

Поведение медных труб с водой при замораживании

Г. Власов, к. т. н.

Замерзание воды в напорных стальных сантехнических трубопроводах приводит к разрыву труб. Это является одной из главных причин того, что временное прекращение подачи тепла в жилищно-коммунальной сфере ведет к тяжелейшим последствиям. В то же время в специализированных изданиях сообщалось: медные трубы при замерзании в них воды не разрушаются; деформируясь, они, тем не менее, могут эксплуатироваться в дальнейшем (по крайней мере, до окончания отопительного сезона). В связи с этим в нашей стране были проведены испытания, заключающиеся в моделировании процессов, происходящих в заполненных водой медных трубопроводах при воздействии отрицательных температур. Цель исследований состояла в оценке стойкости медных трубопроводов к разрушению при однократном воздействии холода в аварийных ситуациях, а также возможности нормального функционирования трубопроводных систем при чередовании отрицательных и положительных температур. Кроме того, в задачу испытаний входило определение влияния на устойчивость медных труб качества воды, взятой из различных московских трубопроводов (холодного, горячего водоснабжения, отопления), и величины избыточного давления. Испытания проводили до разрушения стенок труб с определением числа выдержанных циклов.

Объем и методика испытаний

В исследованиях использовались мягкие, полутвердые и твердые трубы, серийно выпускаемые Кольчугинским заводом по обработке цветных металлов (КЗОЦМ) из меди марки М1р (ГОСТ 859 «Медь. Марки»); диаметр труб – 12, 22 и 42 мм. Схема экспериментального трубного образца показана на рис. 1.

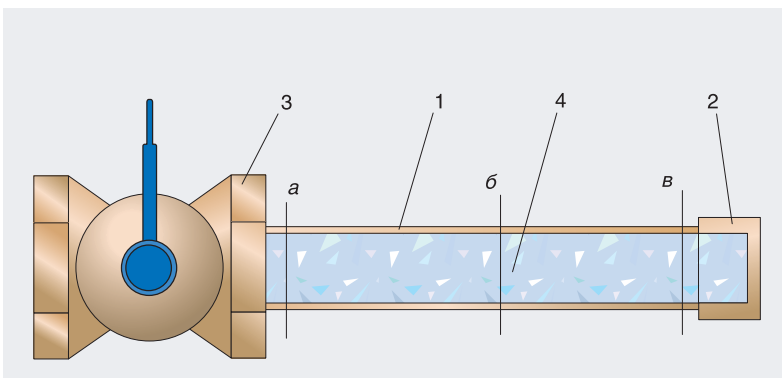


Рис. 1. Схема экспериментального образца медной трубы с водой: 1 – отрезок трубы; 2 – припаянная заглушка; 3 – шаровой кран; 4 – вода, перешедшая в лед; а, б, в – места наблюдений наружного диаметра трубы после проведенного цикла «замораживание–размораживание»



Рис. 2. Вид характерного разрушения медной трубы в результате расширения замерзшей в ней воды

Испытания осуществлялись следующим образом. Собранные образцы заполняли водой, обеспечивая полное удаление из них воздуха, и перекрывали воду шаровым краном. Далее образцы помещали в камеру с температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (принятую как среднюю зимнюю температуру для России), где они выдерживались до промерзания всего объема воды с переходом ее в лед. Затем образцы вынимались и оставлялись при положительной температуре до полного оттаивания. После этого из них удаляли воду, оценивали состояние труб и повторяли цикл сначала. (Таким образом, под *циклом* подразумеваются: заполнение водой образца; отсечка водяного объема закрытием шарового крана; охлаждение образца в морозильной камере и выдержка его до полного промерзания воды; выборка образца из камеры; полное оттаивание льда; осмотр образца, измерение наружного диаметра трубы.)

Основные результаты

Первоначальные эксперименты по нагружению отрицательными температурами герметически заполненных водой медных труб показали, что образцы, ранее не подвергавшиеся такому воздействию, выдерживают как минимум однократное замораживание в них воды, не разрушаясь. (Обобщенные данные испытаний на циклическое замораживание приведены в табл.)

До момента разрушения наружный диаметр труб увеличивается от цикла к циклу; соответственно уменьшается толщина стенки образца; в месте разрыва она равна половине первоначальной. Предварительное вздутие и последующий разрыв стенки трубы происходят исключительно по образующей. Разрушение по форме напоминает «лодочку» с заостренными концами, края отверстия — ровные (рис. 2). По длине размер отверстия составляет 12–30 мм, по ширине – 4–10 мм. Разрыв сопровождается сравнительно негромким резким звуком, напоминающим хлопок. Особенно уязвимы места, где проходила пайка, т.е. в зоне, подвергшейся нагреву пламенем горелки (рис. 1, сечения а и б), в области отжига.

