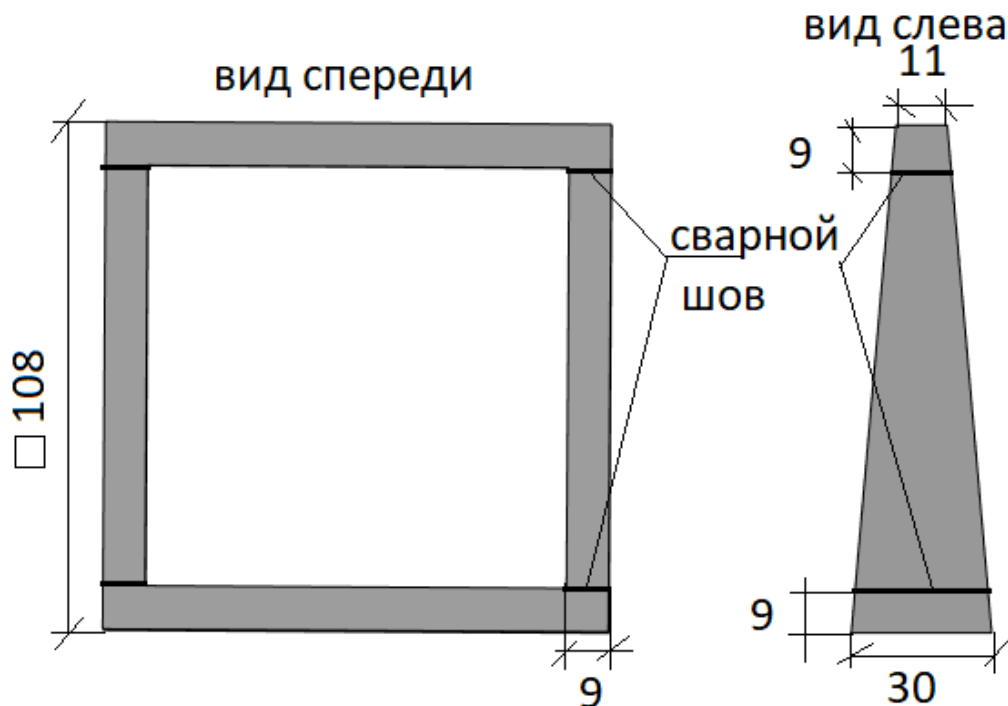


Рис. 2

Решение.

Суммарная длина швов на виде спереди равна $L_1=4 \cdot 9=36$ см. Суммарная длина швов на виде сзади аналогично равна $L_2=36$ см, так как рама симметричная. На виде слева снаружи имеются два шва, аналогичные два шва имеются внутри. Высота достроенного треугольника $h \approx 170,5$ см. Длина шва на расстоянии 9 см от меньшего основания равна $L_3=11 \cdot (h-9)/h-108 \approx 12,6$ см. Длина шва на расстоянии 9 см от большего основания равна $L_4=30 \cdot (h-9)/h \approx 28,4$ см. Суммарная длина всех швов равна $L=L_1+L_2+4 \cdot L_3+4 \cdot L_4=36+36+4 \cdot 12,6+4 \cdot 28,4=236$ см. Основное время сварки составит $t=L/V=236/1=236$ с.

Ответ: 236 с.

Задача № 2 (10 баллов)

На металлообрабатывающем центре фрезеруется деталь (1) 3D принтера, которая закрепляется в зажимном приспособлении с пневмоприводом. Пневмопривод состоит из пневмокамеры двустороннего действия с резиноканевой диафрагмой (2), рычага (3), рычага (4) и тяги (5). Требуется определить, какая сила W будет приложена к детали, если диаметр диафрагмы пневмокамеры равен $D=125$ мм, диаметр опорной шайбы $d=88$ мм, рабочее давление воздуха, поступающего в пневмокамеру $p=0,4$ МПа; КПД всего привода $\eta=0,9$, остальные параметры приведены на рис. 3.

