

РАСЧЕТ ИЗГИБА ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕНА

А.И. Ремнев

Для получения качественного изгиба трубы ее на участке изгиба нагружают осевой силой (осевое осаживание) превышающей предел текучести материала трубы. Осевое сжатие оребренной трубы обеспечивают с помощью пневмоцилиндров. Оптимальное осевое усилие относительно нейтрального сечения оболочки трубы, передаваемое штоком пневмоцилиндра, определяют экспериментальным путем. При назначении режимов для трубогибочного оборудования необходимо определить значение требуемого изгибающего момента в зависимости от известных параметров труб (геометрических размеров и предел текучести материала трубы, модуль упругости и радиуса изгиба и др. параметров). Если принять для упрочненного материала оребренной трубы условную диаграмму напряжения-деформации в поперечном сечении оребренной трубы, то можно получить с высокой степенью точности формулу для определения изгибающего момента. Для наглядности оребренная труба в плоскости изгиба повернута. По горизонтали отложены расстояния волокон металла трубы от нейтрального слоя и соответствующие им деформации, а по вертикали – нормальные напряжения в сечении оребренной трубы.

Введем следующие обозначения: y – текущая координата точки, лежащей на средней линии поперечного сечения оребренной трубы, мм; y_T – координата границы пластической зоны оребренной трубы, мм; M_T – изгибающий момент, соответствующий началу пластической деформации, Н·м; ω_T – центральный угол границы упругой зоны поперечного сечения оребренной трубы, в градусах; R_1 – средний радиус трубы без учета оребрения $R_1 = \frac{D_H - d_{mn}}{2}$, мм; R_2 – средний радиус трубы с учетом оребрения

$$R_2 = \frac{D_H - d_{mn}}{2}, \text{ мм}.$$

Из условия равновесия изгибающий момент равен моменту внутренних сил, поэтому $M = \int_{F_{ym}} \sigma_{ym} y dF + \int_{F_{no}} \sigma_{no} y dF$:

При расчете изгибающего момента суммарный изгибающий момент представим как сумму изгибающих моментов для гладкой трубы и оребрения, с учетом количественной характеристики каждой составляющей.

$$M = \frac{s}{4\Delta} \cdot \sigma_m \cdot \times \frac{2 \cos \omega_m \cdot E \sin \omega_m + 2E\omega_m + \pi E_1 - 2 \cos \omega_m \cdot E_1 \sin \omega_m - E_1 \omega_m}{E \sin \omega_m} \times \\ \times (D_{mn}^2 \cdot \delta_1 + D_H^2 \cdot \delta_2 \cdot K_{n,2})$$

Коэффициент подкрепляющего эффекта $K_{n,2}$ оребренной трубы у основания ребра, вызванный наклепом ребер при их накатке, получен экспериментально.

Известно, что при изгибе труб сталкиваются со значительными трудностями при изгибе труб с минимальным и минимально возможным радиусами изгиба. Оребренные монометаллические трубы без разработки надежной технологии изгиба, не могут быть получены известными методами и поэтому на уровне изобретения предлагается новая технология изгиба монометаллических и биметаллических оребренных труб.

При бездорновом изгибе оребренных монометаллических труб как с минимально возможным радиусом изгиба при наличии ребер так и с радиусом изгиба равным радиусу оребренной трубы необходимо учитывать силы, которые воздействуют на трубу в процессе изгиба, а также силы, которые обеспечивают возможность получения качественного изгиба с требуемыми параметрами.

Определим значение силы P по аналогии, имеем $P = p \cdot F_{p.n.p.}$, где $F_{p.n.p.}$ – площадь поверхности ребер, мм.

$$\text{Используя формулу (30) имеем } F_{p.n.p.} = \frac{1}{2} \sqrt{(\pi \cdot D_H)^2 + S^2} \cdot N \cdot \Delta.$$

В формуле $1/2$ соответствует охвату только половине поверхности оребренной трубы зажимным элементом. Эта формула пригодна для вычисления площади контакта ребер с различными профилями зубьев зажимных губок.

При воздействии силы для фиксации оребренной трубы до ее изгиба за счет смятия вершин ребра $l_{ср} = 2 \dots 3$ мм и по сравнению с радиусом изгиба при $\Delta \ll R_0$, то в этом случае в расчетах принимаем плечо равное радиусу изгиба R_0 . Тогда сила определяется $P = p \cdot \frac{1}{2} N \cdot \sqrt{(\pi \cdot D_H)^2 + S^2} \cdot \Delta$.

Рассмотрим теперь действие сил в статике. Труба закреплена в точке А. Сумма моментов должна равняться нулю $\sum M = 0$. Тогда имеем $Q_1 Q - PR_0 + 2Q_2 R_0 = 0$. Учитывая, что $Q_1 = Q_2 = Q$, имеем $PR_0 + 2QR_0 = 0$; $PR_0 = 2QR_0$; $P = 2Q$;

$$p \cdot \frac{1}{2} N \cdot \Delta \cdot \sqrt{(\pi \cdot D_H)^2 + S^2} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot q}{4} \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2).$$

Тогда усилие при изгибе оребренной трубы определяется

$$P = \frac{\pi \cdot q \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2)}{N \cdot \sqrt{(\pi \cdot D_H)^2 + S^2} \cdot \Delta}.$$

Предложенная технология изготовления изгиба изделий и методология расчета защищена патентами Российской Федерации.

Таким образом, разработанная методология расчета позволяет производить необходимые расчеты для определения основных параметров технологического процесса изгиба оребренных труб. Предложенная технология изгиба оребренных монометаллических и биметаллических труб, позволяет получать качественные изгибы при минимальном и минимально возможном радиусах изгиба трубы.