Таблица. Обобщенные данные испытаний медных труб, заполненных водой, на циклическое замораживание

Наружный диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Минимальное количество циклов	Температура окружающего воздуха до разрушения при замораживании, °С	Внутреннее давление воды в трубе, МПа
Мягкое состояние трубы, отожженная труба				
12	0,8	2	-20	0
22	1,0	4	-20	0
42	1,0	5	-20	0
42	1,0	5	-20	0
12	0,8	4	-20	0
12	0,8	3	-20	0
12	0,8	4	-20	1,0
22	1,0	5	-20	0
22	1,0	4	-20	0
Полутвердое состояние трубы				
22	1,0	3	-20	0
22	1,0	2	-20	0
22	1,0	2	-20	0
Твердое состояние трубы				
12	1,0	7	-20	0
22	1,5	2	-20	0
22	1,5	2	-20	0
22	1,5	5	-20	0
22	1,5	5	-20	0
42	1,2	2	-20	0

Медные трубы для систем водоснабжения и отопления выпускаются в трех квалификационных состояниях, отличающихся друг от друга механическими свойствами:

мягкое состояние; обозначение по европейскому стандарту EN 1057 «Медь и медные сплавы. Цельно-тянутые круглые медные трубы для водо-, газоснабжения и отопления» – R 220; минимальный предел прочности на разрыв $R_{min} = 220$ МПа;

полутвердое состояние; обозначение по EN 1057 – R 250; $R_{min} = 250$ МПа;

твердое состояние; обозначение по EN 1057 – R 290; $R_{min} = 290$ МПа.

Выводы

1. В аварийных ситуациях, при отключении электропитания и наступлении морозов, медные трубы, ранее не воспринимавшие воздействие отрицательных температур, при их установке в системах водоснабжения и отопления зданий всегда выдерживают без разрушения одноразовое замораживание.

2. Трубы из меди в мягком квалификационном состоянии выдерживают до 4–6 циклов последовательного замораживания и размораживания находящейся в них воды; полутвердые трубы – до 3–4; твердые – до 2–3 циклов.

Следует отметить, что между квалификационным состоянием материала и разрушением стенки трубы не существует прямой зависимости, так как механические свойства труб не одинаковы в каждой отдельно взятой точке трубы. Экспериментально подтверждена лишь общая тенденция разрушения труб в зависимости от пластичности материала, а именно: медь, имеющая большее относительное удлинение, разрушается при большем числе нагрузок.

3. Процесс замерзания воды в трубе проходит одновременно по всей ее поверхности, где воздействует отрицательная температура окружающего воздушного пространства, т.е. намерзание льда на внутренних стенках идет одновременно и повсеместно, но интенсивнее – в местах с большим количеством металла (возле соединительных деталей, у арматуры).

4. При разрыве медной трубы под действием растягивающих усилий наблюдается пластичное разрушение стенки, всегда – по образующей. Как правило, на прямолинейном участке трубопровода любой протяженности между двумя соединительными деталями появляется один местный порыв.

5. Избыточное давление в трубных образцах (в экспериментах максимально задавалось давление в 1,0 МПа), а также химический состав воды практически не влияют на процесс замораживания и количество выдерживаемых циклов температурных нагрузений.

6. Деформация и разрушение торцевых припаянных заглушек из мягкой меди в виде их вздутия, отрыва доньшка или разрыва стенки говорят о наличии продольных, осевых усилий в замерзающем трубном образце. Осевые усилия не являются определяющими при разрыве концевых участков труб. Анализ разрушенных образцов показывает: в случае сохранения несущей способности торцевой части трубного образца происходит разрыв стенки трубы, имеющей сравнительно меньшую механическую прочность.

Вектор разрушающего усилия направлен в сторону участков с меньшей механической прочностью и большей величиной относительного удлинения (имеется фрагмент трубы диаметром 42 мм, у которого припаянная торцевая заглушка выпучилась, но не разрушилась, в то время как ближайшая к ней поверхность трубы под действием радиальных растягивающих сил дала трещину).

В экспериментах проверялось также поведение при отрицательных температурах соединительных деталей медных труб. Исследовались соединения, выполненные капиллярной пайкой, с применением компрессионных и самофиксирующихся фитингов. Подробнее об этом будет рассказано в одном из последующих номеров журнала «Аква-Терм».