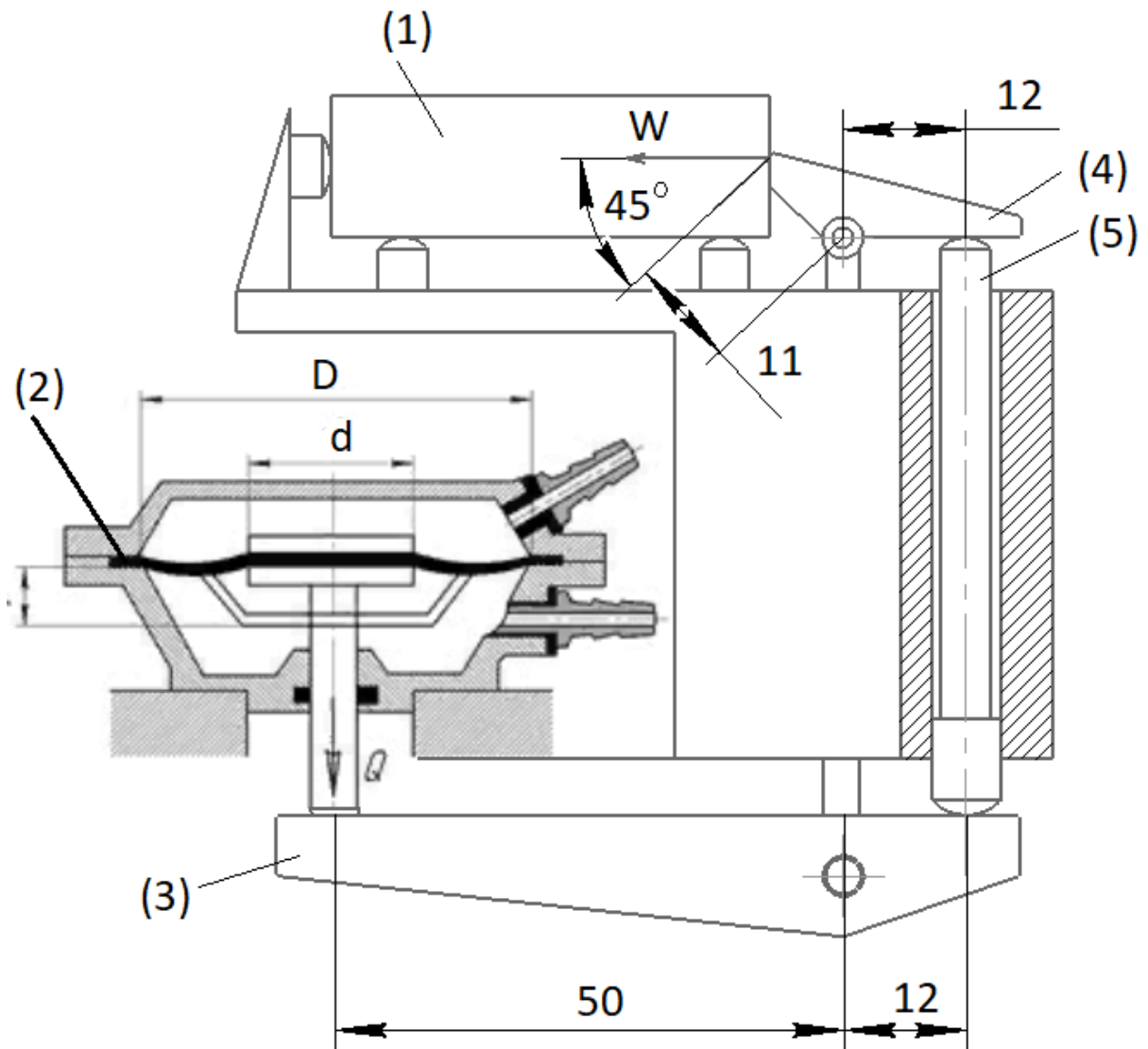


Рис. 3

Решение.

Эффективное усилие на штоке пневмокамеры определяется диаметром опорной шайбы и рабочим давлением воздуха: $Q = p \cdot \pi \cdot d^2 / 4 = 400000 \cdot 3,14 \cdot 0,088^2 / 4 \approx 2432 \text{ Н}$.

Усилие зажима W определяется усилием Q и передаточным отношением исполнительного механизма:

$$W = Q \cdot 50 / 12 \cdot 12 / 11 \cdot \cos 45^\circ \cdot \eta = 2432 \cdot 4,17 \cdot 1,09 \cdot 0,71 \cdot 0,9 \approx 7063,6 \text{ Н}.$$

Ответ: 7063,6 Н.

Задача № 3 (20 баллов)

Рама 3D-принтера сделана из легкого сплава, поэтому ее сварка производится в среде защитных газов *гелия и аргона*. Баллон для сварки объемом V должен быть заполнен смесью гелия и аргона в молярном отношении 9:1 при общем давлении 10 атм (1 атм=100 кПа). Аргон содержится в баллонах объемом $V_1=1$ л при давлении $P_1=300$ атм, гелий в баллонах $V_2=2$ л при давлении $P_2=50$ атм. Сколько баллонов гелия понадобится для того, чтобы полностью использовать один баллон аргона?

