

4. Кудинов, В.В. Нанесение покрытий напылением: Теория, технология и оборудование / В.В. Кудинов, Г.В. Бобров.– М.: Машиностроение, 1992. – 96 с.

5. Мрочек, Ж.А. Плазменно-вакуумные покрытия / Ж.А. Мрочек [и др.]– М.: Технопринт. 2004. – 368 с.

УДК 621.528.1

Гутько Н.Ю.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАКУУМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

БНТУ, Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Иванов И.А.

Откачивание газа из вакуумной камеры требует соединения камеры с вакуумным насосом. Соединение осуществляется через вакуумный трубопровод конечной длины и диаметра. Эти параметры должны быть согласованы с требуемой скоростью откачки газа из вакуумной камеры и производительностью насоса [1].

Цель данной работы – это разработка методики расчета длины, диаметра и толщины стенок вакуумных трубопроводов.

Геометрические параметры вакуумного трубопровода (диаметр условного прохода и длина) зависят от заданной величины его проводимости. Формулы, которые используются для расчета проводимости, зависят от режима течения газа. Течение газа в вакуумном трубопроводе может протекать в одном из трех режимов: вязкостном, молекулярном и молекулярно-вязкостном. Режимы течения газа классифицируют по величине числа Кнудсена:

$$K_n = \frac{\lambda}{L},$$

где λ – длина свободного пробега молекул газа, L – наиболее характерный размер трубопровода, как правило, его диаметр.

Принята следующая классификация:

$K_n < 0,01$ – вязкостной режим;

$K_n > 0,33$ – молекулярный режим;

$0,01 < K_n < 0,33$ – молекулярно-вязкостной режим.

При расчетах следует учитывать, что длину вакуумного трубопровода выбирают из конструктивных соображений.

Для молекулярных условий течения газа в вакуумном трубопроводе с круговым сечением проводимость определяется по формуле

$$G_L = \frac{I}{p_2 - p_1} = 3,81 \frac{\sqrt{T} D^3}{\sqrt{M_0} L}, \quad (1)$$

где I – общий поток газа; p_1, p_2 – давление на концах трубопровода; L – длина трубопровода; D – диаметр трубопровода; M_0 – молекулярная масса; T – температура.

Проводимость трубопровода в молекулярном режиме течения прямо пропорциональна его диаметру в третьей степени и обратно пропорциональна длине. Она возрастает с повышением температуры и с уменьшением молекулярной массы газа. При течении воздуха ($M_0 = 29$) при комнатной температуре ($T = 293$ К) проводимость длинного канала

$$G_L \sim 12,1 \frac{D^3}{L} \quad (2)$$

В вязкостных условиях сопротивление течению газа определяется его вязкостью.

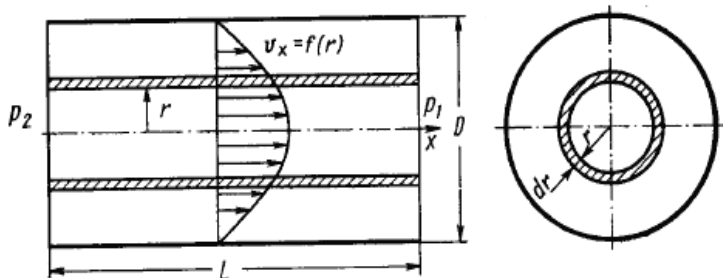


Рисунок 1 – Вязкое течение в цилиндрической трубе
Проводимость канала для вязкостных условий:

$$G = \frac{\pi}{128\eta_r} p_0 \frac{D^4}{L}. \quad (3)$$

Для воздуха при температуре окружающей среды ($T \sim 293$ К) коэффициент вязкости $\eta_{\text{возд}}$ равен $1,8 \cdot 10^{-4}$. Подставляя эту величину в формулу (3), получим

$$G_{\text{возд}} = 181 p_0 \frac{D^4}{L}. \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что в вязкостных условиях проводимость цилиндрического канала прямо пропорциональна давлению и четвертой степени диаметра, а также обратно пропорциональна длине канала; кроме того, она зависит от рода газа и больше для газов с малой вязкостью, т.е. с малой молекулярной массой и большим размером молекул.

Номинальный диаметр отверстия в трубе, являющийся одной из главных характеристик вакуумного трубопровода, называется условным проходным диаметром D_y .

Проходной диаметр рекомендуется выбирать из нормализованного ряда размеров ГОСТ 18626-73.

Толщину h_c стенок вакуумного трубопровода определяют из условия прочности для тонкостенных трубопроводов, для которых выполняется соотношение: $h_c/D_y < 0,05$, по формуле:

$$h_c = \frac{p_{\text{атм}} \cdot D_y}{2 \cdot \sigma_{\text{доп}}} + C, \quad (5)$$

где $p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, $\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение, C – запас прочности, коэффициент учитывающий влияние коррозии и технологический допуск. Величина прибавки C колеблется в пределах $(0,05 \dots 0,18) \times h_c$.

Если в результате расчета h_c окажется, что $h_c/D_y \geq 0,05$, то расчет следует уточнить по формулам справедливым для толстостенных цилиндров.

Толщину стенки вакуумного цилиндрического трубопровода, особенно в случае больших диаметров, обязательно следует проверять по условию устойчивости:

$$h_c = 1.25 \cdot D_y \cdot \left(\frac{p \cdot l}{E_{\tau} \cdot D_y} \right)^{0,4} + C, \quad (6)$$

где E_{τ} – модуль упругости материала трубопровода; D_y и l – диаметр условного прохода и длина трубопровода; p – внешнее атмосферное давление; C – допуск на толщину стенки, м. При расчете следует учитывать, что модуль упругости типовых материалов трубопроводов зависит от температуры практически линейно. Увеличение температуры от комнатной до 400°C сопровождается уменьшением величины E_{τ} , приблизительно, на 25..30 % [2].

Таким образом, проектирование вакуумных трубопроводов включает выбор их длины, расчет диаметра условного прохода и определение толщины стенок. При расчетах необходимо учитывать режим течения газа в трубопроводе и проводить проверку расчетной толщины стенки по условию устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника / Л.Н. Розанов. – М.: Высш. шк. – 320 с.

2. ГОСТ 14249 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность // Справочник. Инженерный журнал. – 2007. – № 3. – С. 2–7.

УДК 621.088

Данильчик П.С.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: Данильчик С.С.*

На токарных станках с ручным управлением колебательное движение инструмента в процессе вибрационного точения может задаваться кулачком. Для реализации вибрационного точения на станках с ЧПУ нет необходимости в использовании дополнительных устройств. Нужно лишь сообщить инструменту движение в обе стороны вдоль оси заготовки с соответствующими подачами и величинами перемещений. Схематически движение инструмента вдоль заготовки в процессе вибрационного точения представлено на рисунке 1.

Цикл вибрационного точения состоит из перемещения инструмента в направлении подачи на величину $X_{вр}$ и в обратную сторону на величину $X_{отв}$. Движения эти выполняются, соответственно, с подачами $S_{вр}$ и $S_{отв}$, которые состоят из подачи на оборот S_o и дополнительной скорости движения $\Delta S_{вр}$, и определяются по формулам [1]

$$S_{вр} = \Delta S_{вр} + S_o = \frac{S_o}{a} + S_o;$$

$$S_{отв} = \Delta S_{отв} - S_o = \frac{S_o}{b} - S_o,$$