

**Второй (очный) этап научно-образовательного соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее» по профилю «Инженерное дело»  
специализации «Профессор Жуковский», весна 2019 г.  
11 класс**

**Ситуационная задача**

Вариант – 1

Две трубы внешним диаметром 50мм с толщиной стенки 3мм свариваются трением стык в стык. Для этого они раскручиваются до взаимной частоты 4000 об/мин и прижимаются друг к другу с усилием 100Н. 50% выделяющейся тепловой мощности рассеивается, остальное идет на нагрев металла. Коэффициент трения равен 0,3. Рассчитайте время прижатия деталей для обеспечения расплавления общего слоя материала толщиной 1 мм. Теплоемкость стали 500 Дж/(кгК), теплота плавления 84000 Дж/кг, температура плавления 1400С, начальная температура 20С.

**Решение:**

Определение времени сварки:

1. Полезная работа сил трения за время сварки – есть тепло  $Q$ , переданное металлу.

Определим это кол-во теплоты, оно складывается из теплоты, необходимой для плавления и нагревания металла:

$$Q = Q_{нагр} + Q_{пл}$$
$$Q = c_M \cdot M \cdot (T_{пл} - T_0) + \lambda_M \cdot M$$

Где:

$Q_{нагр}$  – теплота, необходимая для нагрева металла от комнатной температуры до температуры плавления

$Q_{пл}$  – теплота плавления металла

$c_M$  – теплоёмкость металла

$T_{пл}$  – температура плавления металла

$T_0$  – начальная температура труб

$\lambda_M$  – теплота плавления металла

2. Определяем массу расплавляемого металла:

$$M = V_M \cdot \rho_M$$

Где  $\rho_M$  – плотность материала труб (сталь)

3. Исходя из заданной глубины плавления  $l$ , определяем объём:

$$V_M = l \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2)$$

4. Учитывая что площадь контакта двух труб:

$$S_k = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

Где  $d$  – внутренний диаметр труб, который может быть посчитан как:

$$d = D - 2 \cdot h$$

Исходя из этого:

$$S_k = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2)$$

$$Q = c_M \cdot V_M \cdot \rho_M \cdot (T_{nl} - T_0) + \lambda_M \cdot V_M \cdot \rho_M$$

$$Q = V_M \cdot \rho_M \cdot [c_M \cdot (T_{nl} - T_0) + \lambda_M]$$

$$Q = l \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2) \cdot \rho_M \cdot [c_M \cdot (T_{nl} - T_0) + \lambda_M]$$

4. Полезная работа сил трения определяется из формулы для мощности:

$$N_{II} = \frac{A_{mp}}{t_{св}} \rightarrow A_{mp} = N_{II} \cdot t_{св}$$

$$A_{mp} = Q$$

$$Q = N_{II} \cdot t$$

Исходя из этого, можем определить время сварки:

$$t_{св} = \frac{Q}{N_{II}}$$

5. Для определения полезной мощности  $N_n$  определим полную мощность.

Силы трения совершают работу, равную:

$$A = F_{mp} \cdot S$$

Где  $S$  – перемещение

Мощность определяется как:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F_{mp} \cdot S}{t} = F_{mp} \cdot V$$

Где  $V$  – скорость точки, в которой действует сила трения. Условно, эта точка расположена на среднем диаметре трубы, поэтому её скорость может быть определена как:

$$V = \omega \cdot \frac{D_{cp}}{2}$$

Тогда выражение для полной мощности запишется в виде:

$$N = \frac{F_{mp} \cdot \omega \cdot D_{cp}}{2}$$

Поскольку часть мощности рассеивается в кол-ве 50%, то полезная мощность равна:

$$N_{\Pi} = \frac{F_{mp} \cdot \omega \cdot D_{cp}}{4}$$

6. Найдем силу трения между трубами и угловую частоту вращения труб:

$$F_{mp} = \mu \cdot F$$

$$F_{mp} = 0.3 \cdot 100 = 30 \text{ Н}$$

$$\omega = 2\pi \cdot \nu$$

$$\nu = \frac{n}{60} = \frac{4020}{60} = 67 \text{ Гц}$$

$$\omega = 2\pi \cdot 67 = 420.973 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Где:  $\omega$  - угловая скорость относительного вращения труб

$\nu$  – частота вращения труб (Гц)

$n$  – частота вращения труб (об/мин)

7. Определяем средний диаметр трубы:

$$D_{cp} = D - h = 50 - 3 = 47 \text{ мм} = 0.047 \text{ м}$$

Где  $D$  – внешний диаметр,  $h$  толщина трубы

Тогда

$$t_{cв} = \frac{l \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2) \cdot \rho_M \cdot [c_M \cdot (T_{nl} - T_0) + \lambda_M]}{\frac{F_{mp} \cdot \omega \cdot D_{cp}}{4}}$$

$$t_{cв} = 18.3 \text{ с}$$