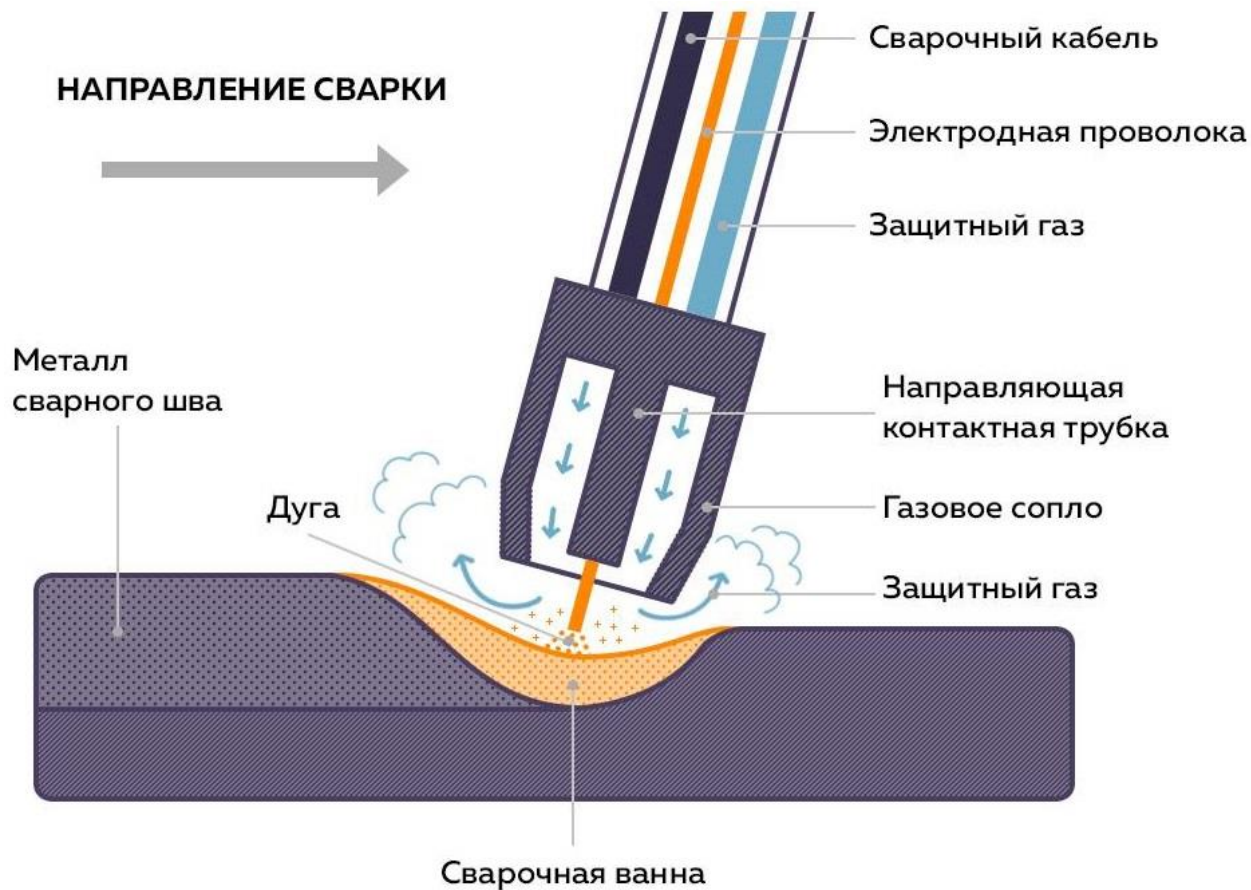


Рис. 4

Решение.

Отношение давлений гелия и аргона пропорционально отношению их молярных количеств $P_{\text{ге}}/P_{\text{ар}}=v_{\text{ге}}/v_{\text{ар}}$; $P_{\text{ге}}+ P_{\text{ар}}=10$ атм. Тогда парциальные давления гелия и аргона соответственно равны $P_{\text{ге}}=9$ атм, $P_{\text{ар}}=1$ атм. Если V -общий объем баллона для сварки, который надо заполнить, а N -число баллонов гелия, то по закону Бойля-Мариотта $P_1 V_1=P_{\text{ар}}(V+V_1+NV_2)$ для аргона; $P_2 \cdot NV_2=P_{\text{ге}}(V+V_1+NV_2)$ для гелия. Разделив первое уравнение на второе найдем $N=(P_1 V_1 P_{\text{ге}})/(P_2 P_{\text{ар}} V_2)=300 \cdot 1 \cdot 9/50 \cdot 1 \cdot 2=27$ шт.

Ответ: 27.

Задача № 4 (30 баллов)

Для участка сборки инженер получил чертеж одной из *деталей* 3D-принтера, которая без размеров изображена четырьмя проекциями, приведенными на рис. 5. Четыре проекции – это изображение четырех видов конструкции: спереди, сверху, слева и снизу. Нарисуйте **разрез** этой детали плоскостью А-А, параллельной виду слева и проходящей ровно через ось симметрии детали. Для пояснения приведенных выше понятий на рис. 6 («Пример для пояснения») даны все виды и разрезы применительно к другой детали. На **разрезе** рисуются все кромки детали, которые попали в секущую плоскость и те, которые видны за ней.

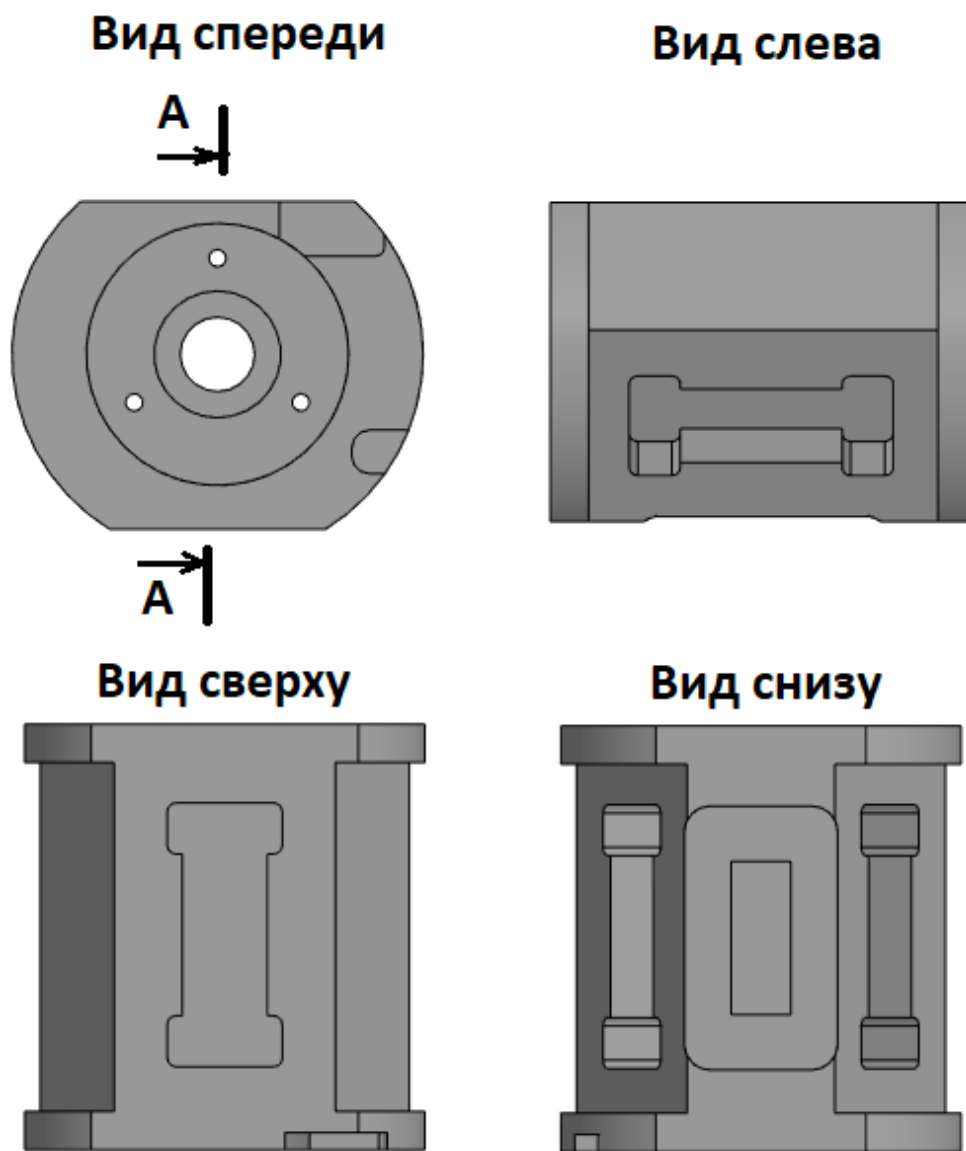


Рис. 5

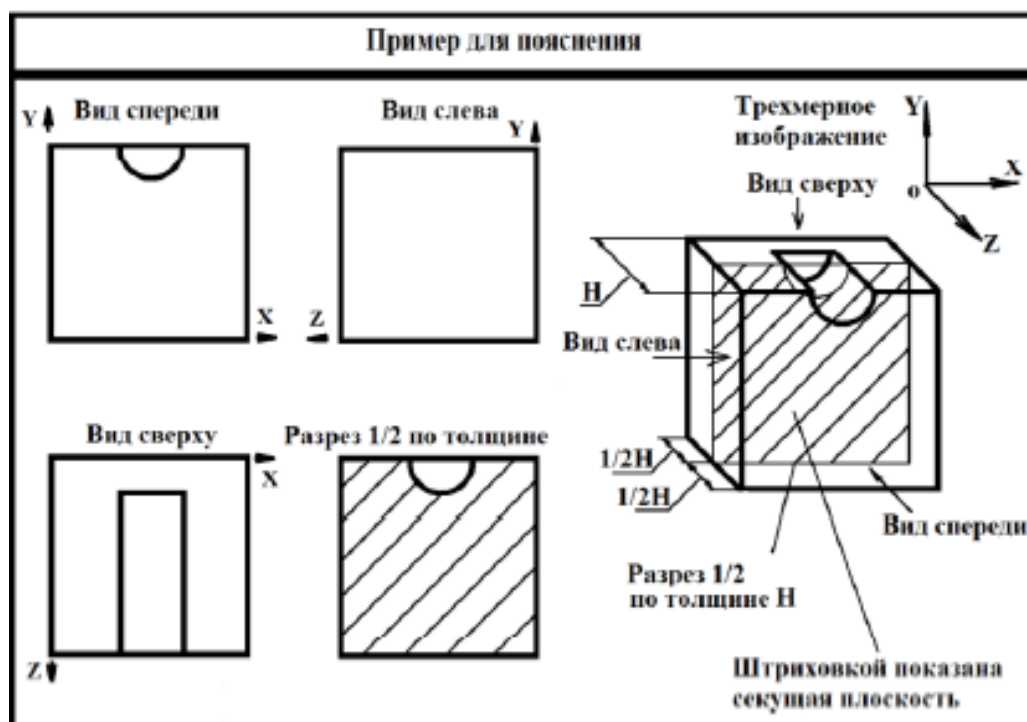
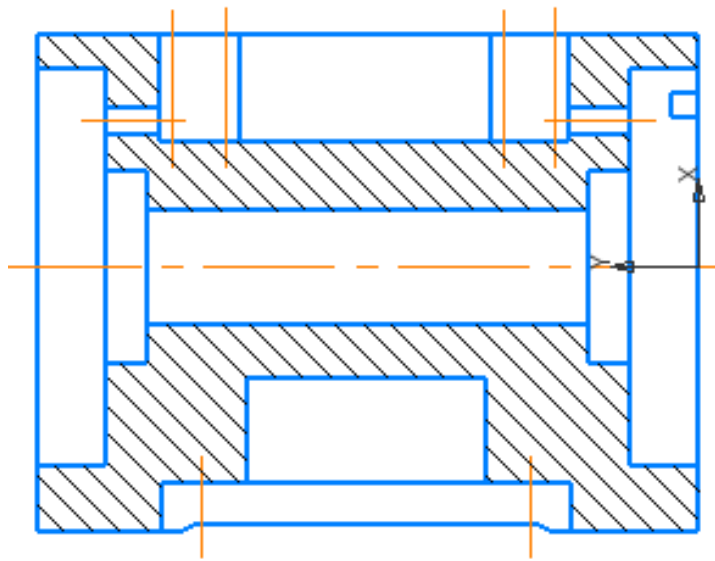


Рис. 6

Ответ:

A—A



Задача № 5 (35 баллов)

На участке обработки деталей для 3D-принтера, где работает выпускник, возникла проблема отказа конструктивных элементов режущего инструмента (рис 7). Высокие механические напряжения служили причиной разрушения режущей пластины токарного проходного резца, так как момент затяжки винта был чрезмерным. Сменная режущая пластина токарного проходного резца (2) крепится в державке резца (1) с помощью винта (3), который ввинчивается в державку. Прижим пластины к державке осуществляется за счет того, что головка винта имеет смещение (эксцентриситет) e относительно резьбовой части винта. Чем больше величина e , тем больше сила прижима пластины винтом к державке. Для определения величины смещения e , необходимо знать величину силы прижима винта к пластине. Упрощенная расчетная схема представлена на рис. 8. На пластину действует сила резания P_1 , которая стремится опрокинуть пластину относительно точки С. Рассматривая пластину (2) как рычаг, качающийся относительно точки С, **требуется определить минимальную силу закрепления P_2** , действующую со стороны винта на пластину, если известна сила резания $P_1=500$ Н, а размеры плеч приложенных сил относительно точек С и В равны:

- $a = 0,00397$ м;
- $g = 0,00227$ м;
- $b = 0,00049$ м;
- $c = 0,00825$ м;
- $\alpha = 30^\circ$;
- $\beta = 30^\circ$.

Коэффициент трения между пластиной и винтом равен $f = 0,16$. Трение между державкой и пластиной не учитывать.

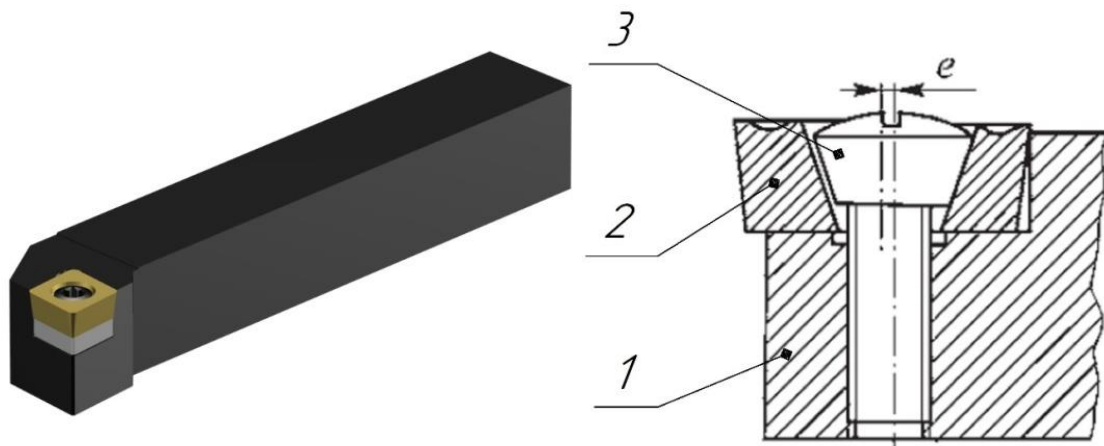


Рис. 7

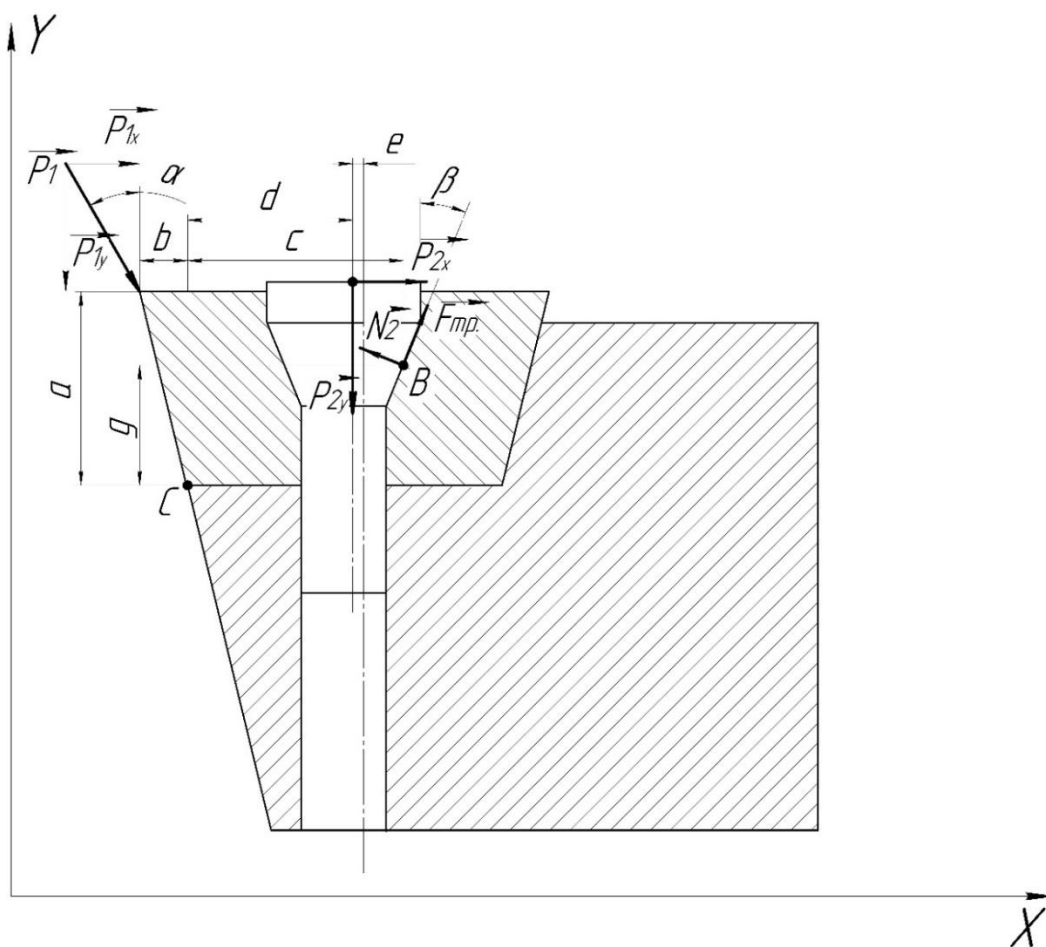


Рис. 8

Решение.

Запишем систему уравнений, описывающих статическое равновесие узла установки пластины:

$$\begin{aligned} \sum F_X = 0: & P_1 \sin(\alpha) + P_{2x} + N_2 \cos(\beta) + F_{\text{тр.}} \sin(\beta) = 0 \\ \sum F_Y = 0: & -P_1 \cos(\alpha) - P_{2y} - N_2 \sin(\beta) + F_{\text{тр.}} \cos(\beta) = 0 \\ \sum M_C = 0: & P_1 \cos(\alpha) b - P_{2x} a - P_{2y} d - P_1 \sin(\alpha) a - N_2 \cos(\beta) \frac{a}{2} - \\ & - N_2 \sin(\beta) c + F_{\text{тр.}} \cos(\beta) c - F_{\text{тр.}} \sin(\beta) \frac{a}{2} = 0 \end{aligned}$$

Так как для одного тела под действием плоской системы сил можно составить только три независимых уравнения равновесия, а в данном случае неизвестных больше, чем уравнений равновесия системы, то для их определения необходимо нужно разделить на 2 подсистемы (статическое равновесие пластины и статическое равновесие винта) (рис. 9, 10) и решить отдельно уравнения для винта и для пластины.

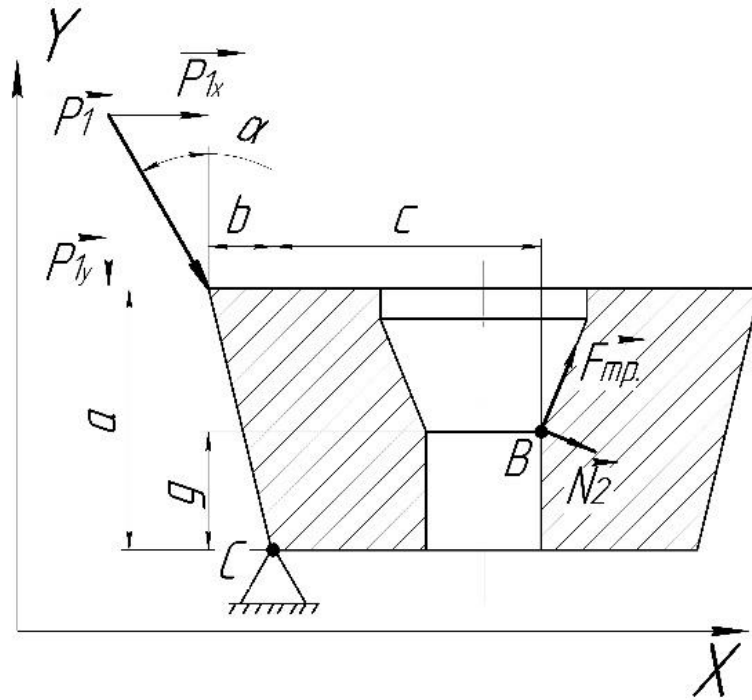


Рис. 9

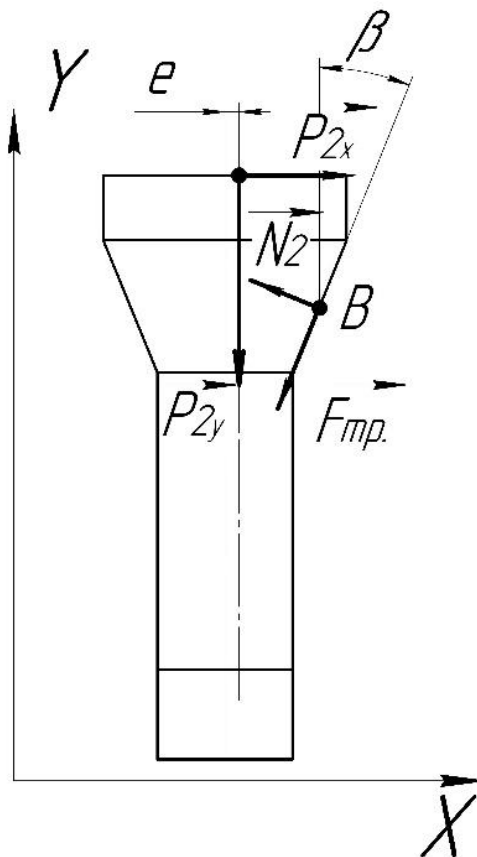


Рис. 10

Запишем систему уравнений, описывающих статическое равновесие пластины:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_X = 0: P_1 \sin(\alpha) + N_2 \cos(\beta) + F_{\text{тр.}} \sin(\beta) = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_Y = 0: -P_1 \cos(\alpha) - N_2 \sin(\beta) + F_{\text{тр.}} \cos(\beta) = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum M_C = 0: P_1 \cos(\alpha) b - P_1 \sin(\alpha) a - N_2 \cos(\beta) \frac{a}{2} - N_2 \sin(\beta) c + \\ + F_{\text{тр.}} \cos(\beta) c - F_{\text{тр.}} \sin(\beta) \frac{a}{2} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

Запишем систему уравнений, описывающих статическое равновесие винта:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_X = 0: P_{2x} - N_2 \cos(\beta) - F_{\text{тр.}} \sin(\beta) = 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_Y = 0: -P_{2y} + N_2 \sin(\beta) - F_{\text{тр.}} \cos(\beta) = 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

Так как $F_{\text{тр.}} = f \cdot N_2$, получаем уравнения:

$$\sum F_X = 0: P_1 \sin(\alpha) + N_2 \cos(\beta) + f N_2 \sin(\beta) = 0 \quad (6)$$

$$\sum F_Y = 0: -P_1 \cos(\alpha) - N_2 \sin(\beta) + f N_2 \cos(\beta) = 0 \quad (7)$$

$$\sum M_C = 0: P_1 \cos(\alpha) b - P_1 \sin(\alpha) a - N_2 \cos(\beta) \frac{a}{2} - N_2 \sin(\beta) c + \\ + f N_2 \cos(\beta) c - f N_2 \sin(\beta) \frac{a}{2} = 0 \quad (8)$$

$$\sum F_X = 0: P_{2x} - N_2 \cos(\beta) - f N_2 \sin(\beta) = 0 \quad (9)$$

$$\sum F_Y = 0: -P_{2y} + N_2 \sin(\beta) - f N_2 \cos(\beta) = 0 \quad (10)$$

Преобразуем уравнение (8):

$$\sum M_C = 0: P_1 (b \cos(\alpha) - a \sin(\alpha)) - N_2 \left(\frac{a}{2} \cos(\beta) + c \sin(\beta) \right) + \\ + f N_2 \left(c \cos(\beta) - \frac{a}{2} \sin(\beta) \right) = 0 \quad (11)$$

Выразим N_2 из уравнения (11):

$$= \frac{P_1 (b \cos(\alpha) - a \sin(\alpha))}{\left(\frac{a}{2} \cos(\beta) + c \sin(\beta) \right) - f \left(c \cos(\beta) - \frac{a}{2} \sin(\beta) \right)} \quad N_2 \quad (12)$$

Из (9) выразим P_{2x} :

$$P_{2x} = N_2 \cos(\beta) + f N_2 \sin(\beta) \quad (13)$$

Из (10) выразим P_{2y} :

$$P_{2y} = N_2 \sin(\beta) - f N_2 \cos(\beta) \quad (14)$$

Подставляя N_2 в уравнения (13) и (14), находим P_{2x} и P_{2y} :

$$P_{2x} = \frac{P_1 (b \cos(\alpha) - a \sin(\alpha)) \cos(\beta)}{\left(\frac{a}{2} \cos(\beta) + c \sin(\beta) \right) - f \left(c \cos(\beta) - \frac{a}{2} \sin(\beta) \right)} +$$

$$(15) \quad + \frac{f P_1 (b \cos(\alpha) - a \sin(\alpha)) \sin(\beta)}{\left(\frac{a}{2} \cos(\beta) + c \sin(\beta)\right) - f \left(c \cos(\beta) - \frac{a}{2} \sin(\beta)\right)}$$

$$(16) \quad P_{2y} = \frac{P_1 (b \cos(\alpha) - a \sin(\alpha)) \sin(\beta)}{\left(\frac{a}{2} \cos(\beta) + c \sin(\beta)\right) - f \left(c \cos(\beta) - \frac{a}{2} \sin(\beta)\right)} - \frac{f P_1 (b \cos(\alpha) - a \sin(\alpha)) \cos(\beta)}{\left(\frac{a}{2} \cos(\beta) + c \sin(\beta)\right) - f \left(c \cos(\beta) - \frac{a}{2} \sin(\beta)\right)}$$

Плечи a , b , c известны из конструктивных параметров узла закрепления СМП винтом.

Подставляя известные параметры в уравнения (15) и (16) получим составляющие силы P_2 :

$$P_{2x} \approx 173 \text{ Н}; P_{2y} \approx 55 \text{ Н}.$$

Тогда искомая сила P_2 будет равна $P_2 = \sqrt{173^2 + 55^2} \approx 181,5 \text{ Н}$.

Ответ: 181,5 Н.